

BrainHearing™

La nouvelle perspective

RÉSUMÉ

Chez Oticon, BrainHearing est notre guide en termes de recherche et de développement technologique. Il s'agit de notre philosophie qui consiste à aider le cerveau à interpréter les sons en comprenant comment il fonctionne. Dans ce livre blanc, nous évoquons les nouvelles découvertes scientifiques concernant la façon dont le cerveau traite les sons. De récentes preuves suggèrent qu'il existe deux sous-systèmes dans le cortex auditif. Lors du premier stade du traitement sonore, désigné en tant que sous-système d'orientation, l'intégralité de la scène auditive est représentée dans le cerveau. Lors de l'étape ultérieure, désignée en tant que sous-système de concentration, le cerveau traite et amplifie sélectivement le son sur lequel il se concentre. Il se connecte ensuite à d'autres régions cérébrales responsables de différentes fonctions et processus cognitifs. Cela suggère que le cerveau a besoin de l'intégralité de la scène sonore pour un traitement naturel. La nouvelle perspective de BrainHearing permet de mieux comprendre la façon dont la perte auditive doit être traitée et nous fournit des renseignements précieux pour définir la prochaine étape des soins auditifs.

RÉDACTEURS DE CETTE PUBLICATION

Brian Man Kai Loong, MSc

Audiologiste en recherche clinique, Centre pour la recherche appliquée en audiologie, Oticon A/S

Elaine Hoi Ning Ng, PhD, MSc

Chercheuse principale en audiologie, Centre pour la recherche appliquée en audiologie, Oticon A/S

Introduction

Nos cerveaux comprennent le monde autour de nous par le biais de nos cinq sens. Nous nous reposons fortement sur notre audition dans la vie quotidienne pour communiquer. Souffrir d'une perte auditive ne signifie pas uniquement qu'entendre devient difficile, mais le cerveau a également besoin de travailler plus pour comprendre les sons. Notre vision BrainHearing consiste à fournir des technologies qui soutiennent de façon optimale le traitement naturel des sons dans le cerveau, afin qu'il dispose des meilleures conditions possibles pour fonctionner et interpréter les sons. De nouvelles découvertes scientifiques ont révélé de plus amples connaissances sur la façon dont le cerveau traite les sons et ceci sert de fondement à notre nouvelle perspective BrainHearing.

Le cerveau - notre processeur naturel de sons

La capacité exceptionnelle de notre cerveau à interpréter notre environnement déroute les scientifiques depuis très longtemps. Par exemple, imaginez un scénario dans lequel vous vous tenez debout parmi la foule, vous êtes en train d'apprécier la performance énergique de musiciens de rue. Vous remarquez les notes suaves du violoncelle ainsi que les accords exaltants et dynamiques du saxophone, ou même l'aboïement gênant du chien (Figure 1).

Vous appréciez la musique, tout en laissant occasionnellement votre attention s'attarder sur un instrument spécifique et vous passez de l'un à l'autre à votre guise. Pourquoi le cerveau peut-il se concentrer sur l'instrument de son choix, tout en ignorant simultanément l'aboïement ? L'hypothèse intuitive consisterait à penser à un effet de type « projecteur ». En fait, cette hypothèse a pendant longtemps constitué un consensus.



Figure 1. Écouter de la musique dans un environnement très dynamique

Cependant, elle ne parvenait pas à expliquer pourquoi les utilisateurs d'aides auditives rencontraient encore des difficultés malgré l'utilisation de microphones directionnels. Si nous éliminons tout sauf la source sonore pertinente, la personne pourra forcément entendre facilement ce qu'elle souhaite ?

La réponse n'est pas aussi simple, puisque cette hypothèse ignore un acteur incontournable - nos cerveaux.

Le parcours du son depuis l'oreille jusqu'au cerveau

En réalité, le cerveau peut agir comme son propre processeur de sons. Afin de fonctionner de façon optimale, le cerveau a besoin de toutes les informations pertinentes nécessaires pour atteindre son but final qui correspond à la production d'une réponse adaptée au contexte dans lequel il se trouve. Pour mieux comprendre la façon dont nous filtrons et prêtons une attention sélective à certains sons, nous devons nous pencher plus précisément sur les processus individuels qui se déroulent dans le cerveau. En général, le paysage sonore complet entre d'abord dans l'oreille, puis il est converti en énergie électrochimique à l'intérieur des nerfs cochléaires. Cette énergie électrochimique forme le **code neural** et elle est ensuite transmise au cerveau par les nerfs auditifs, le tronc cérébral et enfin le cortex.

