

L'audiologie d'Oticon More™

RÉSUMÉ

Ce livre blanc se penche sur les principes sous-jacents de l'audiologie d'Oticon More™. Inspirés par nos derniers enseignements BrainHearing™, ils nous indiquent que pour une audition optimale, le cerveau doit avoir accès à des scènes sonores intégrales et amplifiées avec des éléments équilibrés. Pour y parvenir, Oticon More utilise l'intelligence d'un réseau neuronal profond, entraîné avec des millions de scènes sonores réelles et directement intégré à la nouvelle plateforme Polaris™ de l'aide auditive. Il offre ainsi aux utilisateurs un accès à des scènes sonores claires au sein desquelles les sons significatifs sont équilibrés et se démarquent des bruits de fond. Cette approche fondamentalement nouvelle du traitement des sons est soutenue par une nouvelle stratégie d'amplification haute résolution rapide qui permet aux détails sonores importants d'être délivrés au cerveau. Ces innovations en termes de technologie auditive diffèrent des approches traditionnelles de réduction du bruit et de compression et surmontent leurs limites, en permettant au cerveau d'accéder à la scène sonore intégrale. Les utilisateurs peuvent donc mieux se concentrer sur ce qui est important pour eux sans renoncer aux sons porteurs de sens qui les entourent, comme démontré dans les recherches cliniques avec Oticon More.

02	Introduction
03	L'approche Oticon More
04	MoreSound Intelligence
06	MoreSound Amplifier
06	MoreSound Optimizer
06	Conclusion
07	Références

AUTEURS

Sébastien Santurette et Thomas Behrens

Centre de recherche en audiologie appliquée, Oticon A/S

Pour le cerveau, plus c'est mieux

Vous êtes en pleine conversation passionnante avec un groupe d'amis ? Vous voulez pouvoir suivre ce que chacun d'entre eux dit et rediriger facilement votre attention au fil du temps. Il y a-t-il un ventilateur bruyant ou un bruit de circulation en fond ? Vous ne voulez pas être dérangé par ces sons secondaires mais vous voulez quand même savoir qu'ils sont là. Il y a-t-il un groupe qui joue de la musique ? Y a-t-il des personnes qui applaudissent ? Vous souhaitez profiter de l'ambiance du lieu tout en suivant quand même ce que disent vos amis. Vous préférez les balades tranquilles en forêt ? Vous souhaitez peut-être pouvoir entendre le chant des oiseaux et le bruissement des feuilles. Il ne s'agit là que de quelques exemples. Dans la plupart des situations d'écoute quotidiennes, nous voulons pouvoir nous concentrer facilement sur certains sons spécifiques mais également rester conscients de ce qui se passe autour de nous et rediriger notre attention si besoin. Que faut-il faire pour y parvenir ?

Pour interpréter les sons, nous combinons constamment nos capacités sensorielles, cognitives et sociales (Pichora-Fuller et al., 2017 ; Meyer et al., 2016 - voir Figure 1). Grâce à cet équilibre précis de compétences,

les êtres humains sont équipés pour parvenir à gérer la cacophonie complexe des sons de la vie. Pour que cela fonctionne, l'intégralité de la scène sonore doit d'abord être correctement transmise par l'oreille et convertie en un code neural précis qui traverse le nerf auditif avant d'atteindre le tronc cérébral et le centre de l'audition du cerveau (Man & Ng, 2020; Lesica, 2018). Ce sont nos compétences auditives sensorielles. À partir de là, dans le cortex auditif, le cerveau doit être capable de s'orienter parmi les éléments de la scène sonore entrante (O'Sullivan et al., 2019 ; Puvvada & Simon, 2017). Par le biais de l'interaction avec d'autres régions cérébrales spécialisées, il doit également pouvoir se concentrer sur les sons importants à chaque instant pour nous permettre de comprendre et de nous souvenir de ce qui est important pour nous (Man & Ng, 2020 ; Shinn-Cunningham et al., 2017). Cela définit nos compétences auditives cognitives. Après avoir interprété tous les sons intéressants par rapport au contexte de la scène sonore intégrale, nous pouvons alors décider et agir, écouter et parler, prêter attention et réagir à ce qui se passe autour de nous, évoluer dans notre environnement et communiquer avec les autres (Pichora-Fuller, 2016 ; Borg et al., 2008). Cela constitue nos compétences auditives sociales.

