Technologie Binaurale VoiceStream®

Phonak Insight

Des algorithmes binauraux intelligents pour améliorer l'intelligibilité vocale

La Technologie Binaurale VoiceStream® permet désormais de créer des algorithmes qui prennent en charge l'audition binaurale et offrent des solutions capables d'améliorer l'intelligibilité vocale du malentendant appareillé, également dans ses situations d'écoute complexes.

Introduction

Ces 20 dernières années, les possibilités techniques de la technologie audioprothétique se sont progressivement perfectionnées. Dans ce domaine, on peut citer trois étapes principales:

- Fin des années 80 avec l'introduction des compressions à canaux multiples indépendants
- Milieu des années 90 avec l'introduction du traitement numérique du signal dans les aides auditives
- 2008 avec la mise en œuvre du traitement binaural du signal en temps réel

Ces progrès dans le développement des aides auditives ont non seulement conduit à une miniaturisation plus poussée et à une plus grande complexité croissante, mais se sont aussi traduites par une constante amélioration de la satisfaction des malentendants appareillés. Cette évolution au cours du temps s'observe aussi très clairement dans les célèbres études de marché MarkeTrak (Kochkin 2010). A cela s'ajoute le fait que le nombre d'appareillages binauraux croît constamment (Kochkin 2009), si bien que la recherche audioprothétique s'est progressivement orientée vers des stratégies de traitement binaural du signal et qu'il faut s'attendre à l'avènement de nouveaux concepts. La gamme des algorithmes binauraux va s'étendre avec l'introduction de la nouvelle plateforme Quest de Phonak. Ces algorithmes assistent l'audition binaurale des malentendants appareillés, afin qu'ils puissent aussi tirer profit de leur système auditif dans des situations auditives qui sont toujours très difficiles pour eux, telles que (Kochkin 2010):

- Comprendre la parole dans des groupes importants en faisant face à son interlocuteur
- Comprendre dans le bruit quand le locuteur n'est pas en face de la personne appareillée
- Téléphoner dans des situations bruyantes
- Discuter en présence de vent

Le présent article donne une vue d'ensemble des approches binaurales mises en œuvre avec la plateforme Phonak Quest et précise dans quelle mesure cette nouvelle plateforme apporte une solution dans les situations acoustiques difficiles citées ci-dessus.

PHONAK
life is on

Technologie Binaurale VoiceStream®

L'échange de données audio entre les aides auditives est une étape décisive pour mettre en œuvre les stratégies de traitement binaural du signal et pouvoir ainsi corriger non seulement l'audition périphérique, mais aussi les fonctions binaurales de l'ouïe pathologique. Le système sans fil requis pour échanger des données entre les aides auditives doit cependant répondre à d'importantes conditions. Il est essentiel que le temps de transfert (retard) et la consommation soient aussi faibles que possible. C'est la raison pour laquelle le système est basé sur un principe inductif qui, comme on le sait, consomme peu d'énergie. Cependant, contrairement aux capteurs téléphoniques, il est conçu pour pouvoir transmettre des données numériques. Ce principe garantit la stabilité du transfert des données, ce qui est impératif pour les algorithmes de traitement binaural du signal.
La fréquence de transmission du système sans fil est de 10,6 MHz. Cette fréquence relativement faible (par comparaison, Bluetooth fonctionne sur une fréquence de 2,4 GHz) a été choisie pour prendre en compte la condition nécessaire de consommer peu. Elle est aussi plus intéressante pour le couplage inductif. La bande passante du signal acoustique est de 8 kHz, ce qui est largement suffisant pour les algorithmes binauraux. La transmission est bidirectionnelle, ce qui double le taux de transfert requis. Au total, un taux de transfert de 300 kBit/s est disponible dans le système pour les données audio et les données de contrôle.

Le taux de transfert requis pour une transmission bidirectionnelle en modulation par impulsions codées (PCM) du signal audio, avec une fréquence d'échantillonnage de 20 kHz et une résolution de 16 Bit, est de 640 kBit/s. Le signal ne peut donc pas être totalement transmis avec le système actuellement disponible. Le signal audio devra donc être codé avant la transmission (de façon similaire à un codage type MP3). Le codec utilisé nécessite un taux de transfert de 300 kBit/s et a une constante de temps de 2 ms. Il est donc parfaitement optimisé pour être utilisé dans les systèmes auditifs binauraux. Ce taux de transfert des données est compatible avec le système de transmission sans fil décrit ci-dessus et il reste encore suffisamment de réserve disponible pour échanger les données de contrôle requises entre les aides auditives. La constante de temps très courte permet de réaliser un traitement binaural qui préserve les informations spatiales naturelles.

auto StereoZoom

La technologie du multi-microphone est actuellement un dispositif essentiel dans les systèmes auditifs, car elle permet de séparer le signal utile du signal perturbant et d'améliorer l'intelligibilité vocale de façon vérifiable objectivement et subjectivement (Ricketts et Mueller 1999; Chung 2004). Pour cela, les deux signaux doivent se distinguer par leurs caractéristiques spatiales. De plus, le signal utile est supposé provenir d'une direction frontale. La sensibilité du système est dirigée vers l'avant, en direction de la source utile, en comparant la simple différence de positionnement et le retard du signal du second microphone. Ce focalisateur a une caractéristique directionnelle fixe ou variable. Dans ce dernier cas, elle peut se modifier de façon adaptative ou atténuer une source perturbante mobile, grâce à l'évaluation de différents paramètres du signal d'entrée.

Un système microphonique qui compare les signaux issus de deux microphones omnidirectionnels s'appelle un système microphonique directionnel du 1er ordre. Une condition nécessaire pour supprimer efficacement une source de bruit avec un système directionnel du 1er ordre, est qu'elle soit éloignée d'au moins 60° du signal utile, ceci afin que le signal utile et le signal perturbant ne se trouvent pas dans le même lobe principal de la caractéristique directionnelle. Il en résulte que le système décrit est limité dans ses applications quotidiennes, quand le bruit perturbant se trouve dans un secteur de 60° par rapport au signal utile ou que la source de signal utile se trouve en dehors du rayon de réverbération.

Ces limites peuvent être levées en réduisant l'angle du lobe principal de la caractéristique directionnelle du système microphonique et en rendant le système plus sensible. Ceci peut être obtenu en augmentant l'ordre du système, mais une approche bidimensionnelle suffit en principe car l'objet acoustique se trouve généralement dans le même hémisphère que la tête. Des approches telles que celles utilisées dans les studios de sonorisation, où plusieurs microphones sont positionnés les uns derrière les autres ne sont pas applicables dans les systèmes auditifs en raison de leur petite taille.

