

Pourquoi le module M&RIE est-il préféré pour la qualité sonore et la localisation ?

Charlotte T. Jespersen, MA; Brent Kirkwood, PhD; Isabel Schindwolf, MSc

RÉSUMÉ

Les aides auditives Receiver-in-the-ear (RIE) sont les modèles d'aides auditives les plus populaires de nos jours. Malheureusement, l'emplacement des microphones sur ces appareils prive les utilisateurs d'indices naturels pour une audition spatiale. ReSound ONE préserve ces signaux avec le module écouteur M&RIE. Il place un microphone dans le conduit auditif de l'utilisateur, avec l'écouteur, et permet de capter le son dans l'endroit le plus naturel. Cet article présente les résultats de deux expériences qui ont comparé les préférences en termes de qualité sonore et de performances de localisation entre M&RIE et l'emplacement traditionnel du microphone d'un RIE, ainsi que les algorithmes de compensation de pavillon utilisant les microphones embarqués RIE.

INTRODUCTION

Chacun de nous écoute le son façonné par notre pavillon, notre tête et notre torse au cours de notre vie. Ce filtrage personnel du son est un déterminant important de ce qui crée une sensation de naturel, de transparence et d'immersion dans l'environnement acoustique. Outre le niveau interaural et les différences de temps, les signaux spectraux fournis par notre anatomie individuelle et améliorés par la façon dont nous bougeons notre tête et notre corps nous aident à nous orienter dans notre environnement et à localiser et séparer les sons les uns des autres. Cela nous permet de nous concentrer sur les sons que nous voulons entendre, d'atténuer ceux que nous ne voulons pas et de nous sentir connectés à notre environnement. En substance, tout le monde entend différemment.

La philosophie ReSound Organic Hearing nous inspire pour développer des solutions qui permettent aux personnes malentendantes de se connecter au monde de la manière la plus intuitive et la plus naturelle. Avec ReSound ONE™, nous présentons une nouvelle technologie qui combine les avantages du modèle d'aides auditives Receiver-in-the-Ear (RIE) avec les avantages de collecter le son comme la nature l'a prévu : dans le conduit auditif. Le module écouteur M&RIE comprend un microphone placé dans le canal auditif, préservant ainsi le filtrage naturel et individuel du son par l'anatomie unique de chaque personne. En complément des microphones placés dans l'appareil RIE, le microphone intra-auriculaire de M&RIE offre à l'utilisateur une qualité sonore naturelle et immersive pendant les nombreuses heures où la plupart des gens portent leurs aides auditives dans des conditions relativement calmes. Dans les environnements d'écoute plus complexes, la directivité intelligente All Access Directionality active de manière transparente les microphones de l'appareil, permettant le traitement directionnel qui les aide à mieux entendre dans le bruit.



Figure 1. ReSound ONE peut être adapté avec l'écouteur M&RIE, qui contient à la fois un écouteur et un microphone dans un petit module. M&RIE permet au son d'être perçu dans le canal auditif, comme la nature l'a voulu.

L'audition la plus personnalisée dans un RIE

Les aides auditives RIE doivent en partie leur popularité au fait que l'écouteur est placé dans le conduit auditif de l'utilisateur plutôt que dans l'appareil. Cela donne des avantages par rapport à un contour d'oreille (BTE) cosmétiquement parce que les RIE peuvent être plus petits et sont équipés d'un fil à peine visible reliant l'appareil à l'écouteur. Il y a aussi des avantages pratiques et acoustiques, car le niveau de puissance des RIE est déterminé par l'écouteur sélectionné par l'audioprothésiste et l'emplacement de l'électronique dans le conduit auditif élimine les résonances du tube qui peuvent être un défi d'adaptation avec le BTE. Cependant, le BTE et le RIE partagent l'inconvénient de placer les microphones dans le boîtier de l'aide auditive qui se trouve au-dessus et derrière le pavillon. Ce placement artificiel du microphone supprime le filtrage pavillonnaire naturel. Une atténuation de ce problème peut être

obtenue en utilisant les deux microphones de l'aide auditive pour créer une réponse directionnelle similaire à l'oreille ouverte moyenne sur le plan horizontal. Ce type de traitement est proposé par la plupart des marques d'aides auditives. Ces fonctionnalités sont communément appelées algorithmes de «compensation de pavillon», de «restauration de pavillon» ou de «pavillon numérique».¹ Bien qu'utiles, les algorithmes de compensation de pavillon sont incapables de façonner le son exactement comme le ferait le pavillon unique de l'utilisateur.