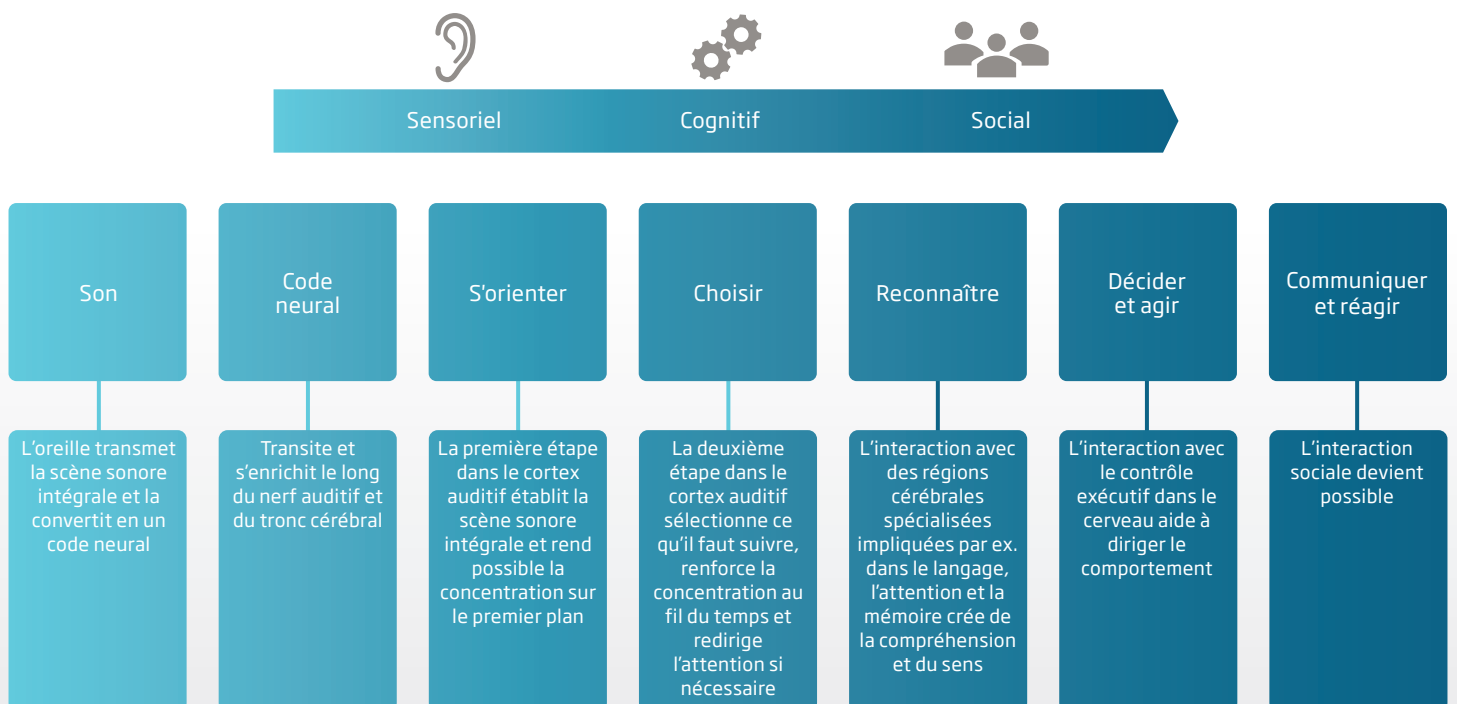


Figure 1 : L'audition est un processus biopsychologique qui implique la perception sensorielle, la cognition et le comportement.

Il existe aujourd'hui de nombreuses preuves scientifiques qui démontrent que la perte auditive n'affecte pas uniquement la partie sensorielle du système auditif (Moore, 2007) mais qu'elle a également d'importantes conséquences sur nos capacités cognitives et sociales, y compris au-delà de l'audition (par ex., Livingston et al., 2020 ; Edwards, 2016 ; Campbell & Sharma, 2014 ; Rönnberg et al., 2013 ; Strawbridge et al., 2000 ; pour une revue, voir Man & Ng, 2020). La perte auditive peut survenir dans différentes parties de la voie auditive complexe qui relie les oreilles au cerveau. Or, quel que soit l'endroit où ces changements se produisent au départ, ils donnent généralement lieu à un code neural de moins bonne qualité envoyé au cerveau (Lesica, 2018) : Le cerveau reçoit moins d'informations et ces informations sont moins précises. Les personnes souffrant d'une perte auditive ont donc plus de difficultés à utiliser correctement leurs compétences cognitives et sociales. Fournir plus d'informations au cerveau de façon plus précise est donc essentiel pour offrir aux personnes souffrant d'une perte auditive une stimulation auditive optimale et les aider à atteindre les meilleurs résultats cognitifs et sociaux possibles. Ce point clé est l'élément principal sur lequel se base la conception audiologique d'Oticon More™. Il délivre un tout nouveau niveau de technologie de soins auditifs basé sur les dernières connaissances BrainHearing™ (Man & Ng, 2020).