Un système auditif dispose cependant de quatre microphones au total, si l'on considère un appareillage binaural non pas comme l'addition de deux systèmes élémentaires mais comme un système auditif global. Ceci correspond au système auditif binaural de l'être humain qui a lui-même une caractéristique directionnelle globale résultant des caractéristiques directionnelles individuelles de chacun des deux pavillons. Avec StereoZoom, les signaux des deux systèmes de double-microphone des oreilles droite et gauche sont transmis sans fil puis combinés et traités. La figure 1

donne une représentation schématique de cette combinaison. Dans un premier temps, on calcule la caractéristique directionnelle standard de chacun des systèmes de double-microphone du premier ordre, à partir des signaux présents aux entrées des deux microphones de chacun des systèmes auditifs. Les signaux de sortie respectifs sont envoyés dans les aides auditives controlatérales à l'aide de la transmission sans fil de toute la bande passante des données audio, où ils seront combinés avec le signal de sortie du double-microphone ipsilatéral, selon une fonction d'importance prédéfinie. C'est ainsi que l'on obtient un réseau de 4 microphones qui composent un système microphonique du 3ème ordre. Les microphones doivent cependant être équilibrés en phase et en amplitude. L'équilibrage des microphones se fait dans un premier temps pendant la production des appareils, mais aussi automatiquement, en cours d'utilisation, avec un algorithme adéquat qui compense d'éventuelles dérives de sensibilité ou de phase. La figure 2 représente le diagramme polaire d'un tel système microphonique, mesuré en champ libre dans une chambre anéchoïque. On observe un lobe principal nettement plus étroit avec des pôles de sensibilité nulle à environ ± 45°. Ceci a pour conséquence que, si un locuteur non désiré est plus proche du locuteur utile, le système microphonique pourra interpréter cette source comme un objet différent. Il en résultera une atténuation nettement plus importante de tous les signaux qui ne proviennent pas de la direction frontale et qui sont donc interprétés comme des signaux perturbants. De plus, le RSB mesuré pour des signaux non corrélés est d'environ 3 dB meilleur que dans le cas de deux systèmes de doubles-microphones monauraux indépendants. Grâce à l'augmentation « virtuelle » de la distance entre les microphones, les différences des signaux de chaque microphone pour différents points de l'espace sont nettement plus importantes, si bien que ce système permet d'avoir un effet directionnel efficace également dans les basses fréquences. De plus, la figure 2 met en évidence que les aides auditives droite et gauche ne présentent pas le même diagramme polaire, mais qu'une distinction spatiale reste présente. Ceci est important en termes de perception de l'espace et de latéralisation. Si les caractéristiques droite et gauche étaient les mêmes, il en résulterait une perception diotique du son, dans laquelle tout indice spatial ferait défaut.

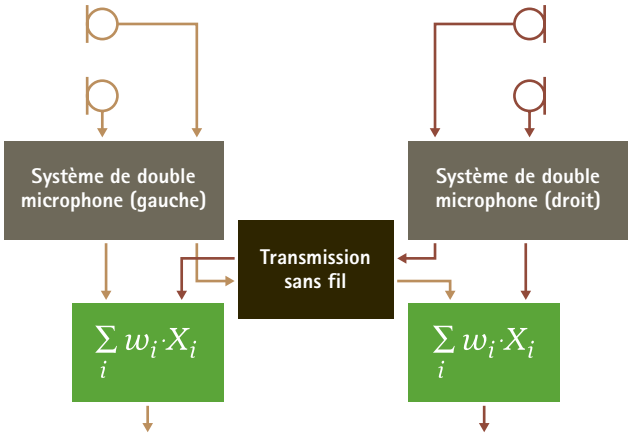

Figure 1
Schéma de la réalisation technique de StereoZoom.

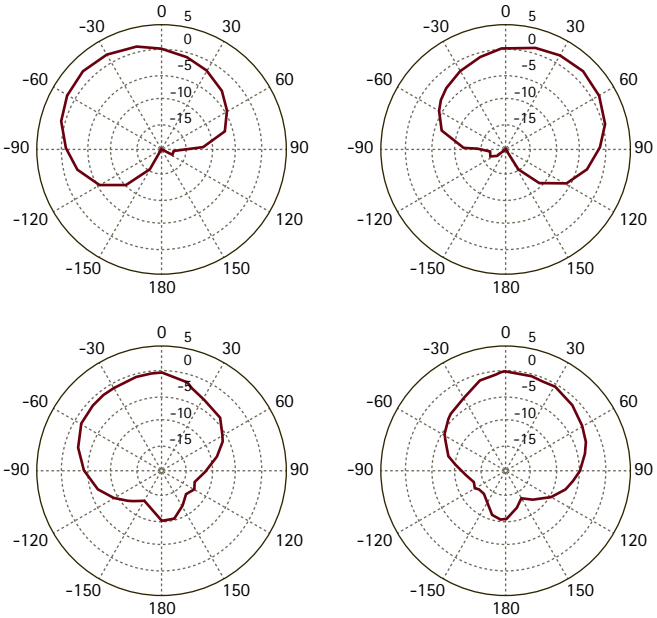

Figure 2 en haut
Diagramme polaire d'un focalisateur statique (microphone directionnel du 1er ordre) pour les oreilles gauche et droite du KEMAR avec une stimulation large bande. Conditions de mesure: champ libre, salle peu réverbérante.

Figure 2 en bas
Diagramme polaire de StereoZoom (microphone directionnel du 3ème ordre) pour les oreilles gauche et droite du KEMAR avec une stimulation large bande. Conditions de mesure: champ libre, salle peu réverbérante.

StereoZoom est déjà disponible dans les appareils Premium depuis l'introduction de la plateforme Spice de Phonak et de nombreuses études ont pu prouver l'efficacité de cet algorithme (Nyffeler 2010a, Nyffeler 2010b, Nyffeler 2010c, Timmer 2010).

Dans une étude réalisée au centre auditif d'Oldenbourg, StereoZoom a été comparé à un focalisateur monaural et à un autre système disponible sur le marché. Le test de phrases d'Oldenbourg (Wagener et al. 1999) a été utilisé dans un environnement bruyant défini, dans lequel sept haut-parleurs placés dans différentes directions diffusaient en même temps un bruit de cafétéria (voir figure 3). Le bruit perturbant pouvait donc être considéré comme diffus. Les deux haut-parleurs les plus frontaux étaient placés à 30° et à 330°, si bien que le lobe principal du système microphonique directionnel devait être très étroit pour qu'il puisse séparer dans l'espace le signal utile du bruit perturbant. Quinze sujets atteints de pertes auditives moyennes ont participé à l'étude. La figure 4 représente la médiane des seuils de reconnaissance vocale (SRV) pour les différents concepts de microphones directionnels. Un SRV plus négatif indique un meilleur résultat. StereoZoom est nettement meilleur que les deux autres systèmes microphoniques directionnels du premier ordre. Avec StereoZoom, les sujets testés pouvaient en fait comprendre 80% des mots d'une phrase avec un niveau vocal de 1,65 dB plus faible qu'avec le focalisateur monaural et même avec un niveau vocal de 2,75 dB plus faible qu'avec le système concurrent. Les résultats sont statistiquement significatifs. Ils montrent que seul un système microphonique directionnel d'un ordre plus élevé est en mesure de distinguer l'une de l'autre les sources utiles et les sources de bruit séparées d'un écart angulaire de seulement 30°. De plus, cette étude confirme que StereoZoom permet d'améliorer nettement l'intelligibilité vocale, non seulement dans des conditions d'essai idéales, mais aussi en présence d'un bruit perturbant diffus, c'est-à-dire dans des conditions plus proches de la réalité.