Il est important de noter que malgré la puissance de traitement de nos cerveaux, il s'agit d'une ressource limitée (Rönnberg et al., 2013). La plupart du temps, le cerveau ne peut pas scruter exhaustivement chaque son de l'environnement. Pour cette raison, le cerveau a besoin de sélectionner un objet pour l'examiner plus en

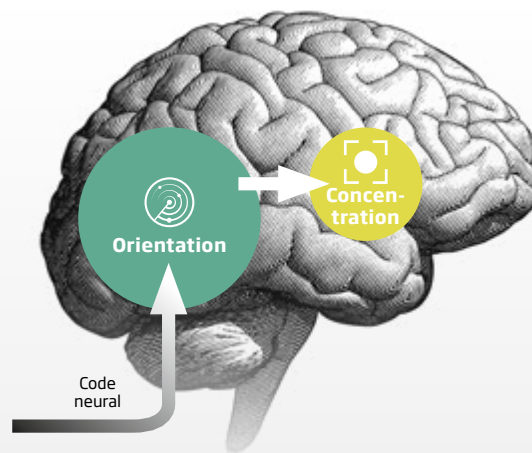


Figure 2. Les deux sous-systèmes auditifs : orientation et concentration

détail, au détriment des autres objets. Il s'agit de la sélection d'objet. Grâce à elle, les notes du violoncelle se « démarquent » pour vous permettre de mieux vous laisser porter par sa mélodie.

Le processus de formation et de sélection d'objets se divise en deux sous-systèmes ou stades : **l'orientation** et **la concentration**. Finalement, ces sons sont reconnus par le cerveau en tant qu'objets significatifs, pertinents par rapport au contexte dans lequel on se trouve. La Figure 2 illustre le parcours typique d'un son dans le cortex.

Orientation - L'image sonore complète dans le cortex auditif primaire

Tandis qu'un mélange de sons passe dans l'oreille, la cochlée convertit les vibrations mécaniques en énergie électrique, ce qui forme le **code neural** qui parcourt le nerf auditif jusqu'au tronc cérébral, pour finalement atteindre le cortex auditif primaire. C'est à cet endroit que les objets auditifs sont formés (O'Sullivan et al., 2019). Dans cette région, les neurones à l'intérieur du cerveau sont activés de façon à ce que le paysage sonore complet soit représenté, en incluant la musique, la parole et le bruit.

Des études portant sur l'attention sélective se sont interrogées sur la façon dont une scène sonore intégrale est représentée dans le cerveau. La scène sonore intégrale inclut généralement un son à écouter et un/des son(s) à ignorer. À l'aide de différentes techniques d'imagerie cérébrale comme la magnétoencéphalographie (MEG), l'électroencéphalographie (EEG) et l'électrocorticographie (EcoG), des études ont démontré que les représentations neuronales de tous les sons de la scène sonore intégrale était équitablement représentées dans les étapes initiales du processus au sein du cortex auditif

primaire (O'Sullivan et al., 2019 ; Puvvada & Simon, 2017). En d'autres termes, le cerveau n'a pas encore porté son attention sur un objet sonore spécifique. À la place, le cerveau recherche des caractéristiques acoustiques contenant des informations pertinentes et il les prend toutes en considération en adoptant une vue d'ensemble. Cela revient à placer tous les outils d'une boîte à outils sur la table avant de choisir celui dont on a besoin (Figure 3, volet de gauche). Après avoir recueilli toutes ces informations, le cerveau peut ensuite sélectionner l'outil (c.-à-d. l'objet) qu'il souhaite choisir, selon l'objectif de la personne qui écoute.

Nous désignons cette étape initiale dans le cortex primaire en tant que stade d'**orientation**. À ce stade, le cerveau se repose sur un **code neural** de bonne qualité pour créer une vue d'ensemble des objets sonores et commencer à séparer les sons pour déterminer ce qui se passe autour de lui, afin de créer la scène sonore complète. Dans le scénario décrit ci-dessus, les instruments de musique et les aboiements sont, pour l'instant, tout autant apparents pour le cerveau. Ces informations fournissent les pré-requis nécessaires pour la **concentration**.

Concentration - Attention sélective dans les régions non primaires du cortex auditif

Après la formation des objets au cours du stade d'**orientation**, vient le moment de la sélection qui dépend de ce sur quoi la personne qui écoute souhaite se concentrer. La sélection des objets se déroule à ce stade. Reprenons l'exemple précédent dans lequel vous souhaitez vous concentrer sur le violoncelle. Votre cerveau comprend grâce au stade précédent que le violoncelle (un instrument musical grave) a une tonalité plus basse que le saxophone (un instrument plus aigu). Il utilisera ensuite les caractéristiques distinctives (grave versus