Jusqu'à présent, seules les aides auditives intra-auriculaires (ITE), avec leurs microphones placés dans le pavillon, ont pu préserver les repères spatiaux du pavillon, de la tête et du torse. ReSound ONE avec M&RIE change tout ceci. C'est le seul RIE qui offre aux utilisateurs les avantages personnalisés de l'emplacement du microphone intra-auriculaire et les avantages uniques d'un modèle RIE comme la directivité All Access.⁵

Les recherches menées pendant le développement de ReSound ONE et de M&RIE ont suggéré un avantage substantiel en termes de localisation et de qualité sonore.² Il est également très intéressant d'examiner si ces résultats positifs résistent à un examen plus approfondi du produit fini. Par conséquent, deux expériences ont été menées pour valider les avantages de la qualité sonore et de la localisation de M&RIE et ReSound ONE. Dans la première expérience, les auditeurs ont jugé la qualité sonore avec M&RIE par rapport à une réponse omnidirectionnelle utilisant le microphone avant de l'appareil ainsi que l'algorithme de compensation de pavillon à 2 microphones exclusif à ReSound. La deuxième expérience a testé la capacité des auditeurs à se localiser avec M&RIE par rapport à une réponse omnidirectionnelle utilisant le microphone avant de l'appareil, l'algorithme exclusif de compensation de pavillon à 2 microphones et les RIE d'autres marques dans leurs programmes par défaut, y compris leurs algorithmes de compensation de pavillon. Il est établi que les personnes ayant une perte auditive sont moins performantes que les personnes ayant une audition normale lors des tâches de localisation. Il s'ensuit qu'elles peuvent également être moins sensibles aux nuances de qualité sonore. De plus, l'amplification pour la compensation de la perte auditive peut masquer les effets acoustiques de l'emplacement du microphone sur une aide auditive. Par conséquent, les deux expériences incluaient des auditeurs avec une audition normale pour illustrer le bénéfice potentiel de la solution M&RIE, ainsi que des auditeurs avec une perte auditive pour illustrer le bénéfice typique et la gamme des bénéfices pour les utilisateurs réels.

EXPÉRIENCE 1 : PRÉFÉRENCE DE QUALITÉ SONORE

Méthodes

Participants

Dix auditeurs "normaux" avec des seuils supérieurs à 15 dB HL⁴ et dix auditeurs avec une perte auditive neurosensorielle bilatérale légère à modérée ont participé à l'expérience 1. L'âge médian était de 39 ans (1er quartile : 34 ans et 3ème quartile : 42 ans) pour les auditeurs avec une bonne audition et 59 ans (1er quartile : 53 ans et 3ème

quartile : 66 ans) pour les auditeurs malentendants. Le groupe des malentendants comprenait des participants expérimentés ou non en amplification. Les auditeurs ayant l'expérience des aides auditives étaient des utilisateurs d'aides auditives RIE haut de gamme. Les années médianes d'expérience avec l'amplification étaient de 3 ans (premier quartile : moins d'un an et troisième quartile : 4 ans).

Aides auditives et réglages

Les aides auditives RIE ReSound ONE ont été utilisées pour l'expérience de qualité sonore. Pour les auditeurs avec une bonne audition, les aides auditives étaient programmées avec 10 dB de gain linéaire plat. Pour les auditeurs malentendants, les aides auditives ont été programmées avec un gain prescrit, en fonction de leurs audiogrammes, par la méthodologie ReSound Audiogram+. Les aides auditives ont été paramétrées en omnidirectionnel dans un programme, Spatial Sense (qui inclut une compensation pavillonnaire et une compression binaurales³) dans un autre programme et M&RIE dans un troisième programme. La gestion du Larsen était active dans tous les programmes. Les autres fonctionnalités avancées ont été désactivées.