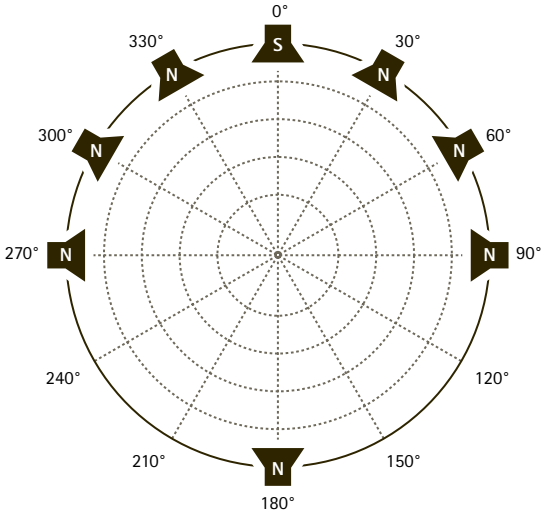

Figure 3
Installation d'essai du test de phrases d'Oldenbourg pour l'étude de StereoZoom. Le bruit de cafétéria perturbant était présenté dans des haut-parleurs situés à 30°, 60°, 90°, 180°, 270°, 300° et 330° et décalés dans le temps de telle sorte que l'on puisse considérer le bruit perturbant comme diffus. Le signal vocal était présenté à 0° d'azimut.

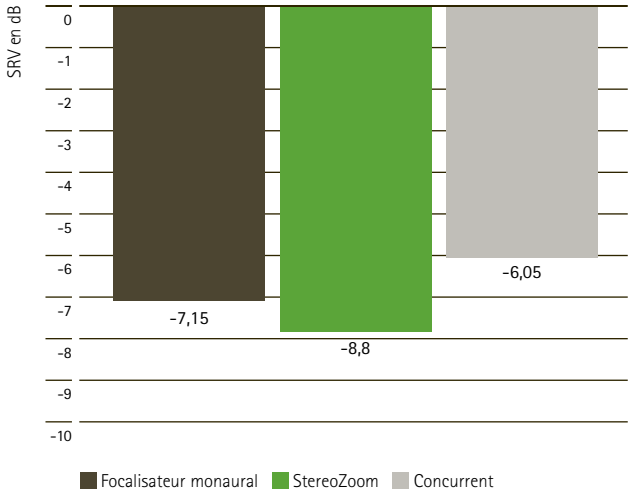

Figure 4
Présentation des résultats des mesures vocales du test de phrases d'Oldenbourg dans les conditions correspondant à la figure 3. Les résultats montrent la médiane des SRV pour 80% d'intelligibilité vocale dans les 3 cas, focalisateur monaural, StereoZoom et système directionnel concurrent.

Kreikemeier et son équipe (2012) ont étudié l'efficacité des focalisateurs binauraux par rapport aux focalisateurs monauraux dans le cas de pertes auditives profondes (14 sujets) à l'aide d'une méthode de comparaison par paires. Pour cela, trois concepts de focalisateurs ont été comparés en présentant un signal vocal noyé dans un bruit perturbant:

- Focalisateur (monaural) avec caractéristique directionnelle fixe (focalisateur fixe – FBF)
- Focalisateur (monaural) avec caractéristique directionnelle adaptative (UltraZoom – UZ)
- Focalisateur (binaural) avec caractéristique directionnelle fixe (StereoZoom – SZ)

Les résultats de la comparaison subjective par paires représentés figure 5 montrent que le focalisateur binaural (SZ) atteint de meilleures performances dans la majorité des cas lorsqu'il est comparé à un système monaural ayant aussi une caractéristique directionnelle fixe (voir «SZ vs FBF»). Dans la comparaison directe «SZ vs UZ», donc une condition binaurale avec caractéristique directionnelle fixe comparée à une condition monaurale avec directivité adaptative, StereoZoom donne aussi le plus souvent de meilleurs résultats, bien qu'en règle générale un système directionnel adaptatif fonctionne mieux dans un bruit perturbant diffus qu'une approche directionnelle fixe. La validité de cette hypothèse est confirmée par le résultat de la comparaison directe entre les deux conditions monaurales: «UZ vs FBF» dans laquelle UltraZoom était sans conteste plus souvent préférée, car ce microphone directionnel adaptatif est capable de s'adapter à une situation perturbante donnée. D'après ces résultats, Kreikemeier et son équipe (2012) apportent la conclusion suivante: «Les technologies microphoniques directionnelles complexes et en particulier les faisceaux directifs étroits, donnent de meilleurs résultats subjectifs dans les situations auditives difficiles».

En résumé, d'après toutes les études présentées, on peut conclure que StereoZoom surpasse les systèmes de double-microphone monauraux, aussi bien dans des tests objectifs que subjectifs.

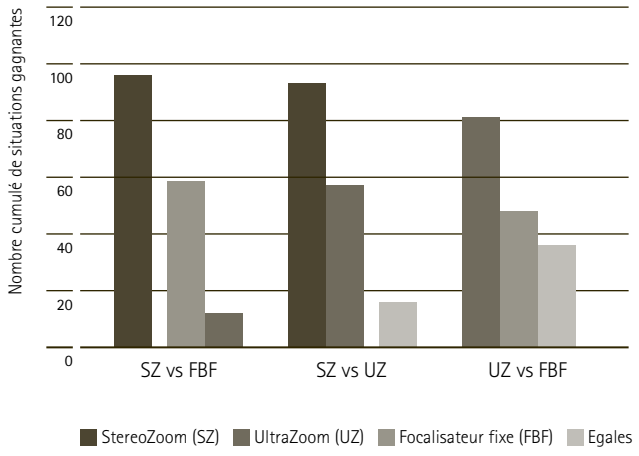

Figure 5
Représentation du nombre cumulé absolu de situations gagnantes pour toutes les comparaisons par paires entre les trois modes directifs. Ont été cumulés les test/retest et les résultats avant/arrière de toutes les dimensions étudiées (« intelligibilité vocale », « atténuation du bruit perturbant » et « naturel de la sonorité »).

