

Étude comparative d'Oticon More™

Partie 1 - Éléments techniques

RÉSUMÉ

Ce livre blanc décrit les résultats de mesures techniques comparant les performances d'Oticon More à celles de deux aides auditives concurrentes haut de gamme. Les mesures du rapport signal/bruit en sortie, obtenues dans des scènes sonores réelles, démontrent que la fonction MoreSound Intelligence™ d'Oticon More offre un contraste plus important entre la parole et le son en arrière-plan que les deux concurrents testés dans des situations d'écoute aussi complexes. Ce qui donne à l'utilisateur un meilleur accès à la parole dans un environnement d'écoute, même lorsque celle-ci provient du côté. Grâce à une analyse temps/fréquence détaillée du signal de sortie de l'aide auditive, nous montrons que l'action du réseau neuronal profond d'Oticon More, associée à l'amplification précise du MoreSound Amplifier™, transmet les détails de la parole avec plus de précision que les technologies utilisant les approches traditionnelles de directivité, de réduction du bruit et de compression. En conclusion, les résultats montrent qu'Oticon More s'adapte plus rapidement aux nouvelles scènes sonores que les deux concurrents testés, permettant ainsi à l'utilisateur de bénéficier d'une meilleure compréhension de la parole plus rapidement alors que son environnement sonore change. La deuxième partie de cette étude comparative présentera les résultats d'un test d'écoute des utilisateurs comparant les trois mêmes aides auditives.

- 02 Des sons plus significatifs pour le cerveau
- 02 Mettre en valeur la parole dans des environnements complexes
- 04 Permettre l'accès aux détails de la parole dans le bruit
- 07 S'adapter rapidement aux nouvelles scènes sonores
- 08 Conclusion
- 09 Références

AUTEURS

Sébastien Santurette, Lu Xia, Cosima A. Ermert et Brian Man Kai Loong
Centre de recherche en audiologie appliquée, Oticon A/S

Des sons plus significatifs pour le cerveau

Donner au cerveau un accès à plus de sons, c'est ce que l'approche audiolologique innovante d'Oticon More vise à réaliser en remettant en cause les limites des approches conventionnelles en matière de directivité, de réduction du bruit, de compression et de gestion de l'effet Larsen (Santurette & Behrens, 2020). Pour que plus de sons fasse vraiment la différence pour une personne malentendante, nous ne pouvons pas nous contenter de transmettre à l'utilisateur tous les sons qui entrent dans l'aide auditive et d'augmenter le gain. Cela reviendrait à ignorer la complexité et l'individualité de la perte auditive de chaque personne et ne permettrait pas de garantir l'audibilité, la clarté et le confort. Les aides auditives modernes doivent donc fournir davantage de sons importants pour chaque utilisateur et adapter leur traitement du son aux capacités auditives et aux besoins d'écoute de chaque personne, en veillant à ce qu'elle reçoive l'aide dont elle a besoin dans les situations d'écoute qu'elle trouve les plus difficiles. Atteindre cet objectif signifie que, dans l'idéal, les aides auditives devraient améliorer l'activité neuronale aux premiers stades du traitement auditif dans le cerveau afin que ce code neural ressemble à celui d'une personne à l'audition normale (Lesica, 2018). Si l'entrée neurale est correctement restaurée, le traitement des informations auditives dans le cerveau sera facilité et plus efficace, ce qui permettra de reconnaître plus facilement les caractéristiques sonores importantes et de s'orienter dans les scènes auditives complexes que l'utilisateur rencontre. Il s'agit d'une condition préalable importante pour que son attention sélective soit dirigée vers les sons qui sont au centre de l'intérêt de l'utilisateur à un moment donné, tout en laissant conscient des autres sons importants de la scène (Man & Ng, 2020).

Les technologies MoreSound d'Oticon More ont été conçues pour se rapprocher de cet objectif en fournissant un son plus significatif au cerveau, avec des avantages cliniques BrainHearing™ avérés tels qu'une représentation plus claire de la scène sonore complète et des sons individuels importants dans le cortex auditif, permettant à l'utilisateur de mieux se concentrer sur les sons pertinents et de mieux comprendre et se remémorer de ce qui est dit avec un effort d'écoute moindre (Santurette et al., 2020). Tout d'abord, MoreSound Intelligence (MSI) et son réseau neuronal profond (RNP) intégré clarifient l'ensemble de la scène sonore pour faire ressortir les sons significatifs par rapport aux bruits de fond, sur la base d'une correspondance minutieuse entre une analyse continue de la scène sonore entrante et les besoins de l'utilisateur dans cette situation. Ensuite, le MoreSound Amplifier (MSA) garantit que l'accès aux détails sonores importants est préservé tout en amplifiant le son. Pour plus de détails sur l'audiologie et les caractéristiques d'Oticon More, consulter Santurette & Behrens (2020) et Brændgaard (2020a,b).

Comment l'approche MoreSound d'Oticon More se situe-t-elle par rapport aux dernières technologies haut de gamme qui utilisent une combinaison de directivité frontale, de réduction du bruit axée sur la parole et de compression à résolution fixe ? Pour le savoir, nous avons obtenu des enregistrements binauraux de la sortie d'Oticon More et les avons comparés au signal en sortie de deux des derniers appareils concurrents haut de gamme sur le marché (appelés Concurrent A et Concurrent B ci-après) pour exactement le même signal d'entrée. Lors de cette évaluation technique, nous avons mis l'accent sur l'introduction de scènes sonores de la vie réelle dans le laboratoire, ce qui nous a permis d'évaluer les performances des différentes aides auditives dans des situations reflétant ce que les utilisateurs vivent dans leur vie quotidienne. Nous avons étudié les performances techniques d'Oticon More selon trois critères :

- Le contraste obtenu entre la parole et le bruit de fond dans des environnements complexes réels, en utilisant des mesures du rapport signal/bruit (RSB) en sortie ;
- La préservation des détails importants de la parole en présence de bruit, en utilisant l'analyse du spectrogramme et une mesure objective de l'intelligibilité de la parole ;
- La vitesse d'adaptation des aides auditives pour atténuer le bruit de fond lorsqu'elles rencontrent une nouvelle scène sonore.