Offrir au cerveau l'accès à plus de sons avec la technologie des aides auditives

La technologie des aides auditives est depuis longtemps conçue autour de quatre hypothèses principales : 1) La source sonore la plus pertinente pour les personnes souffrant d'une perte auditive est toujours la parole provenant de devant ; 2) Les sons non vocaux exacerbent les difficultés de communication et sont toujours indésirables ; 3) Les personnes souffrant d'une perte auditive ont accès à une gamme réduite de niveaux sonores, l'amplification doit donc assurer l'audibilité, tout en préservant le confort ; et 4) L'amplification sans occurrence de Larsen doit être assurée. En général, les solutions conventionnelles traitent ces points en appliquant quatre types d'algorithmes de traitement du signal ; 1) La directivité qui offre un accès prioritaire à la parole frontale ; 2) La réduction du bruit, qui atténue tous les sons non vocaux ; 3) La compression de la plage dynamique, qui rend les sons faibles audibles et les sons forts confortables ; et 4) La gestion du Larsen qui contre

le Larsen audible même si cela implique de sacrifier l'intégralité des niveaux de gain prescrits dans les situations dynamiques. Les versions avancées de ces algorithmes sont devenues très efficaces mais l'objectif auxquelles elles répondent et les hypothèses sur lesquelles elles se basent ne sont pas toujours conformes avec ce que les dernières données scientifiques nous indiquent au sujet de la façon dont le cerveau interprète les sons. Elles peuvent donc limiter les personnes souffrant d'une perte auditive.

Le cerveau est naturellement programmé pour représenter la scène sonore intégrale et s'orienter à travers elle en permanence, afin de pouvoir travailler sur les différents éléments de celle-ci (Man & Ng, 2020). L'association de la directivité conventionnelle, la réduction du bruit, la compression et les systèmes anti-Larsen peuvent limiter la scène sonore de différentes façons : en limitant l'accès à tous les sons provenant des côtés et de l'arrière de l'utilisateur (directivité), en limitant l'accès à tous les sons qui ne sont pas perçus comme de la parole par l'aide auditive (réduction du bruit), en limitant l'accès aux détails sonores importants qui comptent pour le cerveau (compression), et en limitant l'accès au gain optimal dans les situations dynamiques (gestion du Larsen). Afin de donner au cerveau l'accès à tous les sons qui véhiculent des informations, la technologie des aides auditives doit, dans l'idéal, s'ouvrir à tous les sons significatifs, et pas uniquement aux sons de la parole. Cela vise à créer un contraste clair et naturel entre les éléments importants de la scène et les bruits de fonds, et à amplifier tous les éléments de la scène sonore de façon précise et avec suffisamment de détails. Ce n'est qu'à ce moment-là que l'attention pourra fonctionner de façon naturelle sur tous les éléments clairs disponibles (Man & Ng, 2020).

Le paradigme OpenSound des aides auditives Oticon fonctionnant sur les plateformes Velox et Velox S a constitué une étape importante pour l'ouverture à la parole tout autour de l'utilisateur, et pas uniquement provenant de devant (Le Goff et al., 2016a), avec de nombreux avantages audiologiques par rapport à la directivité traditionnelle (Juul Jensen, 2018 ; Le Goff et al., 2016b). En outre, l'approche unique récemment introduite par Oticon pour prévenir le Larsen a permis aux utilisateurs d'avoir accès à un gain optimal même dans les situations dynamiques (Løve, 2019).

¹⁾ Les changements peuvent se produire à différents niveaux, par ex. dans la capacité de conduction de l'oreille moyenne, la fonction sensorielle des cellules ciliées de la cochlée, les propriétés mécaniques des structures entourant les cellules ciliées, les connexions entre l'oreille interne et le nerf auditif, le fonctionnement du nerf auditif en lui-même ou les structures neuronales auditives plus centrales du tronc cérébral et du cortex.