Pour utiliser StereoZoom dans la plateforme Spice, l'utilisateur devait activer un programme manuel supplémentaire. StereoZoom ne pouvait donc être activé que dans certains boîtiers d'aides auditives ou à l'aide d'une télécommande. De plus, l'utilisateur de l'aide auditive devait décider lui-même quand il voulait activer StereoZoom. Il est pourtant souvent difficile pour un utilisateur de système auditif de savoir quel est le programme correct dans une situation donnée. C'est ainsi qu'il pouvait arriver qu'il utilise StereoZoom trop rarement ou trop souvent, moyennant quoi la consommation de courant pouvait être trop importante d'une part, ou StereoZoom risquait d'être activé dans des situations où il n'offrait pas d'avantages supplémentaires et pouvait même être contreproductif, d'autre part.
C'est pour ces raisons qu'une activation automatique de StereoZoom a été développée, permettant désormais d'utiliser ce focalisateur dans le SoundFlow automatique. Le système automatique a été développé de telle sorte que StereoZoom ne soit mis en service que dans les situations pertinentes, afin d'éviter les inconvénients cités plus haut. L'algorithme analyse les signaux d'entrée des deux aides auditives en se basant sur une multitude de paramètres (par exemple, niveau d'entrée et situation acoustique détectée par la classification), et les compare grâce à la transmission sans fil. C'est seulement dans le cas d'une combinaison prédéfinie de ces paramètres que la décision d'activer StereoZoom est prise par les deux appareils. L'activation ne se produit pas brusquement, mais avec une certaine hystérésis, afin que StereoZoom ne soit mis en marche que dans les situations dans lesquelles les paramètres mesurés sont stables pendant un certain temps. La sensibilité de la commutation peut être ajustée finement à l'aide du logiciel d'appareillage Phonak Target 3.0, les constantes de temps de SoundFlow et celles d'auto StereoZoom étant cependant couplées. C'est ainsi que l'on garantit qu'une caractéristique directionnelle étroite ne pourra être activée ou inactivée que quand tous les paramètres gérés par SoundFlow sont au niveau requis. Ceci affecte les temps de réaction et l'inertie du système dans des situations changeantes.
Grâce à ces mesures techniques, auto StereoZoom n'est activé que dans les situations vraiment pertinentes, et il est toujours disponible dès que l'activation de ce système microphonique binaural est vraiment profitable. La consommation supplémentaire de courant requise par StereoZoom est limitée aux situations dans lesquelles il apporte un bénéfice supplémentaire. De plus, en raison de l'activation automatique de StereoZoom, l'utilisateur de l'aide auditive n'est plus limité dans le choix du modèle d'appareil quand il souhaite pouvoir utiliser la fonction StereoZoom.

C'est ainsi que Phonak fournit une solution efficace basée sur la Technologie Binaurale VoiceStream® dans les situations auditives difficiles «Comprendre dans des groupes importants en faisant face à son interlocuteur».

auto ZoomControl

Dans les systèmes de microphones directionnels décrits précédemment, on suppose que la source de signal utile se trouve devant l'utilisateur du système auditif, soit à un azimut de 0°. Dans certaines situations, cependant, le signal utile provient d'une autre direction que frontale et l'utilisateur de l'aide auditive ne peut pas (ou ne veut pas) tourner la tête pour voir la personne qui parle. Un exemple typique d'une telle situation est le conducteur d'une voiture, malentendant appareillé, qui veut discuter avec son passager, mais doit se concentrer sur la circulation routière, devant lui. Dans ce cas, il est souhaitable que la zone de plus haute sensibilité du système de microphones directionnels soit orientée du côté du passager.

C'est précisément dans ce but que l'algorithme auto ZoomControl a été mis en œuvre dans les aides auditives Premium sans fil de Phonak, dès la plateforme numérique Spice. Cette fonction exploite également les quatre microphones disponibles afin de pouvoir détecter rapidement et sans ambiguïté la situation correspondante et régler automatiquement la directivité la plus efficace. Pour cela, le malentendant appareillé doit commuter manuellement ses deux aides auditives dans un programme spécifique que l'audioprothésiste aura préalablement programmé, afin d'activer la liaison sans fil. Celle-ci doit rester activée, car c'est par ce lien que se fait l'échange de données pour la classification de la scène acoustique et le transfert des données audio.

Tout d'abord, l'algorithme détermine de quelle direction provient le signal vocal dont le RSB et / ou le niveau est le plus élevé et commute alors dans la direction de focalisation appropriée. Comme c'était déjà le cas avec auto StereoZoom, la commutation se fait après plusieurs secondes, pour éviter un comportement nerveux du système. De plus, le temps de commutation dépend du niveau du bruit perturbant, ainsi que de la situation que la classification a détectée.

Si le locuteur se trouve devant ou derrière l'utilisateur des aides auditives, toutes deux se règlent avec une directivité fixe vers l'avant (cardioïde) ou vers l'arrière (anti-cardioïde), afin d'assurer la meilleure intelligibilité vocale possible. Dans ce cas, la liaison sans fil n'échange que des paramètres de contrôle entre les deux aides auditives, afin d'analyser si la scène acoustique est stable ou si elle se modifie. Par contre, si le locuteur se tient à gauche ou à droite de la personne appareillée, l'aide auditive qui est la plus

proche du locuteur (ipsilatérale) et qui présente donc le meilleur RSB en raison de la proximité du locuteur et de l'absence d'effet d'ombre de la tête, se règle en mode omnidirectionnel. Le signal du microphone de l'aide auditive opposée (controlatérale) est atténué. Le signal audio est alors transmis sans fil du côté ipsilatéral au côté controlatéral. Ceci en tenant compte des différentes fonctions de transmission telles que, par exemple l'effet de la position du microphone (MLE – Microphone Location Effect), afin que la commutation se produise sans différence perceptible de sonie ou de tonalité. Pour cela, le MLE appliqué correspond à une incidence frontale du signal. L'amplification des signaux dans les deux aides auditives tient compte de la correction propre à chaque appareil, afin que le système puisse aussi fonctionner en cas de perte auditive asymétrique.