Mettre en valeur la parole dans des environnements complexes

Alors que les aides auditives modernes ont continué à améliorer leurs stratégies de traitement du signal pour faire ressortir la parole, la compréhension des conversations dans des environnements sonores encombrés reste l'une des difficultés les plus fréquemment signalées par les personnes malentendantes, et le fait d'apporter une aide suffisante aux utilisateurs dans des situations complexes reste un domaine qui nécessite des améliorations plus poussées (Picou, 2020). Les environnements sociaux sont dynamiques par nature. Vous souhaitez peut-être suivre les propos de la personne qui se trouve en face de vous, mais dans une conversation de groupe, vous souhaitez peut-être aussi être attentif lorsqu'un autre membre du groupe intervient, et ce sans être dérangé par des bruits non pertinents et sans vous sentir exclu des sons ambiants qui vous entourent.

Les aides auditives aident les utilisateurs dans ces environnements complexes en atténuant les bruits parasites et/ou en amplifiant les sons importants tels que la parole. Ce contraste entre un signal cible et le bruit de fond peut être quantifié par le rapport signal/bruit (RSB) à la sortie des aides auditives. Un RSB élevé en sortie est

souhaitable car il indique un contraste important entre le signal sur lequel nous voulons nous concentrer et le bruit de fond. En d'autres termes, un RSB élevé en sortie rend la parole plus accessible par le cerveau.

La mesure du RSB en sortie est devenue une procédure de plus en plus courante pour étudier comment différents algorithmes, fonctionnalités ou dispositifs se comparent techniquement dans des environnements bruyants (Naylor & Johannesson, 2009). En général, on utilise à cette fin des installations de laboratoire artificielles, où un signal cible et un signal de bruit préenregistrés sont diffusés par des haut-parleurs uniques provenant de directions spécifiques. Dans cette étude, nous avons voulu pousser cette technique de mesure un peu plus loin en examinant comment nos aides auditives se comportaient dans des scénarios réalistes typiquement vécus par les utilisateurs d'aides auditives. À cette fin, nous avons utilisé deux scènes audio en 3D enregistrées dans la vie réelle avec un réseau de microphones sphériques qui captent le son dans toutes les directions. La première scène était une scène de café avec un seul locuteur masculin danois situé à 15° ou 60° à droite comme son cible (voir la Figure 1 pour une illustration) dans un bruit de fond de 71 dB-SPL composé de personnes discutant, de bruits de couverts et d'autres sons de café tels que la machine à café en fonctionnement. La deuxième scène était une scène de cantine animée avec deux locuteurs masculins danois en conversation comme sons cibles, situés respectivement à 25° à gauche et à 15° à droite (voir la Figure 2 pour une illustration), dans un bruit de fond de 75 dB-SPL composé de personnes discutant et de bruits de cantine tels que le bruit des couverts. Notez que les emplacements des interlocuteurs ont été conservés tels qu'ils étaient dans les scènes réelles du café et de la cantine. Les deux scènes ont été reproduites dans un studio de sonorisation équipé de 29 haut-parleurs, dont 16 étaient placés sur le plan horizontal, 6 en contrebas, 6 en hauteur et 1 juste au-dessus du centre du dispositif. Avec autant de haut-parleurs disposés de manière sphérique, les scènes sonores 3D ont pu être reproduites en utilisant la reproduction ambiophonique, recréant précisément le champ sonore réel au centre du dispositif, avec la sensation d'être directement dans la scène réelle pour un auditeur placé à cet endroit idéal (Favrot & Buchholz, 2012).

Afin d'évaluer la performance des aides auditives, un simulateur tête et torse (HATS-KEMAR) a été placé à l'endroit idéal et équipé des différentes aides auditives de test à l'aide d'embouts dédiés avec un minimum d'aération pour s'assurer que le son enregistré avait été traité par les aides auditives. Toutes les aides auditives ont été réglées sur les paramètres maximaux recommandés par les fabricants respectifs pour les environnements très complexes (MSI réglé pour fournir le plus

d'aide pour Oticon More et la directivité et la réduction du bruit réglées sur les paramètres maximaux recommandés pour les deux concurrents) et le gain a été fourni sur la base d'une perte auditive modérée en pente (audiogramme standard N3, Bisgaard et al., 2010) en utilisant la méthodologie propre à chaque fabricant. Pendant la lecture des deux scènes sonores réelles mentionnées ci-dessus, le signal en sortie de chacune des aides auditives a été enregistré par les microphones très sensibles situés à l'extrémité des conduits auditifs du KEMAR. En obtenant des enregistrements pour différentes relations de phase entre le signal cible et le bruit, le RSB en sortie fourni par chaque aide auditive a été calculé en utilisant la méthode d'inversion de phase établie par Hagerman & Olofsson (2004). Pour plus de détails sur cette technique, voir également Lesimple (2019). Les RSB de sortie ont été pondérés par l'indice d'intelligibilité de la parole (Speech Intelligibility Index - SII) afin de refléter la contribution des différentes régions de fréquence à la compréhension de la parole. Pour chaque scène sonore, ces RSB pondérés en sortie par le SII ont été calculés à partir des signaux en sortie du KEMAR sans aide auditive (appelé ici « sans aide »), avec Oticon More, et avec les aides auditives des concurrents A et B.

La Figure 1 montre les RSB en sortie obtenus dans la scène du café. Dans cette scène sonore, le locuteur est situé vers la droite, de sorte que l'oreille droite est avantagée en termes de RSB par rapport à l'oreille gauche en raison de l'effet d'ombre acoustique de la tête. Cela signifie que l'auditeur doit seulement écouter avec l'oreille droite recevant le signal le moins bruyant pour bénéficier du plus grand contraste acoustique entre la parole et le bruit de fond (Avan et al., 2015). Ce phénomène est communément appelé l'effet « meilleure oreille » (par exemple, Rana & Buchholz, 2018, Bronkhorst & Plomp, 1988). Les barres de couleur plus claire et pleines de la Figure 1 montrent le RSB en sortie de la meilleure oreille pour chacune des conditions mesurées. Lorsque le locuteur cible se trouve à un angle de -15° (côté gauche de la Figure 1), Oticon More, avec un RSB de 2,5 dB, est à égalité avec le concurrent A (2,4 dB) et dépasse le concurrent B (1,4 dB) en termes d'amélioration du contraste entre la parole et le bruit de fond. Lorsque le locuteur cible est déplacé plus loin sur le côté à un angle de -60° (côté droit de la Figure 1), Oticon More devient la seule aide auditive parmi celles testées à fournir un RSB clairement positif (2,0 dB), alors que le concurrent A (0,3 dB) et le concurrent B (-0,7 dB) ne fournissent plus un accès clair à la parole.