Avec Oticon More, basé sur la nouvelle plateforme puissante Polaris™, nous pouvons désormais défier encore plus les conventions en utilisant la nouvelle technologie BrainHearing™ conçue pour donner accès à des scènes sonores intégrales plus faciles à décoder pour le cerveau afin qu'il puisse mieux s'orienter, choisir, se concentrer et interpréter ce qui se passe. Ci-dessous, nous illustrons la façon dont les principales innovations audiologiques d'Oticon More, MoreSound Intelligence™ et MoreSound Amplifier™, marquent une rupture avec les approches traditionnelles de réduction du bruit et de compression pour obtenir de tels résultats. Ces innovations sont soutenues par des mises à niveau d'OpenSound Optimizer dans Oticon Opn S qui fondent MoreSound Optimizer dans Oticon More.

MoreSound Intelligence™ - Un clarificateur de scène sonore inspiré par le cerveau

Lorsqu'on souffre d'une perte auditive, les sons ne sont pas seulement moins audibles mais ils ont également tendance à se mélanger. Cela explique pourquoi les personnes souffrant d'une perte auditive perçoivent souvent les scènes sonores comme « brouillées » ou « floues » et ont du mal à se concentrer sur des sons spécifiques. Cette difficulté à séparer les sons rend

également le système auditif moins performant face aux bruits et aux sons gênants que la personne souhaiterait maintenir en arrière-plan. Afin d'offrir aux personnes souffrant d'une perte auditive un accès à des scènes sonores claires et intégrales dans des environnements d'écoute réels, la nouvelle fonction MoreSound Intelligence (MSI) permet aux sons principaux de se démarquer des bruits de fond tout en préservant l'accès à toutes les sources sonores et dans toutes les directions. Cela permet au cerveau de séparer plus facilement les sons et de se concentrer sur ce qui est pertinent (Santurette et al., 2020).

Tout d'abord, MSI analyse la scène sonore intégrale pour détecter la complexité de l'environnement d'écoute et compare constamment cette complexité aux besoins d'écoute individuels de l'utilisateur spécifiés dans le logiciel d'adaptation Genie 2. MSI rend alors les sons porteurs de sens plus distincts en se basant sur la facilité ou la difficulté de l'environnement actuel pour l'utilisateur, tout en s'adaptant parfaitement aux changements de complexité de l'environnement au fil du temps. Deux étapes de traitement sont appliquées pour améliorer la clarté de la scène sonore : le Spatial Enhancer et le Neural Clarity.