L'amélioration de l'intelligibilité vocale, tout en préservant les capacités de localisation spatiale, a déjà été confirmée par de nombreuses études (Nyffeler 2010d, Nyffeler 2010e). Dans une étude plus récente, qui a été réalisée à Oldenbourg et qui a déjà été citée dans le chapitre « auto StereoZoom », les mêmes sujets ont comparé auto ZoomControl à deux systèmes concurrents. Pour cela, l'intelligibilité vocale objective a été là encore examinée à l'aide du test de phrases d'Oldenbourg. Le signal perturbant était à nouveau présenté simultanément dans différents haut-parleurs pour créer un bruit perturbant diffus. Dans ce cas le signal utile ne provenait pas de l'avant, mais était diffusé (aléatoirement) à 90° et 270° (voir figure 6). Les sujets ne savaient pas dans quel haut-parleur chaque phrase du test d'Oldenbourg était diffusée, ce qui permettait de mesurer en même temps la capacité de concentration. Afin de donner au système suffisamment de temps pour s'aligner sûrement sur le signal utile, une phrase d'annonce était diffusée avant la présentation de la phrase de test. La médiane des SRV est présentée figure 7 (pour la combinaison des deux angles de diffusion de 90° et 270°) dans les différentes conditions de mesure. Il est manifeste qu'auto ZoomControl est nettement meilleur que les deux autres systèmes. auto ZoomControl permet en effet d'obtenir une amélioration de 1,9 dB du SRV par rapport au concurrent 2 et de presque 3 dB par rapport au concurrent 1. Les deux valeurs étant nettement supérieures au seuil de détection du test de phrase d'Oldenbourg, les résultats peuvent être considérés comme significatifs.

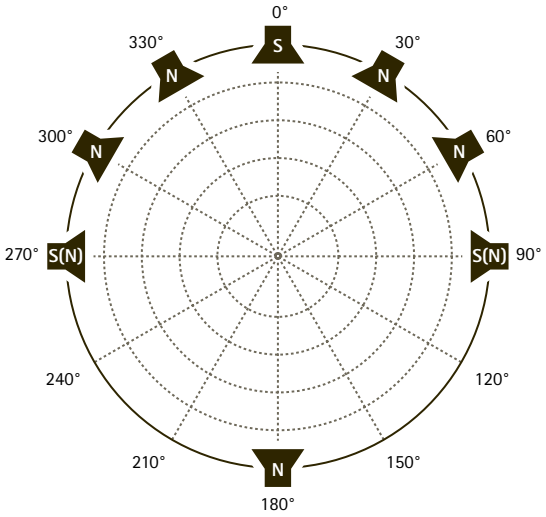

Figure 6
Installation d'essai pour examiner auto ZoomControl à l'aide du test de phrases d'Oldenbourg. Dans ce cas, le bruit de cafétéria perturbant est présenté dans les haut-parleurs situés à 0°, 30°, 60°, 180°, 300° et 330° avec un décalage temporel afin que l'on puisse considérer être en présence d'un bruit diffus. Le signal vocal était présenté soit à 90°, soit à 270°.

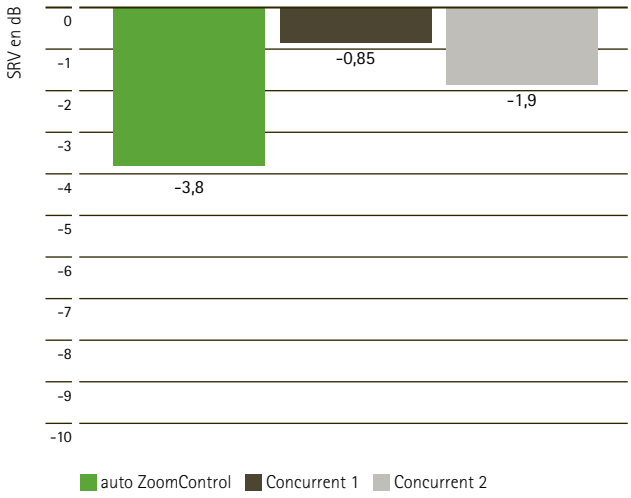

Figure 7
Médiane des SRV mesurés par le test OLSA, combinés pour les angles de 90° et 270°, dans les trois conditions de mesures: auto ZoomControl et deux systèmes concurrents avec des approches comparables, mais non binaurales.

Wu et son équipe (2012) ont comparé trois concepts différents destinés à faciliter la communication d'un malentendant appareillé conduisant une voiture avec un interlocuteur assis sur le siège passager ou à l'arrière. Les trois concepts consistaient en:

- Un microphone directionnel dont la directivité était orientée vers l'arrière (HA1)
- Un système tel que le signal de l'appareil (ipsilatérale) ayant le meilleur RSB est transmis par une diffusion sans fil dans l'autre appareil (controlatéral) (HA2 correspondant à auto ZoomControl)
- Un système qui, dans un appareillage binaural, réduit le bruit perturbant du côté où le RSB le plus faible est mesuré (HA3).

L'installation pour les mesures perceptives a été préparée conformément à la figure 8, dans une voiture qui roulait. Le signal vocal et le bruit perturbant étaient diffusés par des haut-parleurs situés respectivement sur le côté (position locuteur latéral) et à l'arrière (position locuteur arrière). On a en même temps enregistré les signaux de sortie des deux aides auditives placées sur un KEMAR installé à la place du passager. Ces enregistrements ont ensuite été corrigés en fonction de l'audition de 25 sujets atteints de pertes auditives symétriques et leur ont été diffusés via des oreillettes intra-auriculaires, afin d'évaluer leur intelligibilité vocale objective. Les résultats du test CST (Connected Speech Test) (Cox et al. 1987) pour HA2, à savoir l'auto ZoomControl utilisé dans Phonak Quest, sont présentés figure 9. La directivité s'adapte toujours idéalement à chaque situation, en ce sens que c'est toujours la directivité qui donne les meilleurs résultats qui est créée automatiquement. Le RSB s'améliore ainsi à un degré tel que le profit objectif mis en évidence auparavant de façon théorique par les mesures sur KEMAR a pu être confirmé par les résultats des tests vocaux. C'est ainsi que les sujets ont pu, grâce à l'utilisation d'auto ZoomControl «NewTech», comprendre en moyenne environ 10,6% de mieux qu'avec une fonction omnidirectionnelle. Par rapport au réglage directionnel, qui est bien entendu contreproductif dans cette situation, l'amélioration de l'intelligibilité vocale était même de 37,6%. En considérant la situation « Parole latérale », le réglage auto ZoomControl améliorait même l'intelligibilité vocale de 18,5% (par rapport au mode omnidirectionnel) et de 33,8% (par rapport au mode directionnel frontal fixe). Tous ces résultats sont statistiquement significatifs, avec un test ANOVA supplémentaire qui a clairement montré une corrélation entre les résultats CST mesurés et auto ZoomControl.

Une comparaison générale des concepts entre eux n'a cependant pas été analysée statistiquement dans l'étude citée ici, mais a néanmoins montré en moyenne des avantages pour auto ZoomControl par rapport aux deux autres technologies décrites ci-dessus.

C'est ainsi que Phonak offre une solution efficace basée sur la Technologie Binaurale VoiceStream® dans les situations auditives difficiles « Comprendre dans le bruit quand le locuteur ne se tient pas en face de la personne appareillée ».