Oticon More fournit ainsi le contraste nécessaire pour que la parole se détache du bruit de fond, que le locuteur soit situé à l'avant ou sur le côté de l'auditeur, tandis que les formateurs de faisceau étroits des concurrents

A et B agissent comme des murs invisibles dans la scène sonore, bloquant la parole qui ne fait pas précisément face à l'auditeur. Bien que les utilisateurs dans une telle situation soient plus susceptibles de se fier à leur meilleure oreille, que se passe-t-il si nous considérons maintenant le cas extrême dans lequel l'auditeur se fie également aux signaux des deux oreilles ? Comme l'indiquent les RSB moyens en sortie pour les deux oreilles (barres de couleur plus foncée dans la Figure 1), Oticon More serait toujours plus performant que ses deux concurrents dans une telle situation.

Et si l'utilisateur se trouve maintenant dans une conversation de groupe, par exemple assis en face de deux amis à la table d'un restaurant animé, que se passe-t-il ? La Figure 2 montre le RSB en sortie mesuré obtenu avec les différentes aides auditives pour la scène de la cantine dans laquelle le signal cible consiste en deux interlocuteurs. Comme il y a de la parole des deux côtés de l'auditeur, le RSB moyen entre les oreilles est indiqué. Dans une telle situation, Oticon More fournit toujours le plus grand contraste entre la parole et le bruit de fond (4,7 dB de RSB) comparé au concurrent A (4,2 dB) ou B (2,6 dB). Lorsque plus d'un interlocuteur est présent,

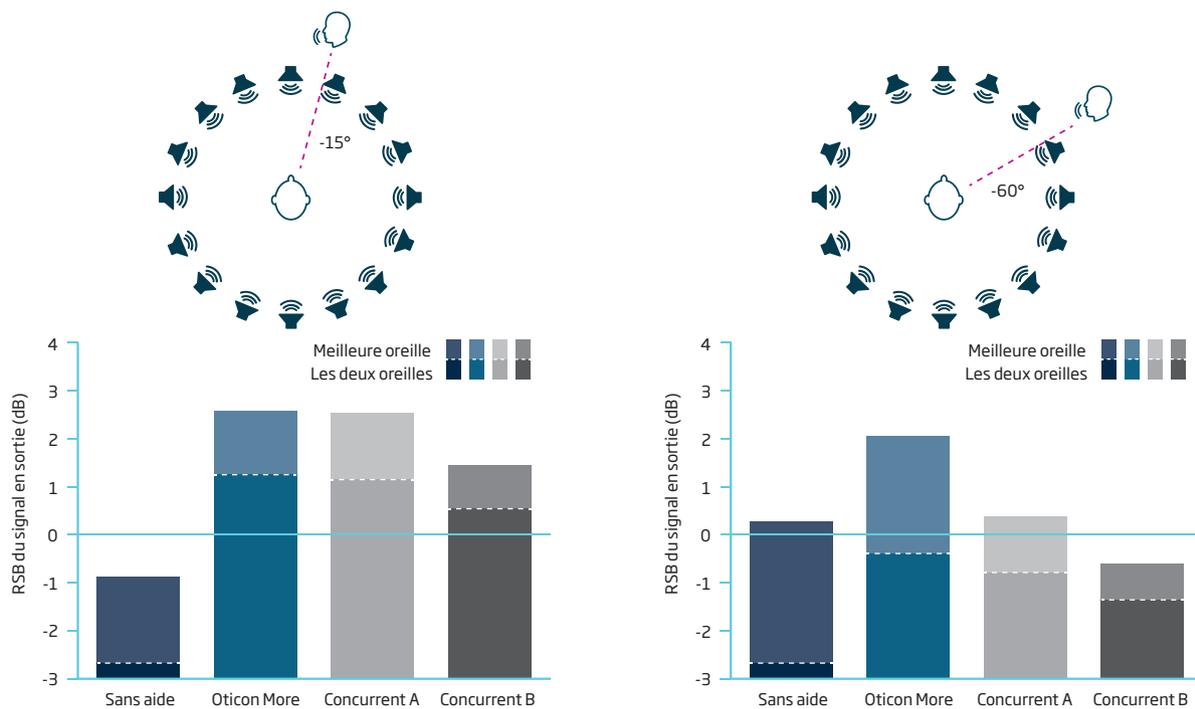


Figure 1 : Illustration schématique des positions des locuteurs et des RSB en sortie pondérés par le SII en dB mesurés dans la scène du café.

Gauche : Le locuteur cible est positionné à -15° d'azimut. Droite : Le locuteur cible est positionné à -60° d'azimut. Les barres de couleur plus claire et pleines montrent les RSB de l'oreille droite (meilleure) et les barres de couleur plus foncée montrent les RSB moyens des deux oreilles.

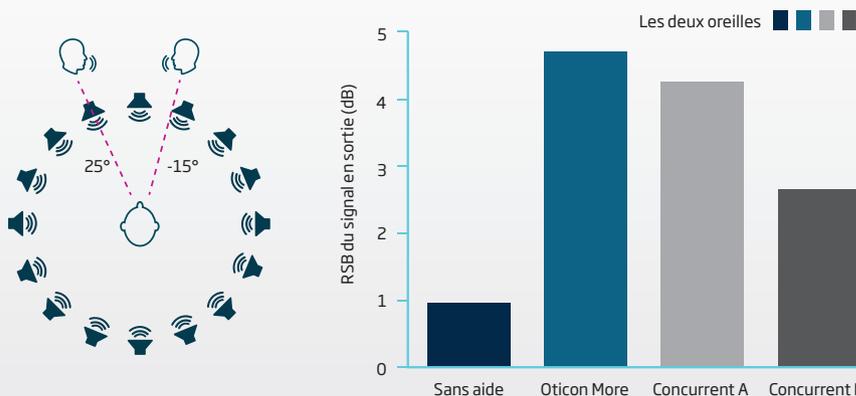


Figure 2 : Illustration schématique des positions des locuteurs et des RSB en sortie pondérés par le SII en dB mesurés dans la scène de la cantine.