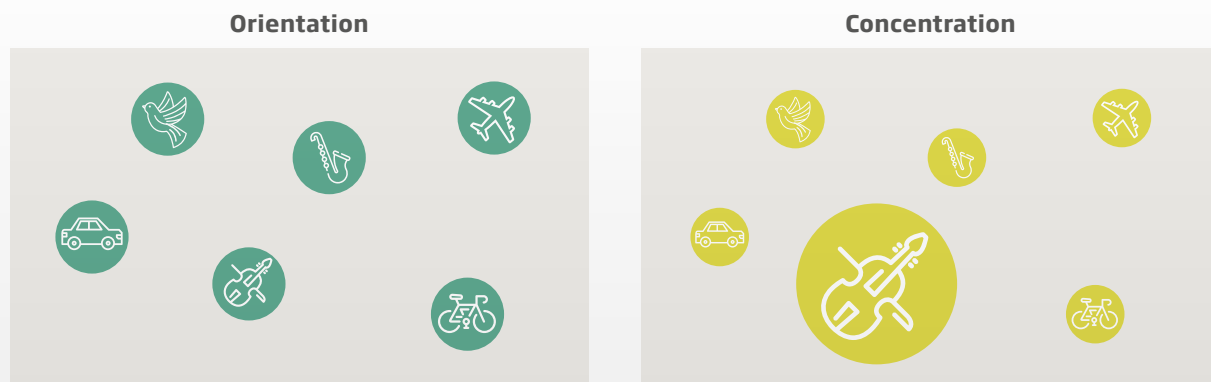


Figure 3. (Volet de gauche) La représentation de l'image sonore complète dans le sous-système d'orientation. (Volet de droite) L'objet de la concentration (le violoncelle) est très fortement représenté dans le sous-système de concentration

aigu) pour déterminer s'il s'agit bien de sources sonores différentes. Il s'agit là d'un exemple de l'identification par le cerveau d'une *caractéristique* (la hauteur) qui *distingue le mieux* les instruments ou les autres objets (Figure 3, volet de droite). En revanche, si les deux instruments avaient exactement la même hauteur, le cerveau rechercherait tout simplement une autre caractéristique pour les distinguer, comme les différences en termes de rythme ou de direction des sons. Pour faire la différence entre le violoncelle et le bruit d'aboïement, le cerveau reconnaît que l'aboïement a un rythme différent de celui de la musique, mais aussi que l'aboïement commence et s'arrête abruptement, tandis que la musique tend à être plus continue, les deux objets sont ainsi séparés l'un de l'autre. Cette recherche de caractéristiques n'aurait pas été possible si on écoutait comme un projecteur.

En captant ces caractéristiques uniques, l'objet sélectionné jouit d'une meilleure représentation lors de cette étape ultérieure du processus qui se déroule dans les régions non primaires du cortex auditif. C'est ce qui est démontré par les mêmes chercheurs qui ont constaté, par le biais d'études portant sur l'attention sélective, que la source sonore à écouter est beaucoup mieux représentée lors de cette étape ultérieure (O'Sullivan et al., 2019 ; Puvvada & Simon, 2017 ; Alickovic et al., 2020, pour une vue d'ensemble, consulter Ng & Man, 2020). En revanche, la représentation des sources sonores à ignorer n'est pas aussi bien encodée ici, dans le cortex auditif non primaire, qu'elle l'était dans le cortex auditif primaire. L'objet sélectionné se démarque des autres sons, cela contribue ainsi à un traitement efficace et performant pour les processus de plus haut niveau. Il peut par exemple s'agir de permettre à la compréhension de la parole de

se produire sans surcharger la capacité de traitement du cerveau.

Ce stade de traitement auditif ultérieur dans les régions non primaires est donc désigné en tant que stade de **concentration**. À ce stade, le cerveau identifie le son sur lequel il souhaite se concentrer ou porter son attention, tandis que les sons peu importants sont filtrés. Ce stade nous permet également de maintenir notre attention sur une source sonore pendant une période prolongée et les recherches démontrent que notre concentration sur un objet devient plus claire au fil du temps grâce à une attention soutenue (Elhilali et al., 2009). Pour porter l'attention sur autre chose, nos cerveaux analysent la partie ignorée de l'environnement à une vitesse de quatre fois par seconde (Helfrich et al., 2018), juste au cas où il y aurait autre chose qui pourrait nous intéresser.

Dans l'ensemble, nos cerveaux sont constamment en train d'essayer d'interpréter les sons de l'environnement. Pour y parvenir, le cerveau a besoin de distinguer les caractéristiques des sons et leurs sources correspondantes. Les deux stades, l'**orientation** et la **concentration**, travaillent ensemble, simultanément et en continu, pour trouver et améliorer les indices qui permettent de mieux différencier les sources sonores. Ces améliorations successives du **code neural** par le cerveau nous permettent d'interpréter les sons qui nous intéressent lors de nos conversations quotidiennes, surtout en présence de bruit.