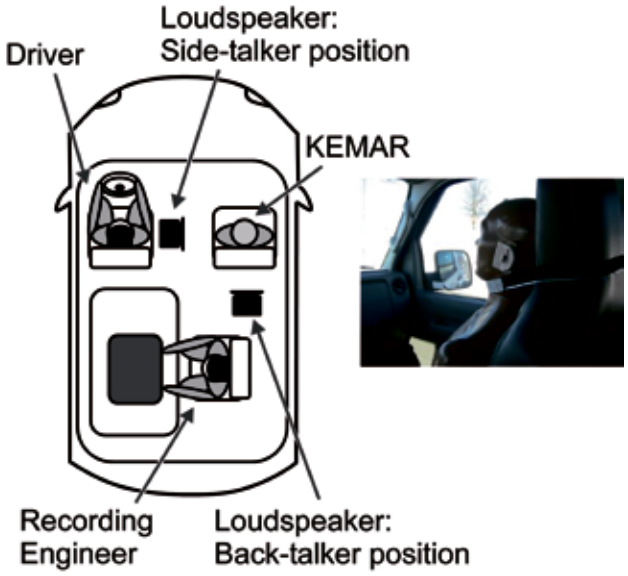

Figure 8
Schéma de l'installation d'enregistrement des échantillons sonores pour le test CST (d'après Wu et al. 2012).

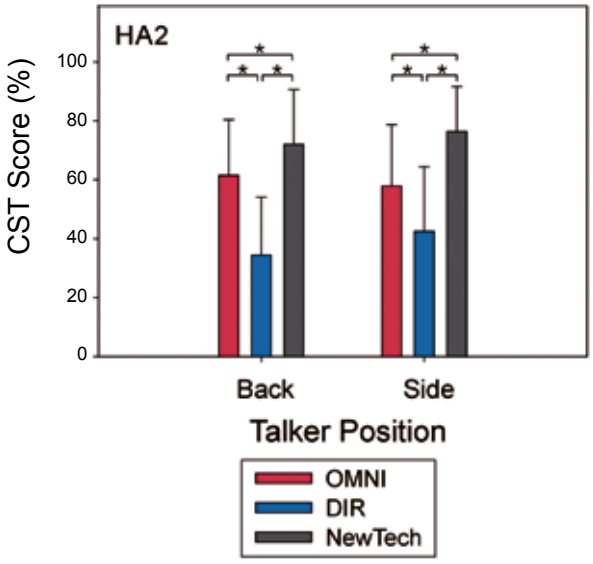

Figure 9
Moyenne des résultats du test CST obtenus avec les trois concepts étudiés indépendamment dans chaque situation d'essai, parole latérale ou arrière. Les résultats sont statistiquement significatifs (niveau de pertinence 0,001) (d'après Wu et al. 2012).

DuoPhone

Bien comprendre au téléphone représente un grand défi pour de nombreux malentendants (Latzel 2001). Et c'est particulièrement difficile dans un environnement très bruyant. C'est pourquoi presque toutes les aides auditives disposent d'un capteur téléphonique qui ne prélève que le signal électromagnétique délivré par une bobine couplée à l'écouteur du téléphone. Le microphone est le plus souvent aussi mis en sourdine afin de ne pas amplifier le bruit ambiant – le RSB est en conséquence élevé. Toutefois, les téléphones modernes ne disposent que très rarement d'écouteurs émettant des champs électromagnétiques, si bien que les capteurs téléphoniques ne sont que très rarement efficaces. De plus, le signal controlatéral du système auditif, qui n'est pas utilisé pour téléphoner, est gênant ou alors il doit être arrêté. Les avantages de l'audition binaurale ne pouvaient donc pas être exploités pour l'usage du téléphone. On a alors recherché de nouvelles solutions pour rendre ces situations moins difficiles aux utilisateurs de systèmes auditifs, et en particulier à ceux qui ont besoin de téléphoner pour leur activité professionnelle.

Ces réflexions ont conduit au développement de la fonction DuoPhone. DuoPhone exploite le transfert de données audio entre les aides auditives pour transmettre le signal de l'aide auditive ipsilatérale dans l'aide auditive controlatérale. En même temps, le signal d'entrée de l'aide auditive controlatérale est réduit de 6 dB, afin que le signal prélevé du côté ipsilatéral soit dominant. C'est ainsi que le bon RSB dont on dispose dans l'aide auditive ipsilatérale est transmis dans l'aide auditive controlatérale. Si, de plus, la fonction EasyPhone est activée, le système auditif s'adapte automatiquement à la nouvelle situation, et il suffit à l'utilisateur de placer le combiné téléphonique contre son aide auditive. Téléphoner est alors possible avec un bien meilleur RSB et en exploitant en plus la fonction binaurale de façon encore plus efficace.

L'utilisation de DuoPhone en termes d'amélioration de l'intelligibilité vocale pour téléphoner dans un bruit perturbant a été testée à l'université des sciences appliquées de Lubeck sur 15 sujets atteints de pertes auditives moyennes à sévères. Un test « Just Follow Conversation » (JFC-Test) (Higge et al., 1992) a été utilisé pour pouvoir mieux tenir compte des besoins individuels de chaque personne testée. C'est chaque participant lui-même qui indiquait ici quel était le niveau du signal qu'il devait avoir par rapport au bruit ambiant (55 dB) pour que soit rempli le critère « Je peux juste suivre l'histoire qui m'est proposée ». La figure 10 présente les résultats individuels du test JFC. Des valeurs positives signifient que le RSB est meilleur en utilisant DuoPhone et des valeurs négatives indiquent un avantage pour l'utilisation monaurale du signal du téléphone. Chez trois sujets seulement, l'intelligibilité vocale subjective, telle qu'elle est déterminée par le test JFC, ne s'est pas améliorée. Dans tous les autres cas, le RSB s'est amélioré d'une valeur pouvant atteindre 12 dB en utilisant DuoPhone. Cela signifie que pour ces sujets, le signal du téléphone pourrait être de 12 dB plus faible que le signal perturbant quand DuoPhone est activé, par comparaison avec la situation où le signal du téléphone n'est présenté que dans une seule oreille.

C'est ainsi que Phonak offre une solution efficace basée sur la Technologie Binaurale VoiceStream® dans les situations auditives difficiles «Téléphoner en situation bruyante».