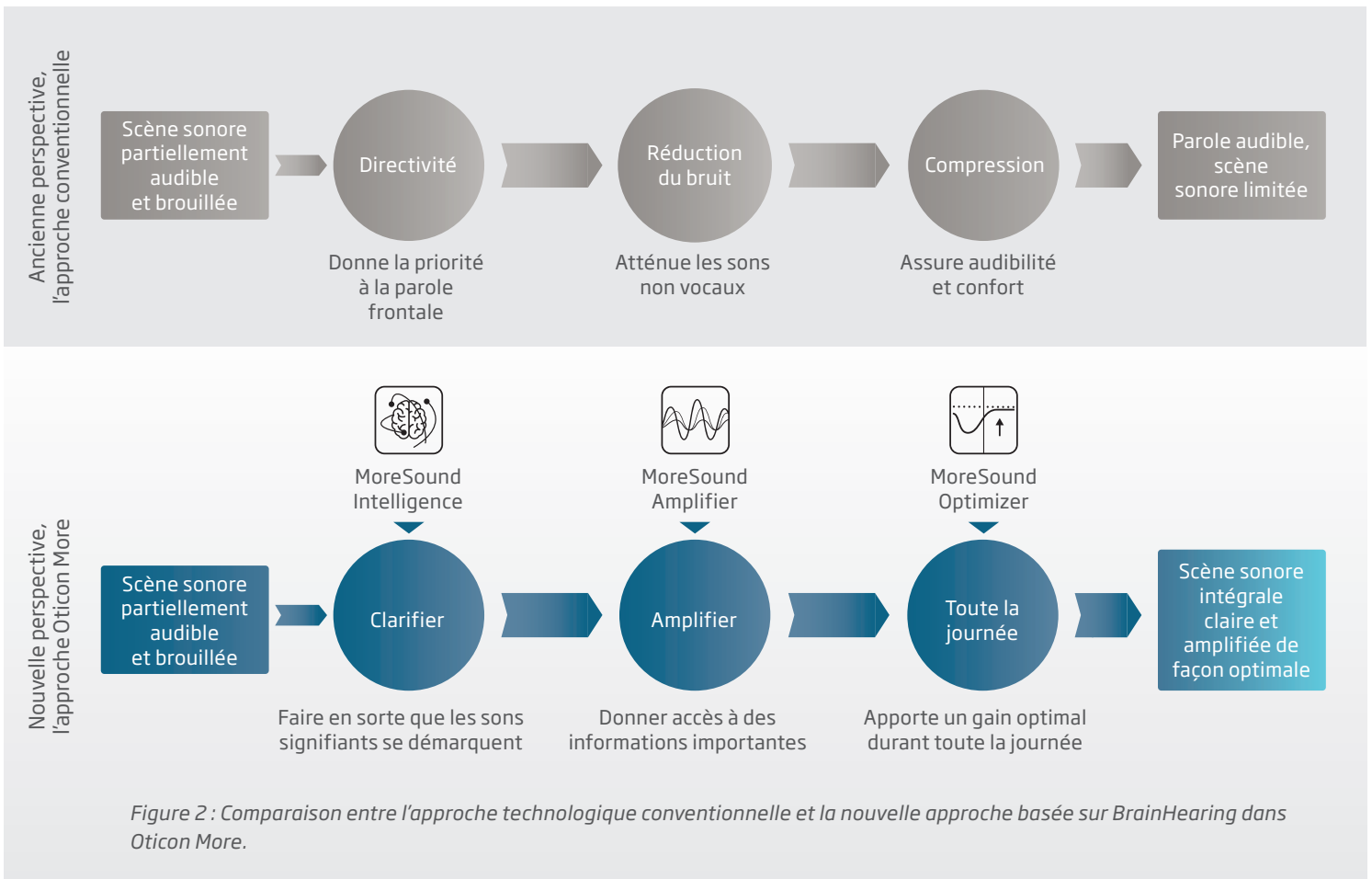


Figure 2 : Comparaison entre l'approche technologique conventionnelle et la nouvelle approche basée sur BrainHearing dans Oticon More.

Dans les environnements relativement faciles, le Spatial Enhancer de MSI utilise 3 modèles de pavillon d'oreille qui simulent mieux le filtrage du véritable pavillon de l'oreille humaine, pour veiller à ce que la scène sonore captée par les deux microphones de l'aide auditive soit reproduite avec des informations spatiales précises et naturelles. Dans les environnements plus difficiles, le Spatial Enhancer permet aux sons porteurs de sens de rester accessibles et équilibrés face aux sons dominants qui entourent l'utilisateur, avec une précision qui dépasse celle atteinte par OpenSound Navigator d'Oticon.

Une fois les sons bien équilibrés dans l'espace, le Neural Clarity Processing de MSI intervient. Contrairement aux algorithmes de réduction du bruit traditionnels, ajustés manuellement pour préserver la parole et atténuer le bruit en se basant sur des hypothèses mathématiques, le Neural Clarity Processing utilise les connaissances acquises par un réseau neuronal profond (RNP) entraîné avec 12 millions de scènes sonores réelles (Brændgaard, 2020a), d'une manière qui s'inspire du fonctionnement cérébral humain. La scène sonore intégrale est traitée selon ce que le RNP a appris au sujet de ce qui doit être au premier plan (les sons qui véhiculent du sens et qui peuvent retenir

l'attention de l'utilisateur, comme la parole, la musique et les sons ambiants importants) et en arrière-plan (les sons qui véhiculent moins de sens et sur lesquels il est moins pertinent de se concentrer, comme le brouhaha ou le bruit). Le RNP a appris à distinguer les éléments des scènes sonores réelles qui véhiculent le plus d'informations de ceux qui n'en véhiculent pas et il sait comment ces éléments interagissent entre eux de façon naturelle. Il en résulte donc un contraste détaillé et nuancé entre les sons porteurs de sens et les bruits de fond, par rapport à la réduction de bruit traditionnelle, comme illustré sur la Figure 3.

Sur la Figure 3, on note que la Suppression neuronale du bruit (D) est plus précise en termes de détection de la parole et que l'amélioration du contraste présente une apparence plus naturelle qu'avec le système de réduction du bruit d'Oticon Opn S (C). Cela témoigne des acquis relatifs à l'apprentissage avec des sons réels. Le Sound Enhancer vient soutenir ce processus. Il veille à ce que les zones détectées comme étant au premier plan par MSI bénéficient d'un gain dynamiquement préservé (zones blanches) ou renforcé (zones bleues). Pour plus de détails techniques sur MSI, voir Brændgaard (2020a).