BrainHearing - le cadre

En associant les processus présentés ci-dessus et la cognition, nous disposons d'une vue d'ensemble de la

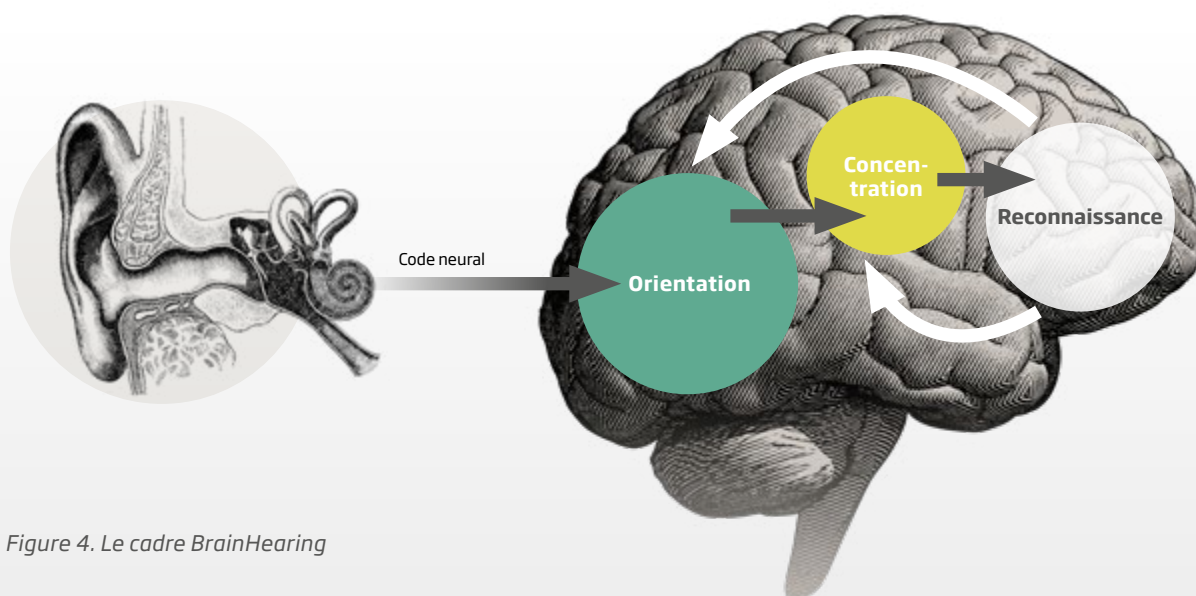


Figure 4. Le cadre BrainHearing

façon dont les sons sont traités et interprétés de l'oreille jusqu'au cerveau. (voir la Figure 4)

1. Audition et code neural - ce stade implique les parties les plus périphériques du système auditif (c.-à-d. l'oreille). Le son est reçu sous forme d'énergie mécanique et converti en **code neural** afin que le cerveau puisse l'interpréter (Shinn- Cunningham & Best, 2008). Ce **code neural**, qui contient des caractéristiques acoustiques des sons, peut influencer les stades ultérieurs, selon sa fidélité.

2. Orientation et concentration - l'étape suivante se déroule principalement dans le cortex auditif, la région du cerveau spécialisée dans l'identification et la séparation des sons. Cette étape peut ensuite être divisée en un stade d'**orientation** et de **concentration**. Le stade d'**orientation** est celui au cours duquel l'image sonore complète est représentée (formation d'objet) dans le cerveau. Le stade de **concentration** est celui pendant lequel l'attention sélective agit (sélection d'objet), en améliorant la perception de l'objet qui nous intéresse.

3. Reconnaissance - il s'agit d'un stade au cours duquel le cerveau utilise la mémoire de travail disponible pour interpréter le son. À ce stade, le cerveau extrait la signification et contrôle les processus cognitifs complexes comme la compréhension de la parole, le déplacement de l'attention et la mémorisation. Ce stade reçoit et intègre également des informations d'autres sens comme les entrées visuelles.

En examinant le cadre, nous pouvons désormais voir qu'une bonne qualité sonore représentant l'image sonore complète constitue un pré-requis pour soutenir une compréhension de la parole et une communication réussies. Cela s'explique par le fait qu'un **code neural** avec une plus haute fidélité peut rendre les stades ultérieurs d'**orientation**, de **concentration** et de

reconnaissance beaucoup plus faciles. Ces capacités cognitives sont étroitement liées aux capacités communicationnelles dans les situations de la vie réelle, comme l'ont démontré de nombreuses études par le biais d'une relation forte entre les mesures cognitives et la compréhension de la parole (Dryden et al., 2017 ; Lunner & Sundewall-Thorén, 2007).