Oticon More fournit également un plus grand contraste entre la parole et le bruit pour mieux aider les utilisateurs qui suivent des conversations impliquant plus d'une personne.

En résumé, Oticon More fournit un contraste global plus important entre la parole et le bruit de fond dans des scènes sonores complexes réelles que les deux concurrents testés, en particulier lorsque le locuteur se déplace sur le côté. Grâce au MSI et à l'action de son RNP intégré, Oticon More est en mesure de donner un meilleur accès à la parole autour de l'utilisateur que la combinaison des approches traditionnelles de réduction du bruit et de directivité étroite de traitement du bruit qui bloquent les sons ne provenant pas directement frontalement. Lorsque l'utilisateur a besoin d'aide, Oticon More fait mieux ressortir la parole dans les directions frontale et latérale, sans qu'il soit nécessaire de faire face très précisément à la personne qui parle.

Permettre l'accès aux détails de la parole dans le bruit

Pour obtenir une bonne compréhension de la parole dans le bruit, il faut non seulement que la parole se détache clairement du bruit, mais il est également crucial que les détails fins des éléments de la parole soient transmis à l'utilisateur aussi précisément que possible par l'aide auditive. Sans accès à ces détails, l'utilisateur devra combler les lacunes et deviner davantage ce qui est dit, ce qui entraîne une utilisation supplémentaire des ressources cognitives du cerveau et donc une écoute plus laborieuse.

La préservation des détails de la parole peut être étudiée en effectuant une analyse temps/fréquence détaillée du signal en sortie de l'aide auditive et en le comparant au signal d'entrée. Une telle analyse peut être illustrée par un spectrogramme. Un spectrogramme est une représentation visuelle de la distribution de la puissance sonore, généralement mesurée en dB, dans les composantes de fréquence d'un signal audio variant dans le temps, tel que la parole. Il est largement utilisé dans les

domaines de la linguistique, du traitement de la parole, de l'audio et de la musique, et bien sûr de l'audition. Un spectrogramme est généralement représenté sous la forme d'une carte thermique qui indique le temps sur l'axe des abscisses, la fréquence sur l'axe des ordonnées, et la magnitude de la puissance sonore à une fréquence et un temps particuliers en faisant varier la couleur ou la luminosité de chaque point de l'image.

La Figure 3 montre un exemple d'un tel spectrogramme pour un signal de parole distinct, dans ce cas une séquence de 9 secondes de phrases danoises du corpus Dantale II (Wagener et al., 2003) enregistrées dans une oreille sans aide d'un mannequin KEMAR. L'axe des abscisses représente le temps qui progresse de gauche à droite en secondes. L'axe des ordonnées représente la fréquence sur une échelle logarithmique, allant de 125 Hz à 10 kHz. L'ampleur de la puissance sonore est représentée par des variations de luminosité dans l'image, les régions sombres indiquant une faible puissance sonore (zones calmes) et les régions claires une forte puissance sonore (zones bruyantes). Le panneau supérieur gauche de la Figure 4 montre un spectrogramme du même signal de parole distinct que celui de la Figure 3, mais avec un zoom sur deux des mots (« flotte skabe ») pour mieux analyser les détails. La structure unique des éléments de la parole, ou phonèmes, composés de voyelles et de consonnes, peut être observée sur un spectrogramme de ce type.

Les voyelles voisées de la parole sont constituées d'empilements d'harmoniques régulièrement espacés, avec une puissance maximale dans les fréquences basses à moyennes - les bandes parallèles quasi-horizontales des Figures 3 et 4, qui sont produites par les vibrations des cordes vocales. Plus les vibrations sont rapides, plus le timbre de la voix est élevé, ce qui entraîne des harmoniques plus espacées. La façon dont ces harmoniques varient dans le temps et en fréquence est importante pour percevoir l'intonation de la parole. Regardez également comment les harmoniques ne sont pas toutes de même luminosité/puissance pour une voyelle donnée. Certaines rayures sont plus lumineuses que d'autres

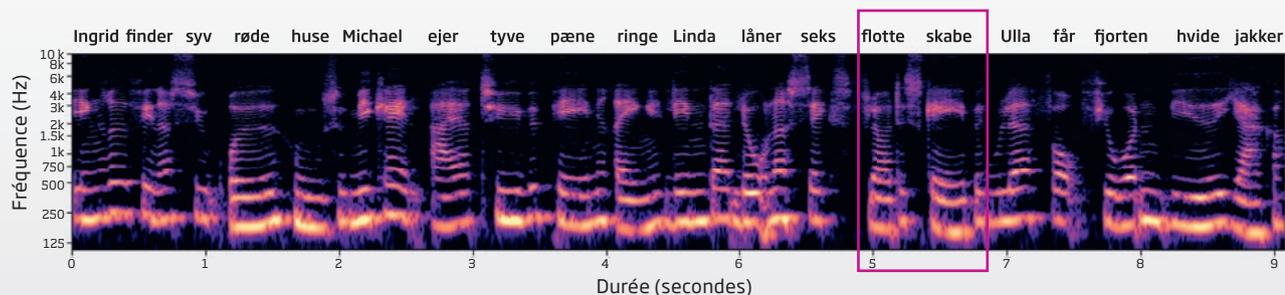


Figure 3 : Spectrogramme de phrases Dantale II distinctes enregistrées sur un KEMAR sans aides auditives. Les deux mots encadrés en rouge, « flotte skabe », correspondent à la vue agrandie de la Figure 4.

parce qu'elles sont proches des fréquences de résonance de notre système vocal (articulateurs), que l'on appelle « formants ». Nous pouvons modifier les fréquences des formants en déplaçant diverses parties du système vocal, comme les lèvres, les mâchoires, la langue et le voile du palais, ce qui produit différents sons de voyelles (Schnupp et al., 2011). Une relation correcte entre les harmoniques de la voyelle (leur luminosité dans les spectrogrammes présentés dans les Figures 3 et 4) est donc essentielle pour qu'un auditeur puisse comprendre quelle voyelle a été prononcée. Dans le panneau supérieur gauche de la Figure 4, regardez par exemple comment la voyelle /a/ a moins de puissance dans les fréquences moyennes que la voyelle /o/.