Conditions de test, méthodologie, matériel et installation

L'expérience de préférence de qualité sonore comprenait trois conditions : M&RIE, Spatial Sense et omnidirectionnel. Les trois conditions ont été programmées en trois programmes dans une paire d'aides auditives ReSound ONE réglées comme décrit ci-dessous.

ReSound et d'autres fabricants d'aides auditives ont souvent mené des expériences de qualité sonore en réalisant des enregistrements sur un mannequin acoustique et en demandant aux auditeurs d'évaluer les conditions au casque.⁶⁻⁷ Cela permet un double-aveugle et élimine plusieurs sources de biais. Cependant, le présent test a été réalisé en direct, avec les aides auditives sur les oreilles des auditeurs, pour s'assurer que les auditeurs ont bénéficié de leurs signaux de pavillon naturels individuels tels que préservés par M&RIE. Par conséquent, les comparaisons de qualité sonore ne sont effectuées que pour différentes configurations des aides auditives ReSound ONE afin d'éviter d'avoir à changer d'aides auditives entre les essais.

L'expérience de préférence de qualité sonore a été menée en utilisant une méthodologie de comparaison par paires. La tâche des auditeurs était d'écouter les programmes des aides auditives par paires, en alternant entre les programmes et en choisissant le programme de chaque paire qu'ils préféraient. L'application ReSound Smart 3D a été fournie aux auditeurs sur un iPhone afin qu'ils puissent l'utiliser pour basculer rapidement entre les programmes leur permettant d'effectuer le test d'écoute de comparaison par paires dans l'intervalle de temps de mémoire auditive de 2 à 4 secondes.⁸⁻¹⁰ Les bips de changement de programme ont été désactivés pour rendre les programmes de commutation plus fluides. Les auditeurs ont indiqué leur préférence de programme sur papier.

Des comparaisons par paires ont été faites pour les trois programmes, mais les auditeurs ne savaient pas quels paramètres étaient dans chaque programme. L'ordre de test des conditions, M&RIE versus omnidirectionnel, et Spatial Sense versus M&RIE, était contrebalancé entre les auditeurs.

Les auditeurs ont répété les comparaisons par paires tout en écoutant plusieurs scénarios sonores. Une description des scénarios est présentée dans le tableau 1. Les scénarios ont été sélectionnés pour être représentatifs de différents environnements d'utilisateurs d'aides auditives. L'ordre de test des scénarios a été randomisé pour chaque auditeur en utilisant la méthode des carrés latins.

Titre du scénario	Description
Discussion dans une cafétéria	Enregistrement dans une cafétéria très fréquentée à l'heure du déjeuner. Un danois bavard racontant une histoire a été superposé.
Trafic	Enregistrement depuis une intersection avec un trafic dense.
Gare	Enregistrement depuis une gare avec des trains à l'arrivée et au départ.

Tableau 1. Scénarios sonores utilisés pour les comparaisons par paires.

Les scénarios ont été enregistrés avec un réseau de 32 microphones, un modèle Eigenmike de MH Acoustics. Ils ont été lus sur un réseau de 39 haut-parleurs, en utilisant le système d'enregistrement et de lecture Ambisonics de 4ème ordre. Cela permet une reproduction réaliste des environnements sonores dans lesquels les informations sonores spatiales présentes dans les environnements d'origine peuvent être préservées. Ceci est important lors de l'évaluation des réglages d'aides auditives qui préservent des quantités variables d'indices spatiaux et signifie qu'il est possible de tester les aides auditives dans des environnements sonores réels, tout en maintenant la reproductibilité d'un environnement de laboratoire. L'environnement de test est illustré à la figure 2.

Résultats

Les auditeurs ayant une audition normale ont montré une forte préférence pour M&RIE par rapport au mode omnidirectionnel et pour M&RIE sur Spatial Sense dans les trois scénarios d'écoute : discussion dans une cafétéria, trafic et gare. Par conséquent, les résultats ont été fusionnés. Les résultats sont visibles sur la figure 3.