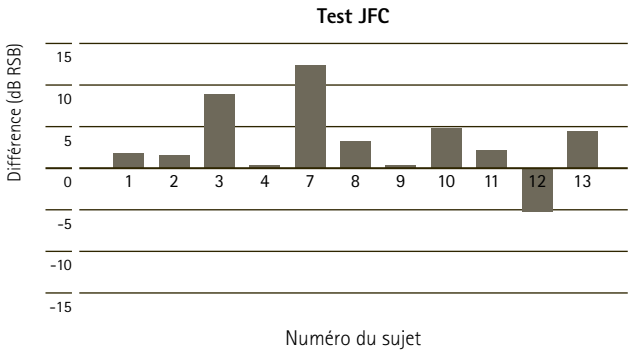

Figure 10
Présentation des résultats individuels du test JFC. Le signal vocal était présenté via l'écouteur d'un téléphone et le signal perturbant par un haut-parleur en champ libre. Le sujet testé modifiait le niveau du signal vocal jusqu'à ce qu'il puisse «juste suivre ce qui était dit» (seuil JFC). Les seuils JFC représentés sont rapportés aux conditions monaurales dans lesquelles le signal vocal n'était présenté que dans l'oreille «téléphone».

Speech in Wind

La dégradation du RSB due au vent joue un très grand rôle dans la vie quotidienne. (Chung 2012a, Chung 2012b). Ceci est particulièrement vrai quand un malentendant porte un système auditif car il est alors exposé au bruit perturbant provoqué par les turbulences du vent autour des microphones de l'aide auditive, souvent mal positionnés. Dans ce domaine également, de nombreuses innovations ont été développées ces dernières années pour réduire le bruit du vent, soit par des solutions mécaniques, soit par un traitement numérique du signal. Les solutions purement mécaniques étaient efficaces, mais souvent insuffisamment transparentes sur le plan acoustique quand, par exemple, le filtre utilisé pour recouvrir le microphone était souillé lors de son utilisation quotidienne, au point d'affecter le fonctionnement de l'appareil. Des algorithmes conçus pour séparer le signal utile du signal dû au vent, à l'aide de filtres adaptatifs par exemple, ne permettaient souvent qu'une réduction de l'amplification dans certaines bandes de fréquences. Le bruit perturbant était certes atténué, mais le signal vocal l'était malheureusement aussi, si bien que ces concepts étaient insuffisants pour assurer une bonne intelligibilité vocale, dans de nombreuses situations affectées par le vent.
Outre l'atténuation insuffisante, la détection peut aussi laisser à désirer, ce qui peut se traduire par un fonctionnement mal défini du système auditif. Ce peut être le cas, par exemple, quand du vent est « détecté » alors qu'il n'y en n'a pas (erreur positive: spécificité) ou que le vent n'est pas détecté alors qu'il est présent, mais qu'il est peut-être encore un peu trop faible (erreur négative: sensibilité).

La nouvelle fonction Speech in Wind résout précisément ces deux problèmes. D'une part la sensibilité et la spécificité de la détection sont renforcées et, d'autre part, le filtrage du bruit du vent est plus subtil, ce qui améliore aussi l'intelligibilité vocale.

Détection:
En se basant sur la technologie Phonak actuelle, c'est le niveau des composantes graves du signal d'entrée qui sert d'indicateur pour détecter le vent. En plus de cela, Phonak Quest analyse les signaux microphoniques du système de double microphone. Si pendant une durée définie (la constante de temps du système), aucune relation stable entre le niveau et la phase des deux signaux n'est établie, le système estimera qu'il s'agit de vent. De plus, le comportement relatif de certaines composantes de fréquences est analysé pour déterminer la force du vent. Les deux résultats combinés conduisent, en quelques secondes, à une atténuation du signal en fonction du niveau du bruit du vent. La constante de temps dépend toutefois du réglage de sensibilité du système SoundFlow automatique.
Pour ce nouvel algorithme, l'aide auditive doit disposer de deux signaux microphoniques distincts. Dans le cas de systèmes auditifs qui n'auraient qu'un microphone ou si les réglages sont tels qu'un seul des convertisseurs analogique / numérique est disponible dans l'étage de pré-amplification (le second convertisseur analogique / numérique étant par exemple utilisé pour le signal issu du sabot audio), la détection se produit selon le même principe que celui qui est déjà utilisé dans Spice+.

Atténuation:
En complément de l'antibruit du vent déjà disponible, le système mis en place dans la nouvelle plateforme Quest permet d'avoir une atténuation en fonction du rapport du signal sur bruit, déterminé par la différence entre le niveau du bruit du vent estimé et le niveau du signal utile. Quand le niveau du signal vocal dans Speech in Wind est plus élevé que celui du bruit du vent, l'atténuation est réduite. Ceci permet de garantir que les composantes vocales du signal d'entrée ne seront pas altérées et d'assurer que la fonction Speech in Wind améliorera non seulement le confort d'écoute, mais aussi l'intelligibilité vocale en présence de vent.
Le nouvel antibruit du vent travaille aussi en fonction du niveau mesuré du bruit du vent perturbant. Pour cela, il utilise les paramètres d'estimation dépendant de la fréquence pour fournir une information sur l'intensité du bruit du vent. L'atténuation est contrôlée d'après la valeur déterminée de telle sorte qu'elle soit réduite si le bruit du vent est faible, et renforcée quand le bruit du vent augmente.

Pour que l'atténuation du bruit perturbant dû au vent soit également suffisante en cas d'appareillage ouvert, la fréquence de coupure du filtre antibruit du vent dépend de la taille de l'évent sélectionné. Ceci, afin de pouvoir traiter les composantes dont la fréquence va jusqu'à 3,5 kHz en cas d'appareillage très ouvert; par contre, en cas d'appareillage totalement fermé, l'atténuation ne se produira que jusqu'à 1,6 kHz.

Amélioration de l'intelligibilité vocale:
L'atténuation du bruit du vent rend plus agréable l'utilisation du système auditif dans des milieux venteux, mais ne contribue généralement pas à améliorer la communication dans le vent. C'est probablement une raison pour laquelle les situations dans le vent sont toujours décrites comme de grands problèmes dans les plus récentes études de Kochkin (2010). Dans des situations affectées par du vent, il est donc important, non seulement d'améliorer le confort auditif, mais aussi d'améliorer l'intelligibilité vocale. C'est pourquoi la nouvelle fonction Speech in Wind exploite la communication sans fil entre les deux aides auditives d'un système auditif, pour permettre un traitement binaural du signal. Le nouvel algorithme binaural échange entre les appareils, par la liaison sans fil, les niveaux de bruit de vent détectés dans