Contrairement aux voyelles voisées, les consonnes non voisées de la parole contiennent des pics d'énergie plus courts, principalement dans la gamme de fréquences moyennes à élevées. Le timing précis de ces pics par rapport aux espaces silencieux qui les entourent et la quantité de contenu haute fréquence qu'ils contiennent sont essentiels pour qu'un auditeur puisse comprendre

quelle consonne a été prononcée. Par exemple, la consonne /s/ est générée en comprimant l'air à travers l'ouverture rétrécie entre la langue et le palais osseux, produisant ainsi un flux à forte turbulence qui provoque des vibrations à haute fréquence dans l'air. Comme on peut le voir dans le spectrogramme de la parole distincte (Figure 4, panneau supérieur gauche), /s/ a une puissance distribuée de 3 kHz à 10 kHz. Lorsqu'il n'y a pas assez de puissance dans la région des hautes fréquences, aux alentours de 10 kHz, la consonne /s/ ressemblera davantage à un /f/ et sera plus facilement confondue avec lui.

Voyons maintenant comment les différentes aides auditives préservent des détails aussi fins de la parole. À cette fin, nous avons obtenu des enregistrements KEMAR dans une configuration de haut-parleur avec une parole distincte reproduite frontalement à 0° et un bruit de fond sous forme de parole reproduit latéralement et depuis l'arrière à -112,5°, 112,5°, et 180°, la parole et le bruit étant tous deux à 75 dB SPL (0 dB de RSB). Le panneau supérieur droit de la Figure 4 montre

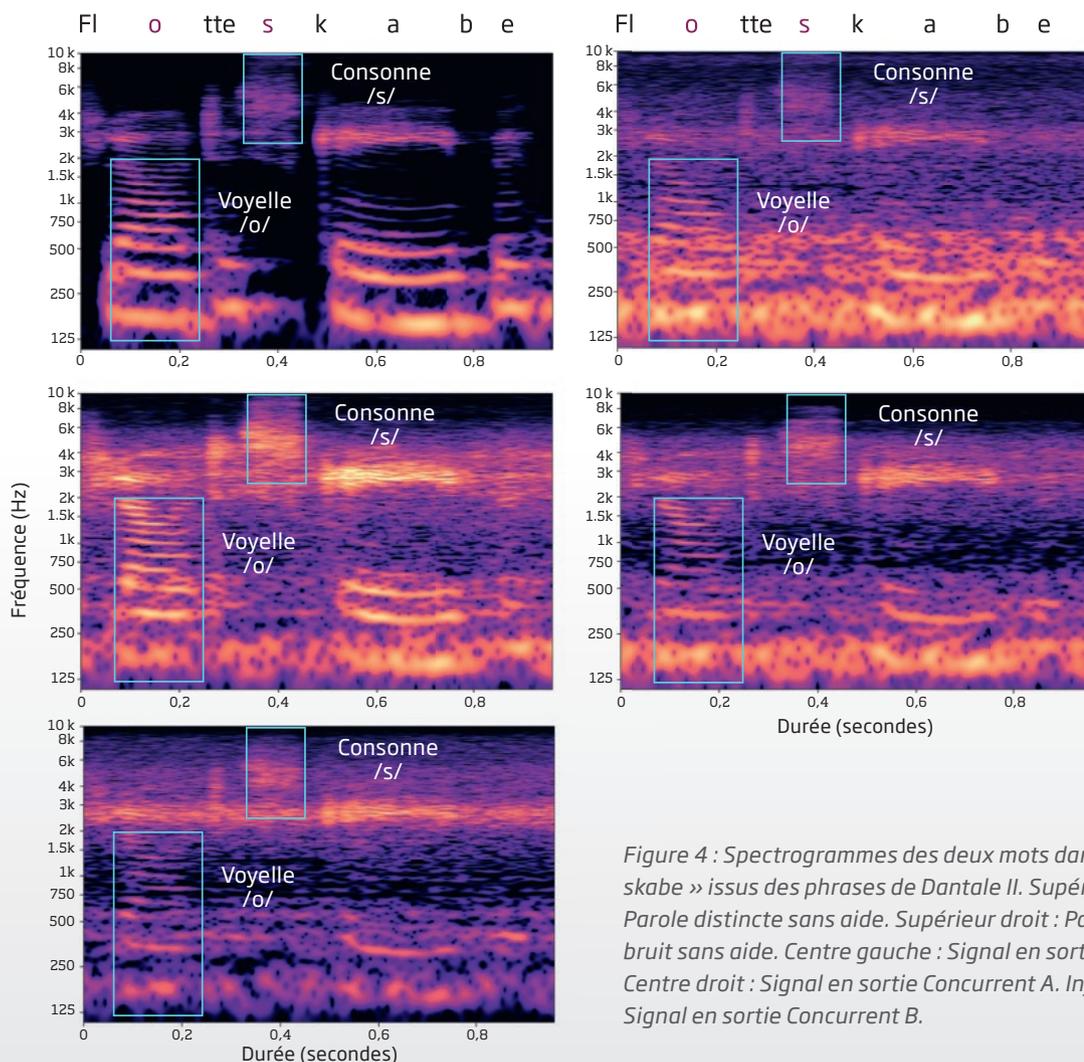


Figure 4 : Spectrogrammes des deux mots danois « flotte skabe » issus des phrases de Dantale II. Supérieur gauche : Parole distincte sans aide. Supérieur droit : Parole dans le bruit sans aide. Centre gauche : Signal en sortie Oticon More. Centre droit : Signal en sortie Concurrent A. Inférieur gauche : Signal en sortie Concurrent B.

le spectrogramme d'une telle parole dans le bruit lorsqu'elle n'est traitée par aucune aide auditive. Voyez comment les détails de la parole se fondent maintenant dans le bruit. Le rôle des aides auditives est de faire ressortir ces détails.