Perte auditive - pas seulement un problème d'oreille

Alors que se passe-t-il si la personne qui écoute souffre de perte auditive ? Nous pouvons utiliser nos apprentissages découlant du cadre BrainHearing pour prédire ce qui pourrait se passer avec une personne malentendante dans notre exemple des instruments musicaux :

En raison de la perte auditive, la qualité des sons qui entrent dans l'oreille est faible, ce qui se traduit par un **code neural** de basse fidélité. Étant donné que la personne qui écoute n'est pas forcément capable d'entendre les détails du son, par ex. l'aigu du saxophone, certaines caractéristiques distinctives de chaque source sonore sont désormais floues, le cerveau a donc plus de difficultés à examiner l'objet sur lequel il se concentre. Par conséquent, le cerveau devra employer des ressources cognitives supplémentaires sous forme de mémoire de travail pour pouvoir l'interpréter (Rönnberg et al., 2013). Cette demande accrue de ressources mentales se manifeste par une augmentation de l'effort d'écoute (Edwards, 2016), qui peut éventuellement conduire à une rupture dans la communication.

Cependant, l'impact collatéral de la perte auditive ne s'arrête pas seulement là. En consacrant davantage de ressources mentales à l'audition, moins de ressources sont disponibles pour les autres processus cognitifs comme le maintien et le déplacement de l'attention (Rönnberg et al., 2013).

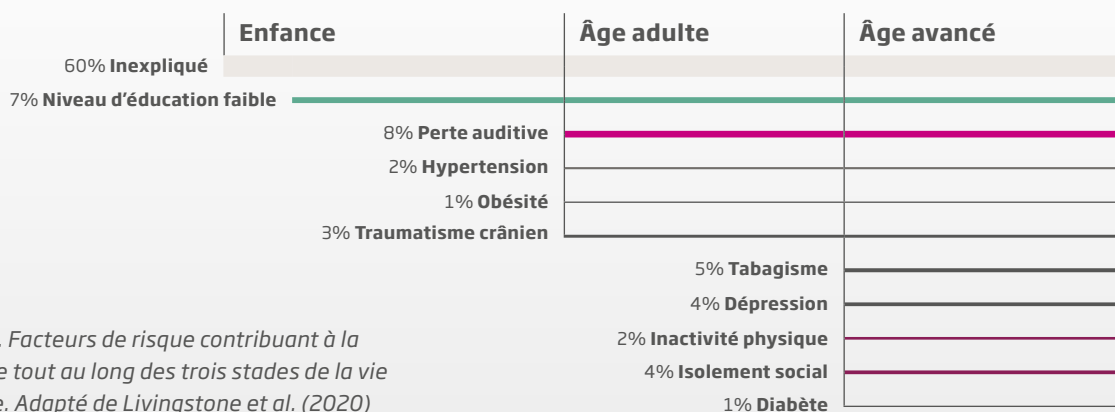


Figure 5. Facteurs de risque contribuant à la démence tout au long des trois stades de la vie humaine. Adapté de Livingstone et al. (2020)

Des modifications considérables ont ainsi été observées dans la structure interne du cerveau chez les individus malentendants (Lomber et al., 2020). Par exemple, des scientifiques ont démontré que le cortex auditif des individus malentendants était plus réactif aux stimuli visuels, ce qui révèle un recrutement des régions auditives par les régions visuelles, contrairement à ce qui se produit chez les individus présentant une audition normale (Campbell & Sharma, 2014, Stropahl et Debener, 2017). Au-delà du cortex auditif, des preuves scientifiques émergentes ont également révélé que d'autres parties du cerveau, comme les régions frontales, sont recrutées pour le traitement auditif, ce qui indique une allocation supplémentaire de ressources des autres régions cérébrales pour le traitement des sons chez les individus malentendants (Peelle et al., 2011, Wingfield & Peelle, 2015).

Ce recrutement d'autres réseaux cérébraux atteste largement du fait que même la perte auditive légère à modérée peut entraîner des modifications dans l'intégrité interne du cerveau (Campbell & Sharma, 2014).

À partir de modifications dans la structure fonctionnelle du cerveau, on a également constaté que les individus atteints d'une perte auditive liée à l'âge présentent aussi un déclin accéléré du volume des régions corticales auditives, en particulier du cortex auditif primaire dans lequel l'**orientation** se produit. Une modification de l'intégrité de la substance blanche et de la substance grise auditives (par ex. Lin et al., 2014) a également été observée, sachant que celles-ci sont responsables de la communication entre les cellules cérébrales. Ces facteurs présentent de lourdes implications en termes de capacité cognitive, notamment pour ce qui a trait à son

déclin (Loughrey et al., 2018). En effet, il a été démontré que la perte auditive liée à l'âge pouvait présenter des associations significatives avec la déficience cognitive, le déclin et la démence (Barnes & Yeffe 2011 ; Albers et al., 2015). Afin d'explorer la façon dont la démence peut être évitée, un modèle de parcours de vie intégrant des facteurs de risque associés à la démence a été proposé par Livingston et collègues (2017 ; 2020). Il décrit comment les éventuelles conditions survenant tout au long des trois stades de la vie d'un individu peuvent conduire à un risque augmenté de développement de démence.