chacune des deux aides auditives et compare entre eux les paramètres échangés. Au cas où ceux-ci sont à peu près identiques, le système reste inactif. Le système considère qu'il est dans une situation de bruit symétrique et c'est le dispositif monaural WindBloc qui agit séparément dans chacune des aides auditives. Par contre, si des valeurs différentes sont détectées, le système en déduit que la situation de vent est asymétrique. Dans ce cas, le signal en provenance du côté le moins affecté par le bruit du vent (ipsilatéral) sera transmis de l'autre côté (controlatéral). Les deux signaux du côté controlatéral, le signal ipsilatéral avec peu de bruit du vent et le signal du microphone controlatéral sont ensuite filtrés puis superposés. Les composantes du signal qui contribuent à l'audition spatiale et à la localisation sont autant que possible préservées. Du côté controlatéral, seules ces bandes de fréquences du signal microphonique seront atténuées et le reste du signal sera superposé au signal transmis en provenance de l'aide auditive ipsilatérale. Ce signal global sera traité selon la fonction de traitement du signal de l'aide auditive controlatérale. La figure 11 donne un exemple de situation de vent asymétrique et présente le comportement des différents systèmes. Le graphique de gauche représente le signal d'entrée des aides auditives droite et gauche. Le signal d'entrée de l'oreille droite est perturbé par le bruit du vent. Le bruit du vent n'est pas atténué car Speech in Wind n'est pas actif (figure 11a). Dans la figure 11b, Speech in Wind a été activé. Le système détecte le bruit du vent dans l'aide auditive droite, si bien que le niveau d'entrée est **réduit** améliorant ainsi le confort auditif. Speech in Wind est également activé figure 11c. Un bruit de vent plus faible est détecté dans l'aide auditive gauche et le signal audio est transmis de l'aide auditive gauche vers la droite. C'est ainsi que le signal non perturbé est traité dans les deux aides auditives et que, par conséquent, **l'intelligibilité vocale** augmente nettement.

C'est ainsi que Phonak offre une solution efficace basée sur la Technologie Binaurale VocieStream® dans les situations auditives difficiles « Comprendre la parole en présence de vent ».

Figure 11
Démonstration du mode d'action de Speech in Wind. Chaque image représente l'évolution temporelle des signaux microphoniques droit (R) et gauche (L).
En **a**, Speech in Wind est désactivé. Le signal microphonique droit est perturbé par le bruit du vent, le signal microphonique gauche est un signal vocal intact.
En **b**, Speech in Wind est activé. Le signal microphonique gauche n'est pas modifié, car aucun effet du vent n'est détecté. Speech in Wind **atténue** nettement le signal microphonique droit.
En **c**, Speech in Wind est activé. Le système reconnaît que le bruit du vent perturbant est plus faible du côté gauche que du côté droit (ou n'est pas présent). Le signal vocal est donc transmis par la liaison sans fil du côté gauche vers le côté droit.

Conclusion

Tous les algorithmes décrits dans cet article sont disponibles avec la nouvelle plateforme de traitement du signal Quest. Pour que les algorithmes puissent fonctionner d'une façon aussi efficace que possible, les aides auditives doivent être parfaitement adaptées aux besoins auditifs individuels des malentendants. Pour cela, il faut par exemple que les caractéristiques acoustiques individuelles de chaque utilisateur soient prises en compte et que l'appareillage soit « aussi fermé que possible et aussi ouvert que nécessaire ». De plus, il est nécessaire de vérifier régulièrement les appareillages et les appareils, au cas où la perte auditive s'aggraverait par exemple ou que le système microphonique se modifierait dans le temps.

Si ces conditions sont remplies, les systèmes présentés dans cet article montrent que les algorithmes binauraux réalisés avec la nouvelle plateforme Phonak Quest mettent à la disposition des utilisateurs d'aides auditives des solutions efficaces pour résoudre d'importants problèmes de leur vie quotidienne. Par conséquent, ils amélioreront nettement la satisfaction des utilisateurs d'aides auditives.

Bibliographie

Chung K (2004) Challenges and Recent Developments in Hearing Aids. Part I. Speech Understanding in noise, microphone technologies and noise reduction algorithms. Trends in amplification 8 (3): 83-124.
Chung K (2012a) Wind noise in hearing aids: I. Effect of wide dynamic range compression and modulation-based noise reduction. Int J Audiol 51: 16-28.
Chung K (2012b) Wind noise in hearing aids: II. Effect of microphone directivity. Int J Audiol 51: 29-42.
Cox RM, Alexander GC, Gilmore CA (1987) Development of the connected speech test (CST). Ear and Hearing, 8 (supplement): 119-126.
Hygge S, Rönnberg J, Larsby B, Arlinger S (1992) Normal-hearing and hearing-impaired subjects' ability to just follow conversation in competing speech, reversed speech and noise backgrounds. J Speech Hear Res 35: 208-215.
Kreikemeier S, Margolf-Hackl S, Raether J, Fichtl E, Kiessling J (2012) Vergleichende Evaluation unterschiedlicher Hörgeräte-Richtmikrofontechnologien bei hochgradig Schwerhörigen. Zeitschrift für Audiologie, Supplement zur 15. Jahrestagung der deutschen Gesellschaft für Audiologie.
Kochkin S (2009) MarkeTrak VIII: 25 year trends in the hearing health market. The Hearing Review, Vol. 16 (11): 12-31.
Kochkin S (2010) MarkeTrak VIII: Customer satisfaction with hearing aids is slowly increasing. The Hearing Journal, Vol. 63 (1): 11-19.
Latzel M (2001) Kommunikationsprobleme von Hörgeräteträgern bei der Telefonkommunikation - Ansätze zu deren Objektivierung und Lösung. Dissertation Universität Gießen.
Nyffeler M (2010a) Geschaffen für erstklassigen Hörgenuss, tatsächlich binaural. Audio Infos 114: 78-82
Nyffeler M (2010b) StereoZoom – Verbesserung von Richtmikrofonen. Field Study News September
Nyffeler M (2010c) StereoZoom – Nutzen von binauralen Richtmikrofonen. Field Study News Oktober
Nyffeler M (2010d) Auto ZoomControl – Automatische Fokusverlagerung auf Sprachsignale von Interesse. Field Study News September
Nyffeler M (2010e) Auto ZoomControl – Objektiver und subjektiver Nutzen mit auto ZoomControl. Field Study News Oktober
Nyffeler M, Hofreiter A, Ebbing S, Wolf M (2009) Bilateraler Geräteabgleich in Echtzeit - Verbesserte Sprachverständlichkeit und Lokalisierungsfähigkeit. Audio Infos 103: 50-54.
Ricketts T, Mueller G (1999) Making sense of directional microphone hearing aids. Am J Audiol Vol. 8: 117-127.
Timmer B (2010) Neue Ansätze bei direktionalen Multi-Mikrofon-Systemen. Hörakustik 11: 12-16.
Wagener K, Kühnel V, Kollmeier B (1999) Entwicklung und Evaluation eines Satztests in deutscher Sprache I: Design des Oldenburger Satztests. Z Audiol 38(1): 4-15.
Wu YH, Stangl EA, Bentler RA, Stanziola RW (2012) The effect of hearing aid technologies on listening in cars.

028-0773-04/V1.00/2012-10/8G Printed in XXXX © Phonak AG All rights reserved