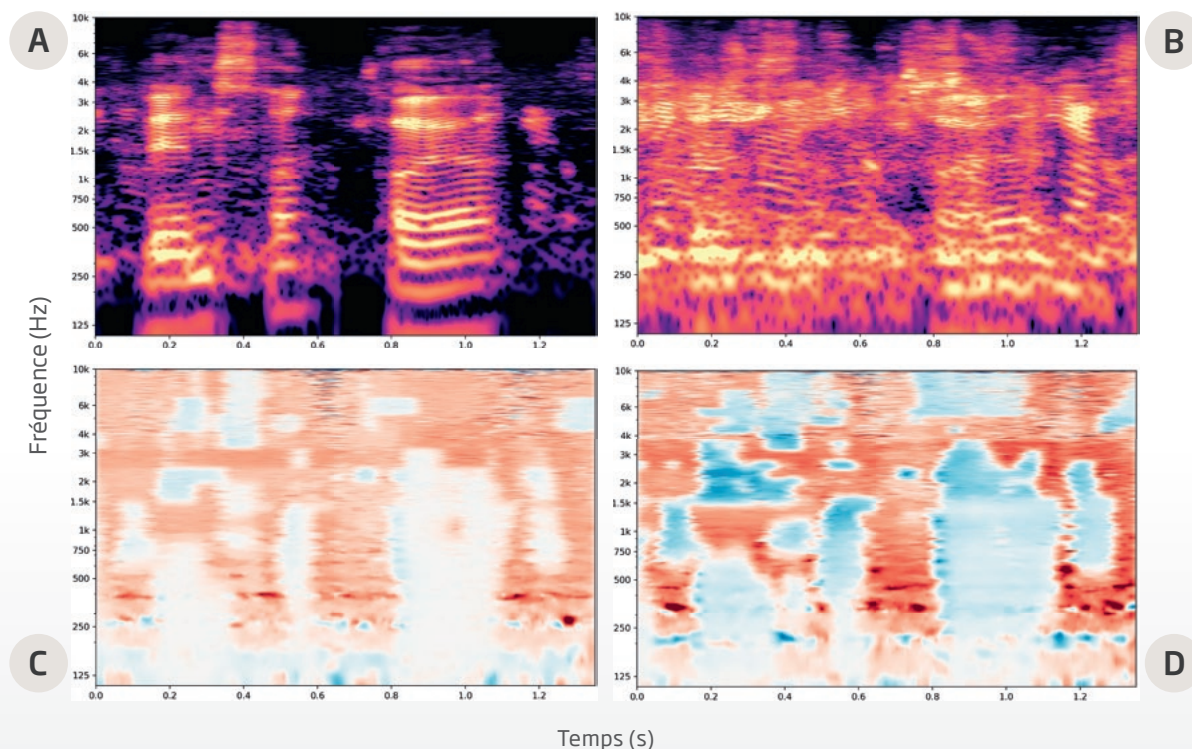


Figure 3 : (A) présente le spectrogramme d'un signal de parole distinct - le mot danois pour « gauche » (« venstre »), suivi du mot danois pour « droite » (« højre »). (B) présente le spectrogramme du même signal de parole dans le brouhaha. (C) et (D) présentent les zones de cette scène sonore qui sont atténuées (zones rouges), préservées (zones blanches) et renforcées (zones bleues) par la réduction du bruit traditionnelle (telle qu'exécutée dans Oticon Opn S avec un algorithme rapide de réduction du bruit, (C)) et par les nouvelles approches basées sur le RNP d'Oticon More conduit à un contraste accru entre les zones de la scène sonore contenant des informations significatives - dans ce cas, la parole - par rapport aux bruits de fond, comparé à la réduction du bruit exécutée dans OpenSound Navigator d'Oticon Opn S. Avec l'action du RNP, ce contraste devient plus progressif et nuancé, avec plus d'informations de parole (zones blanches et bleues) fournies à l'utilisateur, surtout dans les hautes fréquences en raison de la résolution de fréquence accrue de la plateforme Polaris par rapport à Velox S.

MoreSound Amplifier - Un système d'amplification haute résolution flexible

Une fois la scène sonore correctement équilibrée par MSI avec les sons de premier plan suffisamment distincts des bruits de fond pour répondre aux besoins de l'utilisateur, cette scène sonore équilibrée doit être amplifiée de façon à préserver cet équilibre précis entre les sons mais aussi à véhiculer leurs détails importants. Ce point est particulièrement crucial puisque nous savons que la perte auditive rend plus difficile l'accès du cerveau aux détails des sons, même lorsqu'ils sont rendus audibles. En utilisant une analogie visuelle, nous pouvons considérer la scène sonore fournie par MSI comme une petite photo que nous devons agrandir pour en faire une grande photo, mais sans compromettre sa clarté. Comment pouvons-nous y parvenir ?