La Figure 5 démontre que la perte auditive constitue un facteur de risque considérable de démence, même lorsqu'elle est comparée à d'autres facteurs faisant souvent l'objet de recherches, comme la dépression, l'isolement social, le tabagisme et l'inactivité physique. Par ailleurs, le risque est exacerbé lorsque la sévérité de la perte auditive augmente (Lin et al., 2011). La perte auditive, la dépression, l'inactivité physique et l'isolement social peuvent former un cercle vicieux. Si une personne souffre de perte auditive, il est probable qu'elle commence à devoir fournir un effort d'écoute plus important et les rencontres sociales peuvent devenir difficiles pour elle. Cela peut l'amener à se retirer des interactions sociales et à ne plus pratiquer d'activité physique pour éviter toute angoisse, ce qui la conduit à se sentir encore plus isolée sur le plan social. À la suite de périodes prolongées d'isolement social, des symptômes dépressifs peuvent commencer à se développer puisqu'elle ne parvient pas à créer du lien avec les personnes qui l'entourent. Finalement, en raison de l'influence de tous les facteurs de risque, la démence devient une issue de plus en plus probable.

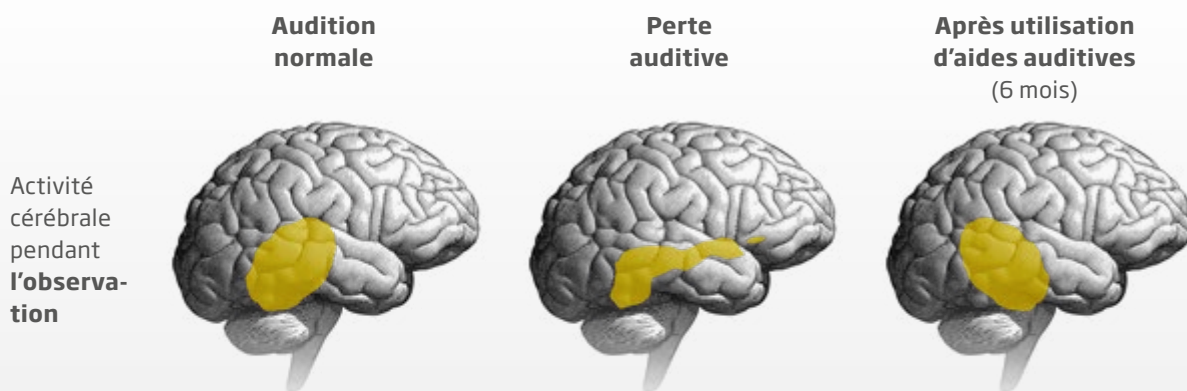


Figure 6. L'utilisation d'aides auditives pendant 6 mois contribue à inverser la réorganisation corticale. Adapté de Glick et Sharma (2020)

Que pouvons-nous faire ?

Nous savons désormais que la perte auditive présente des répercussions considérables qui s'étendent des oreilles au cerveau. Que pouvons-nous faire à ce sujet ?

Une étude récente publiée par Glick et Sharma (2020) a examiné la façon dont l'utilisation régulière d'aides auditives bien adaptées peut apporter des avantages aux utilisateurs. À l'aide de techniques de neuroimagerie, ils ont constaté un recrutement accru du cortex auditif par la vision. Ainsi, dans le cadre d'une audition normale, le cortex visuel était l'acteur principal de l'observation d'indices visuels. À l'inverse, dans le cerveau d'une personne malentendante, le cortex auditif commençait également à réagir. Par la suite, les auteurs ont appareillé les individus malentendants avec des aides auditives et ils ont réalisé les mêmes mesures après 6 mois d'utilisation. La Figure 6 illustre les résultats.

L'illustration montre que les régions qui étaient actives avant l'utilisation des aides auditives sont désormais revenues à des niveaux plus proches de ce qui a été observé chez les personnes présentant une audition normale. Par conséquent, nous pouvons voir qu'il existe un degré de rétablissement, comme indiqué par le cerveau avec l'utilisation d'aides auditives.

La relation de cause à effet entre l'utilisation d'aides auditives et la démence est encore en cours d'investigation. Cependant, il est important de noter que la perte auditive est un facteur de risque modifiable (Livingstone et al., 2017, 2020), ce qui signifie qu'il existe des façons de la traiter qui peuvent réduire la probabilité ou retarder le développement d'une démence ou d'un déclin cognitif (Dawes, 2019 ; Maharani et al., 2018). Par exemple, Livingstone et al. (2020) encourage l'utilisation d'aides auditives pour la perte auditive et la protection des oreilles face au bruit excessif. Cette suggestion est corroborée par des avantages récemment rapportés des aides auditives en termes de performance cognitive (par ex. Karawani et al., 2018).