Des tests statistiques binomiaux ont été effectués pour déterminer si les résultats étaient statistiquement significatifs. M&RIE a été nettement préféré à l'omnidirectionnel ($p < 0.001$) dans quatre-vingt-sept pour cent des essais par les auditeurs ayant une audition normale. M&RIE a été nettement préféré à Spatial Sense ($p < 0.05$) dans 70% des essais par les auditeurs ayant une audition normale.

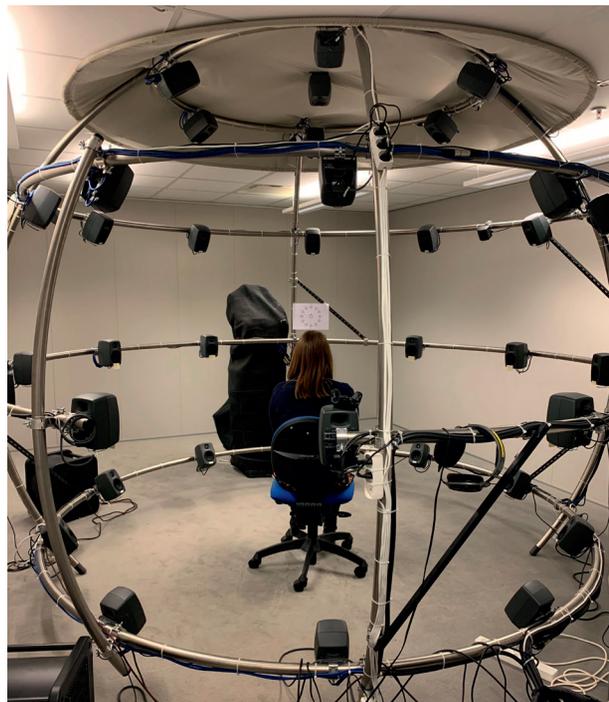


Figure 2. Environnement test avec 39 enceintes en réseau.

Les raisons rapportées par les auditeurs avec une bonne audition pour préférer M&RIE étaient : «Meilleure sensation de réduction du bruit et meilleur lors d'une discussion», «Clair, sans trop de netteté», «La parole est plus claire dans le scénario sonore de la cafétéria», «Moins de bruits de fond» et «Meilleure perception spatiale, bonne intelligibilité de la parole et qualité sonore».

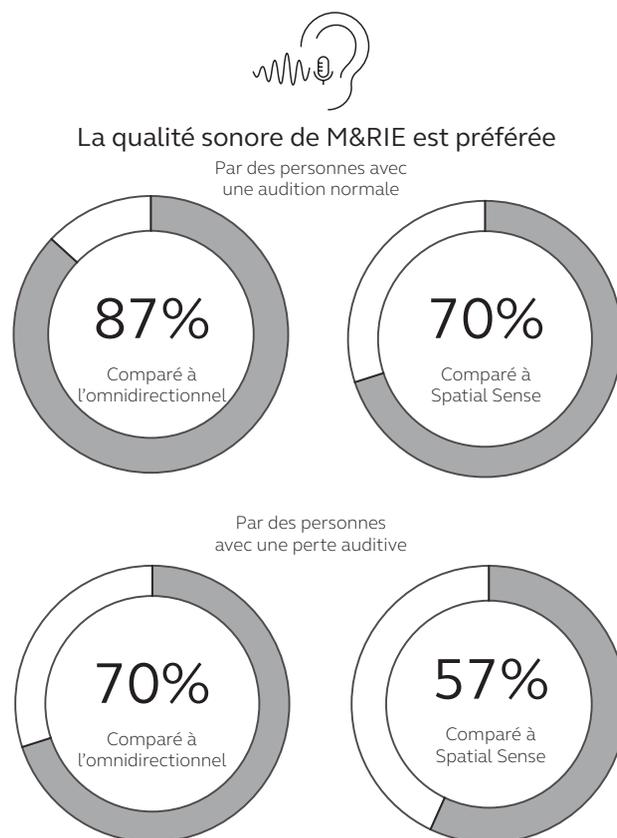


Figure 3. Les auditeurs ayant une audition normale ont montré une forte préférence pour M&RIE en omnidirectionnel et avec Spatial Sense. Les auditeurs malentendants ont montré une nette préférence pour M&RIE par rapport à l'omnidirectionnel, et une préférence moins marquée pour M&RIE par rapport à Spatial Sense.