Nous avons ensuite équipé le KEMAR avec Oticon More et chacune des deux aides auditives concurrentes testées et nous avons obtenu des enregistrements dans ces conditions. Contrairement aux mesures de RSB précédentes, pour cette analyse, toutes les aides auditives ont été réglées sur les paramètres prescrits par défaut par les fabricants respectifs dans leur logiciel d'adaptation, sans aucun autre réglage des paramètres ou des fonctionnalités, le gain fourni étant basé sur une perte auditive modérée en pente (audiogramme standard N3, Bisgaard et al., 2010) en utilisant la méthodologie propre à chaque fabricant, reflétant ce que de nombreux utilisateurs ressentiraient par défaut dans une telle situation. Les trois panneaux inférieurs de la Figure 4 montrent les spectrogrammes de la parole dans le bruit à la sortie de chacune des aides auditives testées, obtenus une fois que les aides auditives étaient dans leur état stable (c'est-à-dire après avoir été dans la scène pendant plus de 45 secondes).

Par rapport au spectrogramme de la parole dans le bruit, toutes les aides auditives créent un certain contraste entre les zones d'énergie vocale et les zones dominées par le bruit de fond. Cependant, il existe des différences clairement perceptibles entre les spectrogrammes. Si nous nous concentrons d'abord sur la voyelle /o/ dans « flotte », regardez comment Oticon More applique une amplification précise pour faire ressortir la structure harmonique claire de la voyelle. Pour le concurrent A, la structure harmonique est visible mais ne ressort pas autant, tandis que pour le concurrent B, la structure harmonique elle-même semble moins claire et déformée. Le même schéma est observé pour la voyelle /a/ dans « skabe ». Si nous examinons maintenant la consonne /s/ dans « skabe », nous pouvons constater qu'Oticon More est le seul appareil qui transmet l'énergie sonore jusqu'à 10 kHz, créant ainsi un contraste plus important avec d'autres consonnes telles que /f/ ou /t/ que les deux concurrents. Le concurrent A ne procure généralement pas beaucoup de gain au-dessus de 6 kHz, avec le risque pour l'utilisateur de ne pas entendre le contenu haute fréquence des consonnes. Pour le concurrent B, cette énergie vocale à haute fréquence a tendance à se fondre dans le bruit.

Il est également visible qu'Oticon More fournit plus de puissance sonore en dehors des zones de parole, permettant à l'utilisateur d'accéder à une plus grande partie du bruit de fond global que les deux aides auditives concurrentes. Cependant, comme les détails fins de la

parole sont bien préservés et que le contraste entre la parole et le bruit de fond reste important, comme le montrent les résultats du RSB en sortie ci-dessus, le fait d'être conscient du bruit de fond ne se fait pas au détriment de la compréhension de la parole. En d'autres termes, vous pouvez entendre le bruit mais il n'est pas dérangeant. Une autre observation est la cohérence du contraste entre la parole et le bruit sur toute la gamme de fréquences avec Oticon More, alors que les stratégies des concurrents A et B semblent donner la priorité à la suppression du bruit dans la gamme de fréquences moyennes.

Pour finir, les stratégies d'amplification des concurrents A et B semblent donner clairement la priorité à des bandes de fréquences spécifiques, donnant aux spectrogrammes des schémas de luminosité plus « on/off » en fonction de la fréquence. Par exemple, les basses fréquences sont moins amplifiées par le concurrent B, contrairement à la zone de fréquences aux alentours de 3 kHz. Comme on peut le voir dans le spectrogramme de la parole distincte, la majeure partie de la puissance de la parole se situe dans la zone des basses fréquences. Alors que toutes les aides auditives fournissent un gain plus important vers les hautes fréquences pour compenser la perte auditive en pente, Oticon More préserve mieux cet équilibre de puissance entre les voyelles de basse fréquence et les consonnes de haute fréquence.

Dans l'ensemble, cette analyse du spectrogramme révèle qu'Oticon More donne à l'utilisateur un meilleur accès aux détails de la parole que les deux aides auditives concurrentes testées. Cela est dû en partie au traitement du RNP qui a appris comment équilibrer la parole et le bruit de fond dans une telle scène et à sa capacité à traiter le son sur plusieurs canaux de fréquence. De plus, l'amplification précise du MSA est essentielle pour préserver ces détails vocaux finement équilibrés sur toute la gamme de fréquences lorsque le gain est appliqué.

S'adapter rapidement aux nouvelles scènes sonores

Lorsqu'un utilisateur d'aides auditives pénètre dans un nouvel environnement, les aides auditives ont besoin d'un certain temps pour adapter leurs fonctionnalités automatiques à la nouvelle scène sonore avant de pouvoir offrir à l'utilisateur une expérience d'écoute stable. Au cours de la période d'adaptation dans une scène complexe, l'utilisateur de l'aide auditive peut ne pas recevoir immédiatement l'aide souhaitée en termes d'amélioration du RSB, ce qui a un impact sur la compréhension de la parole et l'effort d'écoute. La période d'adaptation d'une aide auditive peut varier considérablement selon les modèles et les fabricants. Afin de

visualiser le processus d'adaptation d'Oticon More et des deux aides auditives concurrentes testées, nous avons obtenu des spectrogrammes sur une période de temps plus longue. La Figure 5 montre les spectrogrammes des 27 premières secondes des enregistrements du signal en sortie obtenus avec les mêmes signaux de parole et de bruit que dans la partie précédente, avec Oticon More affiché en haut. Notez d'abord comment le spectrogramme d'Oticon More est beaucoup plus lumineux dans les zones correspondant à la structure détaillée de la parole. Comparez ensuite la luminosité des trois spectrogrammes dans la zone des moyennes fréquences et la façon dont elle change au fur et à mesure que le temps passe (plus clairement visible dans les régions des moyennes fréquences entre 750 Hz et 1,5 kHz). Pour les trois aides auditives, cette zone s'assombrit au fil du temps, ce qui indique une

atténuation progressive du bruit de fond à mesure que l'aide auditive s'adapte à la nouvelle scène sonore. Observons maintenant à quel moment le contraste entre la parole et le bruit s'est stabilisé, ce qui signifie que le reste du temps, le spectrogramme présente un schéma inchangé. Pour les aides auditives concurrentes, il faut jusqu'à plus de 20 secondes pour que le contraste entre la parole et le bruit devienne visuellement stable. En revanche, Oticon More atteint un état de fonctionnement stable dans les 6 premières secondes environ suivant sa présence dans cette scène sonore nouvellement rencontrée.