Conclusions

Nous avons évoqué comment le son est traité dans le cerveau. Il traite d'abord la scène auditive intégrale dans le sous-système d'**orientation**, puis le son écouté est sélectivement traité et amplifié dans le sous-système de **concentration**. C'est à ce moment-là que l'attention sélective entre en scène et se connecte à d'autres régions cérébrales pour différentes fonctions et processus cognitifs, tels que la reconnaissance, le rappel et la réponse. Cela suggère que le cerveau a besoin de l'intégralité de la scène sonore pour un traitement naturel.

Le cadre unifiant de BrainHearing intègre des théories relatives aux objets auditifs, à l'attention sélective et à la cognition pour nous offrir non seulement une compréhension beaucoup plus profonde de la façon dont le cerveau traite les sons, mais également de la façon dont nous pouvons optimiser ce processus afin d'obtenir une meilleure expérience d'écoute pour les utilisateurs d'aides auditives.

Oticon suit la philosophie BrainHearing de compréhension de la perte auditive – nous concevons l'impact de la perte auditive non seulement du point de vue de l'oreille, mais également à partir de la perspective du cerveau – là où les sons sont interprétés. Les preuves que nous produisons continuent à démontrer comment la technologie BrainHearing peut apporter des avantages en termes de compréhension de la parole (Le Goff et al., 2016), confort d'écoute et rappel en libérant des ressources cognitives dans les situations d'écoute difficiles (Juil Jensen, 2019). Par ailleurs, la technologie BrainHearing est également soutenue par des preuves démontrant les avantages observés directement à l'intérieur du cerveau, comme l'attention sélective (Ng & Man 2020).

La perte auditive dégrade la qualité des sons qui entrent dans le cerveau et elle est connue pour être liée à différentes affections à un âge avancé. La nouvelle perspective de BrainHearing met en évidence le besoin d'un code neural de haute fidélité de l'image sonore complète pour le traitement de la perte auditive. En association avec une adaptation optimale et l'utilisation régulière d'aides auditives, cela nous fournit des renseignements précieux pour définir la prochaine étape des soins auditifs. Au moment où nous entrons dans le futur, nous nous concentrons sur de nouvelles découvertes passionnantes qui viendront s'ajouter au tableau complet de BrainHearing.

Références

1. Albers, M. W., Gilmore, G. C., Kaye, J., Murphy, C., Wingfield, A., Bennett, D. A., ... & Duffy, C. J. (2015). At the interface of sensory and motor dysfunctions and Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia*, 11(1), 70-98.
2. Alickovic E., Lunner T., Wendt D., Fiedler L., Hietkamp R., Ng E.H.N., Graversen C. (2020). Neural Representation enhanced for speech and reduced for background noise with a hearing aid noise reduction scheme during a selective attention task. *Frontiers in Neuroscience*, 14, 846. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00846>.
3. Barnes, D. E., & Yaffe, K. (2011). The projected effect of risk factor reduction on Alzheimer's disease prevalence. *The Lancet. Neurology*, 10(9), 819-828. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(11\)70072-2](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(11)70072-2)
4. Campbell, J., & Sharma, A. (2014). Cross-modal re-organization in adults with early stage hearing loss. *PLoS One*, 9(2), e90594. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090594>
5. Dawes, P. (2019). Hearing interventions to prevent dementia. *HNO*, 67(3), 165-171. <https://doi.org/10.1007/s00106-019-0617-7>
6. Dryden, A., Allen, H. A., Henshaw, H., & Heinrich, A. (2017). The Association Between Cognitive Performance and Speech-in-Noise Perception for Adult Listeners: A Systematic Literature Review and Meta-Analysis. *Trends in Hearing*, 21, 233121651774467. <https://doi.org/10.1177/2331216517744675>
7. Edwards, B. (2016). A Model of Auditory-Cognitive Processing and Relevance to Clinical Applicability: Ear and Hearing, 37, 85S-91S. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000308>
8. Elhilali, M., Xiang, J., Shamma, S. A., & Simon, J. Z. (2009). Interaction between attention and bottom-up saliency mediates the representation of foreground and background in an auditory scene. *PLoS biology*, 7(6).
9. Glick, H. A., & Sharma, A. (2020). Cortical Neuroplasticity and Cognitive Function in Early- Stage, Mild-Moderate Hearing Loss: Evidence of Neurocognitive Benefit From Hearing Aid Use. *Frontiers in Neuroscience*, 14, 93. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00093>
10. Helfrich, R. F., Fiebelkorn, I. C., Szczepanski, S. M., Lin, J. J., Parvizi, J., Knight, R. T., & Kastner, S. (2018). Neural mechanisms of sustained attention are rhythmic. *Neuron*, 99(4), 854-865.
11. Juul Jensen, J. (2019). *Opn S Clinical Evidence*. Livre blanc Oticon.
12. Karawani, H., Jenkins, K. A., & Anderson, S. (2018). Neural and behavioral changes after the use of hearing aids. *Clinical Neurophysiology*, 129(6), 1254-1267. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2018.03.024>
13. Le Goff, N., Wendt, D., Lunner, T., & Ng, E. (2016). *Opn Clinical Evidence*, Oticon Whitepaper.
14. Lin, F. R., Ferrucci, L., An, Y., Goh, J. O., Doshi, J., Metter, E. J., Davatzikos, C., Kraut, M. A., & Resnick, S. M. (2014). Association of Hearing Impairment with Brain Volume Changes in Older Adults. *NeuroImage*, 90, 84-92. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.12.059>
15. Lin, F. R., Metter, E. J., O'Brien, R. J., Resnick, S. M., Zonderman, A. B., & Ferrucci, L. (2011). Hearing Loss and Incident Dementia. *Archives of Neurology*, 68(2), 214-220. <https://doi.org/10.1001/archneurol.2010.362>
16. 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*, 396(10248), 413-446.
17. Livingston, G., Sommerlad, A., Orgeta, V., Costafreda, S. G., Huntley, J., Ames, D., ... & Cooper, C. (2017). Dementia prevention, intervention, and care. *The Lancet*, 390(10113), 2673-2734.
18. Lomber, S. G., Butler, B. E., Glick, H., & Sharma, A. (2020). Chapter 16 - Crossmodal neuroplasticity in deafness: Evidence from animal models and clinical populations. In K. Sathian & V. S. Ramachandran (Eds.), *Multisensory Perception* (pp. 343-370). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812492-5.00016-4>
19. Loughrey, D. G., Kelly, M. E., Kelley, G. A., Brennan, S., & Lawlor, B. A. (2018). Association of Age-Related Hearing Loss With Cognitive Function, Cognitive Impairment, and Dementia: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Otolaryngology-Head & Neck Surgery*, 144(2), 115-126. <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2017.2513>