Pour permettre au cerveau d'accéder aux détails importants de la scène sonore à tout moment, le nouveau MoreSound Amplifier (MSA) d'Oticon More s'adapte non seulement en termes de vitesse mais également en termes de résolution, selon les caractéristiques de la scène sonore et la façon dont elle change au fil du temps. Au cours de la dernière décennie, les systèmes traditionnels de compression des aides auditives ont évolué vers l'utilisation de constantes de temps adaptatives, en commençant par la technologie Speech Guard d'Oticon. Ces systèmes présentent l'avantage d'ajuster l'amplification selon la rapidité ou la lenteur des changements de niveaux sonores au fil du temps. Ils permettent de garantir l'audibilité de la parole et d'éviter la gêne produite par les sons forts. Cependant, ils fonctionnent généralement sur une résolution de fréquence fixe (c'est-à-dire avec un nombre fixe de canaux) qui est souvent maintenue à un niveau faible pour éviter la distorsion audible du son lorsqu'il est comprimé. Pour en revenir à notre analogie visuelle, il est facile d'imaginer que l'agrandissement d'une petite photo avec une faible résolution conduira inévitablement à une grande photo pixellisée qui aura perdu en clarté et en détails. En outre, ces détails ne pourront pas être récupérés une fois la photo agrandie.

C'est pourquoi, grâce à la résolution accrue de la plateforme Polaris, MSA peut fonctionner avec une résolution six fois supérieure à celle de Speech Guard, tout en s'adaptant à la vitesse avec une grande précision. Lorsque la scène sonore change rapidement, nous devons nous assurer de véhiculer précisément ces changements afin que les sons forts soient confortables et que les sons faibles soient audibles. Dans ces cas, MSA donne la priorité à la précision dans le temps plutôt qu'à la résolution à haute fréquence. À l'inverse, lorsque la scène sonore change lentement, nous devons nous assurer de ne pas perdre des détails de la scène pendant que nous l'amplifions. Ainsi, dès que la scène sonore est plus stable, le système commence à utiliser une résolution de fréquence plus élevée pour rendre tous les détails sonores pertinents audibles. Cette résolution plus élevée permet

aux sons individuels avec un contenu fréquentiel différent d'être mieux séparés, et ainsi amplifiés plus précisément et de façon équilibrée par le système.

Assurer un meilleur accès au gain optimal

Le risque de Larsen et les adaptations ouvertes constituent depuis longtemps les deux principales causes de l'accès limité à un gain adéquat pour l'utilisateur. Cependant, s'assurer qu'un gain optimal est fourni dans toutes les situations, même dans les adaptations ouvertes, est essentiel pour bénéficier des avantages audiolinguistiques complets d'un son clarifié et amplifié via MSI et MSA. Dans Oticon More, MoreSound Optimizer, une mise à niveau d'OpenSound Optimizer d'Oticon pour la plateforme Polaris, prévient et détecte le Larsen avant qu'il ne se produise, permettant ainsi un meilleur accès à un gain optimal, y compris dans les situations dynamiques. De plus, les adaptations ouvertes avec Oticon More peuvent désormais bénéficier du nouveau dôme Open Bass qui offre un meilleur accès au gain dans les fréquences vocales qu'un dôme ouvert. Lorsque vous diffusez vos musiques ou vos podcasts préférés, il vous permet également d'accéder à davantage de gain à basse fréquence sans compromettre le confort d'une adaptation ouverte. Enfin, Oticon More peut être réglé précisément dans 24 bandes d'adaptation, ce qui offre encore plus de flexibilité aux audioprothésistes pour fournir un gain précis aux utilisateurs.