D'après l'analyse visuelle des spectrogrammes, Oticon More s'adapte nettement plus rapidement aux changements de scènes sonores que ses concurrents. Mais peut-on quantifier un tel effet dynamique et quelle

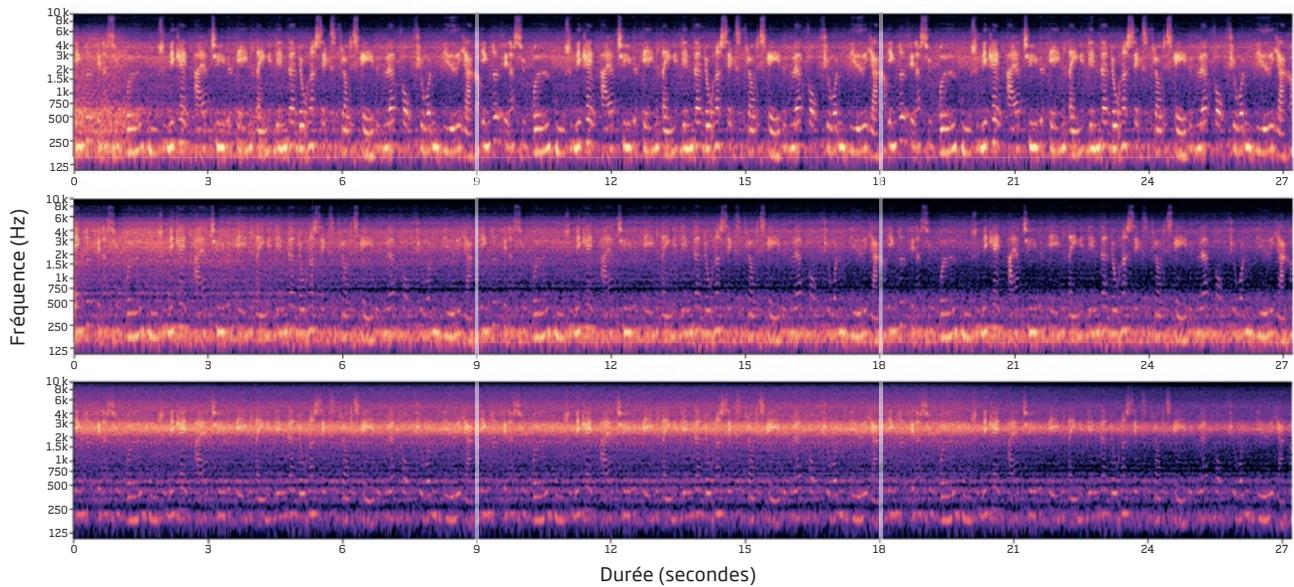


Figure 5 : Spectrogrammes générés à partir des 27 premières secondes des enregistrements du signal en sortie d'Oticon More (en haut), du concurrent A (au milieu) et du concurrent B (en bas).

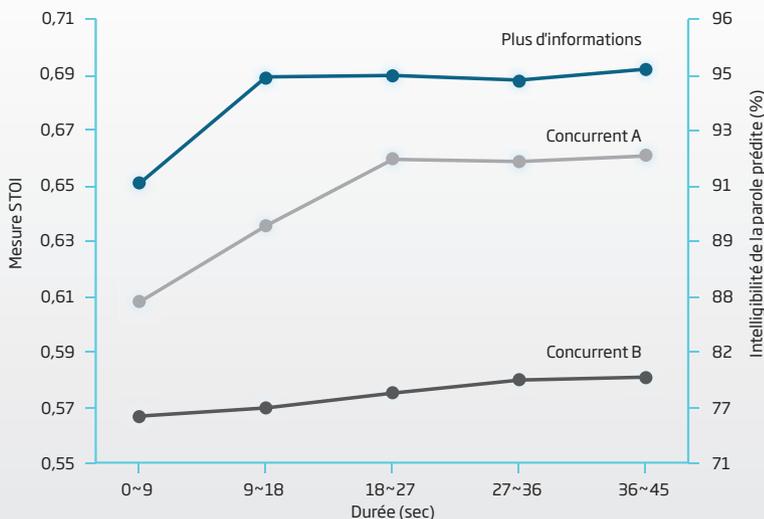


Figure 6 : Mesure STOI (axe des ordonnées de gauche) et intelligibilité de la parole prédite correspondante (axe des ordonnées de droite) en fonction de la durée par intervalles de 9 secondes. L'intelligibilité prédite est basée sur la fonction de mapping STOI pour des auditeurs à l'audition normale avec des phrases Dantale II dans un bruit sous forme de parole.

importance il a sur la compréhension de la parole ? L'un des moyens d'y parvenir est d'analyser les différents signaux en sortie des aides auditives à l'aide d'une mesure qui nous indique dans quelle proportion la parole originale a été préservée par le traitement des aides auditives. Une mesure bien établie et développée à cette fin est le STOI (Short-time Objective Intelligibility, Taal et al, 2011a), qui a souvent été utilisée en recherche comme mesure objective pour évaluer les performances techniques des aides auditives et ainsi prédire l'intelligibilité de la parole (par exemple, Sanchez Lopez et al, 2018). La mesure STOI est un nombre compris entre 0 et 1 dont il a été démontré qu'il présente une forte corrélation avec l'intelligibilité de la parole dans le bruit, aussi bien chez les sujets ayant une audition normale que chez ceux ayant une perte d'audition (Smeds et al., 2014 ; Taal et al., 2011b). En d'autres termes, plus la mesure STOI est élevée, plus l'utilisateur est capable de comprendre la parole.