20. Lunner, T., & Sundewall-Thorén, E. (2007). Interactions between Cognition, Compression, and Listening Conditions: Effects on Speech-in-Noise Performance in a Two-Channel Hearing Aid. *Journal of the American Academy of Audiology*, 18(7), 604-617. <https://doi.org/10.3766/jaaa.18.7.7>
21. Maharani, A., Dawes, P., Nazroo, J., Tampubolon, G., Pendleton, N., SENSECog WP1 group, ... & Constantinidou, F. (2018). Longitudinal relationship between hearing aid use and cognitive function in older Americans. *Journal of the American Geriatrics Society*, 66(6), 1130-1136.
22. Ng, E., & Man, B. (2020). Améliorer l'attention sélective : Nouvelles preuves relatives à Oticon Opn S™ Livre blanc Oticon.
23. O'Sullivan, J., Herrero, J., Smith, E., Schevon, C., McKhann, G. M., Sheth, S. A., Mehta, A. D., & Mesgarani, N. (2019). Hierarchical Encoding of Attended Auditory Objects in Multi-talker Speech Perception. *Neuron*, 104(6), 1195-1209. e3. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2019.09.007>
24. Peelle, J. E., Troiani, V., Grossman, M., & Wingfield, A. (2011). Hearing loss in older adults affects neural systems supporting speech comprehension. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 31(35), 12638-12643. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2559-11.2011>
25. Puvvada, K. C., & Simon, J. Z. (2017). Cortical Representations of Speech in a Multitalker Auditory Scene. *The Journal of Neuroscience*, 37(38), 9189-9196. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0938-17.2017>
26. 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.
27. Shinn-Cunningham, B. G., & Best, V. (2008). Selective Attention in Normal and Impaired Hearing. *Trends in Amplification*, 12(4), 283-299. <https://doi.org/10.1177/1084713808325306>
28. Stropahl, M., & Debener, S. (2017). Auditory cross-modal reorganization in cochlear implant users indicates audio-visual integration. *NeuroImage?: Clinical*, 16, 514-523. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2017.09.001>
29. Wingfield, A., & Peelle, J. E. (2015). The effects of hearing loss on neural processing and plasticity. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2015.00035>

Fabricant :
Oticon A/S
Kongebakken 9
DK-2765 Smørum
Danemark
www.oticon.global

Importé et Distribué par :
Audmet Canada Ltd
1600-4950 Yonge St
Toronto, ON M2N 6K1
www.oticon.qc.ca

www.oticon.ca

Oticon is part of the Demant Group.

oticon
life-changing **technology**