Tous les auditeurs malentendants ou non ont montré une préférence pour M&RIE par rapport au mode omnidirectionnel et pour M&RIE par rapport au mode Spatial Sense dans les trois scénarios. Les résultats ont été fusionnés et sont présentés dans la Figure 3. Des tests statistiques binomiaux ont été effectués pour déterminer si les résultats étaient statistiquement significatifs. Les auditeurs malentendants ont préféré M&RIE à l'omnidirectionnel dans 70% des essais. M&RIE a été nettement préféré à l'omnidirectionnel ($p < 0,05$). Les auditeurs malentendants ont préféré M&RIE à Spatial Sense dans 57% des essais. Cette préférence n'était pas significative ($p = 0,58$).

La moitié des auditeurs malentendants ont déclaré que les différences entre les programmes qu'ils comparaient étaient faibles. Les raisons décrites pour la préférence de M&RIE étaient : «La parole est plus distincte et le bruit de fond moins distinct», «Les sons les moins dérangeants», «Effort d'écoute réduit, plus confortable et parfois plus intelligible» et «Moins de bruit et meilleure localisation».

Discussion

La plupart d'entre nous savent à quoi ressemble une bonne qualité sonore lorsque nous l'entendons, mais cela peut être difficile à décrire. La qualité sonore des aides auditives peut être encore plus difficile à décrire car les stratégies de traitement des aides auditives modifient considérablement les sons entrants car elles visent à compenser la perte de la fonction auditive. Par conséquent, la qualité sonore pour l'utilisateur de l'aide auditive comprend nécessairement la façon dont les sons amplifiés s'adaptent à la perte d'audition de l'utilisateur, si les sons sont déformés et si le degré auquel les sons indésirables tels que les bruits de fond, le retour acoustique ou les artefacts de traitement du signal sont entendus et perturbants⁷. Cependant, la qualité sonore est plus que cela.

La préférence de qualité sonore est susceptible d'être influencée par l'audibilité, la reconnaissance vocale et la capacité à localiser et séparer les sons. Les raisons rapportées par les auditeurs pour préférer M&RIE dans ce test confirment que ces facteurs ont influencé leurs préférences. D'un point de vue théorique, cela a du sens. Un microphone placé dans l'oreille par rapport à une position haute peut améliorer la localisation, ce qui peut améliorer la capacité de ségrégation, facilitant ainsi la compréhension de la parole.

Le placement du microphone dans le pavillon est reconnu fournir une meilleure reconnaissance vocale dans le bruit depuis l'introduction des aides auditives ITE à la fin des années 70¹⁻¹³. Il a également été démontré que la capacité de localiser les sources sonores¹⁴ s'améliorait avec le placement du microphone dans le pavillon par opposition au placement du microphone BTE. Il a été démontré que la capacité de percevoir les sons dans l'espace, y compris leur direction et leur distance, diminue lors de l'écoute avec des aides auditives avec un placement de microphone non naturel au-dessus et derrière l'oreille¹⁵.

La préférence de qualité sonore pour M&RIE est

susceptible d'être également influencée par les effets positifs de l'écoute de sons familiers et reconnaissables. Dans les faits, avec M&RIE, les participants écoutaient le son tel que façonné par leur pavillon, leur tête et leur torse. Cela devait les rendre familiers et reconnaissables et contribuer à un sentiment de transparence et de naturel. Bien que les résultats confirment fortement que cela est vrai pour les auditeurs normaux, le tableau est plus compliqué pour les auditeurs malentendants. Ceux qui n'ont pas d'expérience avec l'aide auditive se sont habitués à une audibilité réduite des signaux spectraux à haute fréquence. Ceux qui portent des aides auditives RIE sont habitués à écouter via des microphones situés au-dessus et derrière le pavillon de leurs aides auditives RIE, et ils peuvent encore avoir une audibilité réduite des informations hautes fréquences. Les effets de l'acclimatation sur la préférence de qualité sonore des auditeurs malentendants sont un sujet pertinent pour une enquête plus approfondie.