La mesure STOI a été calculée par intervalles de 9 secondes pour chacun des enregistrements du signal de sortie correspondant aux spectrogrammes de la Figure 5. Les résultats sont présentés dans la Figure 6, avec la mesure STOI sur l'axe des ordonnées à gauche. L'axe des ordonnées de droite montre l'intelligibilité de la parole prédite correspondante à partir de la fonction de mapping STOI obtenue chez des auditeurs à l'audition normale avec le matériel vocal de Dantale II mélangé à un bruit sous forme de parole (Taal et al., 2011a). Notez que l'intelligibilité prédite doit donc être considérée comme une valeur indicative. Une mesure STOI plus élevée indique néanmoins toujours une meilleure intelligibilité de la parole pour les sujets atteints de perte auditive (Smeds et al., 2014). En plus du fait qu'Oticon More présente la mesure STOI la plus élevée parmi les trois aides auditives, la progression de la mesure STOI en fonction du temps confirme qu'Oticon More atteint son intelligibilité maximale plus tôt que les deux concurrents. En fait, la même analyse avec des intervalles de temps plus courts montre que la mesure STOI avec Oticon More atteint déjà un plateau après les 6 premières secondes environ, ce qui confirme ce que nous avons observé visuellement sur les spectrogrammes. Cela signifie que l'utilisateur n'a pas besoin d'attendre longtemps pour accéder à des informations claires sur la parole lorsqu'il entre dans une nouvelle scène sonore et qu'il risque moins de ne pas entendre les conversations lorsque l'environnement sonore change.

Conclusion

De nouvelles preuves techniques obtenues dans des scènes sonores réalistes montrent que la nouvelle perspective audiologique d'Oticon More surpasse à plusieurs niveaux les approches traditionnelles de directivité, de réduction du bruit et de compression de deux des aides auditives concurrentes haut de gamme les plus récentes :

- Oticon More fait en sorte que la parole se détache davantage du bruit de fond dans les scènes complexes réelles, aidant l'utilisateur à accéder à la parole environnante sans avoir besoin de faire directement face au locuteur ;
- Oticon More permet un meilleur accès aux détails de la parole en présence de bruit, préservant mieux les signaux de parole qui sont importants pour reconnaître les éléments de la parole, ce qui conduit à une meilleure intelligibilité de la parole ;
- Oticon More s'adapte plus rapidement à l'évolution des scènes sonores, de sorte que les utilisateurs atteignent plus rapidement un niveau élevé d'intelligibilité de la parole lorsque leur environnement change de manière dynamique.

Dans la deuxième partie de cette étude comparative, ces résultats techniques seront mis à l'épreuve en permettant aux utilisateurs d'aides auditives de comparer le son d'Oticon More à celui des deux mêmes aides auditives concurrentes.

Références

1. Avan, P., Giraudet, F., & Büki, B. (2015). Importance of Binaural Hearing. *Audiology and Neurotology*, 20(Suppl. 1), 3-6.
2. Bisgaard, N., et al. (2010). Standard Audiograms for the IEC 60118-15 Measurement Procedure. *Trends in Amplification*, 14(2), 113-120.
3. Brændgaard, M. (2020a). MoreSound Intelligence™. Oticon Tech Paper.
4. Brændgaard, M. (2020b). The Polaris platform. Oticon Tech Paper.
5. Bronkhorst, A. W., & Plomp, R. (1988). The effect of head-induced interaural time and level differences on speech intelligibility in noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 83(4), 1508-1516.
6. Farina, A. (2000). Simultaneous measurement of impulse response and distortion with a swept-sine technique.
7. Favrot, S., & Buchholz, J. M. (2012). Reproduction of nearby sound sources using higher-order ambisonics with practical loudspeaker arrays. *Acta Acustica United with Acustica*, 98(1), 48-60.
8. Lesica, N. A. (2018). Why do hearing aids fail to restore normal auditory perception? *Trends in neurosciences*, 41(4), 174-185.
9. Lesimple, C. (2019). How to measure the effect of Dynamic Amplification Control™ with output SNRs. Bernafon blog post: <https://www.bernafon.com/professionals/blog/2019/outputsnr>
10. Man K. L., B., & H. N. Ng, E. (2020). BrainHearing™ - The new perspective. Oticon Whitepaper.
11. Naylor, G., & Johannesson, R. B. (2009). Long-term signal-to-noise ratio at the input and output of amplitude-compression systems. *Journal of the American Academy of Audiology*, 20(3), 161-171.
12. Picou, E. M. (2020). MarkeTrak 10 (MT10) survey results demonstrate high satisfaction with and benefits from hearing aids. In *Seminars in hearing* (Vol. 41, No. 01, pp. 021-036). Thieme Medical Publishers.
13. Rana, B., & Buchholz, J. M. (2018). Effect of audibility on better-ear glimpsing as a function of frequency in normal-hearing and hearing-impaired listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 143(4), 2195-2206.
14. Sanchez-Lopez, R., Fereczkowski, M., Bianchi, F., Piechowiak, T., Hau, O., Pedersen, M. S., ... & Santurette, S. (2018). Technical evaluation of hearing-aid fitting parameters for different auditory profiles. *Euronoise 2018*, 381-388.
15. Santurette, S., & Behrens, T. (2020). The audiology of Oticon More. Oticon Whitepaper.
16. Santurette, S., Ng, E. H. N., Juul Jensen, J., & Man K. L., B. (2020). Oticon More clinical evidence. Oticon Whitepaper.
17. Schnupp, J., Nelken, I., & King, A. (2011). *Auditory neuroscience: Making sense of sound*. MIT press. Chapter 1.6: Voices.
18. Smeds, K., Leijon, A., Wolters, F., Hammarstedt, A., Båsjö, S., & Hertzman, S. (2014). Comparison of predictive measures of speech recognition after noise reduction processing. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 136(3), 1363-1374.
19. Taal, C. H., Hendriks, R. C., Heusdens, R., & Jensen, J. (2011a). An algorithm for intelligibility prediction of time-frequency weighted noisy speech. *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 19(7), 2125-2136.
20. Taal, C. H., Hendriks, R. C., Heusdens, R., and Jensen, J. (2011b). An evaluation of objective measures for intelligibility prediction of time-frequency weighted noisy speech. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 130(5), 3013-3027.
21. Wagener, K., Josvassen, J. L., & Ardenkjær, R. (2003) Design, optimization and evaluation of a Danish sentence test in noise: Diseño, optimización y evaluación de la prueba Danesa de frases en ruido, *International Journal of Audiology*, 42:1, 10-17.