Oticon More - Une nouvelle perspective des soins auditifs

Les innovations MSI et MSA d'Oticon More sont conçues pour fournir au cerveau un meilleur accès à des informations plus pertinentes et précises. Elles marquent une rupture avec les approches traditionnelles de réduction du bruit et de compression des aides auditives. Grâce aux apprentissages d'un RNP intégré sur la nouvelle plateforme Polaris d'Oticon, MSI clarifie d'abord la scène sonore intégrale en permettant aux sons importants de se démarquer des bruits de fond et donne accès à toutes les sources sonores présentant des informations distinctes. MSA rend alors tous les sons audibles, qu'il s'agisse d'environnements simples ou complexes, en offrant un accès précis aux dynamiques et aux détails sonores grâce à sa vitesse et à sa résolution flexibles. Ces deux fonctions s'adaptent au fil du temps, captent la complexité de la scène sonore pendant son déroulement, et veillent à ce que les éléments de la scène soient délivrés avec précision et équilibre à l'utilisateur. Elles sont conçues dans le but de véhiculer les informations les plus importantes pour permettre au cerveau de créer des scènes sonores complètes et précises. Ainsi, Oticon More fournit au cerveau un meilleur accès à la scène sonore intégrale en cours et aux éléments du premier plan, ce qui permet aux utilisateurs de mieux se concentrer, comprendre et se souvenir des sons intéressants, comme démontré dans les recherches cliniques (Santurette et al., 2020).

Références

1. Borg, E., Bergkvist, C., Olsson, I. S., Wikström, C., & Borg, B. (2008). Communication as an ecological system. *International Journal of Audiology*, 47(sup2), S131-S138.
2. Brændgaard, M. (2020a). MoreSound Intelligence™. Document technique Oticon.
3. Brændgaard, M. (2020b). The Polaris platform. Document technique Oticon.
4. Campbell, J., & Sharma, A. (2014). Cross-modal re-organization in adults with early stage hearing loss. *PloS one*, 9(2), e90594.
5. Edwards, B. (2016). A model of auditory-cognitive processing and relevance to clinical applicability. *Ear and hearing*, 37, 85S-91S.
6. Juul Jensen, J. (2018). Closing a gap to normal hearing. Livre blanc Oticon.
7. Le Goff, N., Jensen, J., Pedersen, M. S., & Løve C., S. (2016a). An introduction to OpenSound Navigator™. Livre blanc Oticon.
8. Le Goff, N., Wendt, D., Lunner, T., & Ng, E. (2016b). Opn clinical evidence. Livre blanc Oticon.
9. Lesica, N. A. (2018). Why do hearing aids fail to restore normal auditory perception? *Trends in neurosciences*, 41(4), 174-185.
10. Livingston, G., Huntley, J., Sommerlad, A., Ames, D., Ballard, C., Banerjee, S., ... & Costafreda, S. G. (2020). Dementia prevention, intervention, and care: 2020 report of the Lancet Commission. *The Lancet*.
11. Løve, S. (2019). Introduction to OpenSound Optimizer™. Livre blanc Oticon.
12. Man K. L., B., & H. N. Ng, E. (2020). BrainHearing™ - The new perspective. Livre blanc Oticon.
13. Meyer, C., Grenness, C., Scarinci, N., & Hickson, L. (2016). What is the international classification of functioning, disability and health and why is it relevant to audiology? In *Seminars in Hearing* (Vol. 37, No. 03, pp. 163-186). Thieme Medical Publishers.
14. Moore, B. C. J. (2007). *Cochlear hearing loss: physiological, psychological and technical issues*. John Wiley & Sons.
15. O'Sullivan, J., Herrero, J., Smith, E., Schevon, C., McKhann, G. M., Sheth, S. A., ... & Mesgarani, N. (2019). Hierarchical Encoding of Attended Auditory Objects in Multi-talker Speech Perception. *Neuron*, 104(6), 1195-1209.
16. Pichora-Fuller, M. K., Alain, C., & Schneider, B. A. (2017). Older adults at the cocktail party. In *The auditory system at the cocktail party* (pp. 227-259). Springer, Cham.
17. Puvvada, K. C., & Simon, J. Z. (2017). Cortical representations of speech in a multitalker auditory scene. *Journal of Neuroscience*, 37(38), 9189-9196.
18. Rönnberg, J., Lunner, T., Zekveld, A., Sörqvist, P., Danielsson, H., Lyxell, B., ... & Rudner, M. (2013). The Ease of Language Understanding (ELU) model: theoretical, empirical, and clinical advances. *Frontiers in systems neuroscience*, 7, 31.
19. Santurette, S., Ng, E. H. N., Juul Jensen, J., Micula, A. & Man K. L., B. (2020). Oticon More clinical evidence. Livre blanc Oticon.
20. Shinn-Cunningham, B., Best, V., & Lee, A. K. (2017). Auditory object formation and selection. In *The auditory system at the cocktail party* (pp. 7-40). Springer, Cham.
21. Strawbridge, W. J., Wallhagen, M. I., Shema, S. J., & Kaplan, G. A. (2000). Negative consequences of hearing impairment in old age: a longitudinal analysis. *The Gerontologist*, 40(3), 320-326.