La préférence de qualité sonore pour M&RIE par rapport à l'omnidirectionnel est plus grande que la préférence pour M&RIE par rapport à Spatial Sense et cela s'applique à la fois aux auditeurs ayant une audition normale et aux auditeurs malentendants. Cette constatation est attendue car Spatial Sense inclut une compensation de pavillon à 2 microphones, qui vise à compenser l'emplacement désavantageux du microphone au-dessus et derrière l'oreille. Bien qu'il ait des effets positifs, il n'est pas individualisé et ne tient pas compte de toutes les localisations. Cependant, cela peut encore être acceptable pour certains auditeurs, comme le confirment nos conclusions. Nous supposons que le filtrage fourni par leur propre anatomie dans ces cas peut être assez similaire aux moyennes.

EXPÉRIENCE 2 : LOCALISATION

Méthodes

Participants

Les mêmes auditeurs avec une bonne audition de l'expérience 1 ont également participé à l'expérience 2. Le groupe avec une perte auditive comprenait neuf auditeurs de l'expérience 1 et une personne qui n'avait pas écouté l'expérience 1. L'âge et les caractéristiques de la perte auditive pour le groupe étaient inchangés. Les années médianes d'expérience avec l'amplification étaient de 3 ans (1er quartile : 1 et 3ème quartile : 5 ans).

Aides auditives et réglages

Les aides auditives ReSound ONE RIE et les aides auditives RIE haut de gamme de quatre autres marques ont été utilisées pour l'expérience de localisation. Les appareils auditifs de test étaient équipés bilatéralement de doubles dômes fermés adaptés à la taille et à la géométrie du conduit auditif de l'auditeur pour fournir une amplification sur toute la bande passante de fréquence de chaque appareil.

Toutes les aides auditives de test étaient programmées avec 10 dB de gain linéaire plat pour les auditeurs normaux. Pour les auditeurs malentendants, les aides auditives ReSound ONE ont été programmées avec un gain prescrit en utilisant la méthodologie Audiogram + de ReSound.

La sortie des aides auditives des autres marques a été adaptée à la sortie des aides auditives ReSound ONE dans un coupleur 2cc pour éviter les différences de puissance qui pourraient influencer les résultats de localisation. Les étalonnages de suppression du Larsen ont été effectués dans les oreilles de tous les auditeurs conformément aux recommandations de chaque fabricant.

Les aides auditives ReSound ONE ont été programmées avec un traitement omnidirectionnel dans un programme, Spatial Sense dans un autre programme et M&RIE dans un troisième programme. Les aides auditives RIE des autres marques ont été laissées avec leur programme par défaut comprenant des algorithmes de compensation de pavillon et des fonctions d'annulation de Larsen. Les autres fonctionnalités avancées ont été désactivées pour toutes les aides auditives.

Conditions de test, méthodologie, installation et signal cible

L'expérience de localisation comprenait les 8 conditions énumérées dans le tableau 2. Les auditeurs ne savaient pas quelle condition ils écoutaient pendant le test. L'ordre de test des conditions a été randomisé entre les participants au test.

Conditions de test
Sans aides auditives
ReSound ONE avec M&RIE
ReSound ONE avec le traitement Spatial Sense
ReSound ONE avec le traitement omnidirectionnel
Marque A programme par défaut
Marque B programme par défaut
Marque C programme par défaut
Marque D programme par défaut

Table 2. Conditions utilisées pour le test de localisation.

Le test de localisation a été effectué dans le même laboratoire que celui décrit dans l'expérience 1. Les auditeurs étaient assis au centre d'un réseau de 12 haut-parleurs séparés par 30° comme illustré sur la figure 4. On s'est assuré que les oreilles des auditeurs étaient approximativement sur le même plan horizontal que le centre des haut-parleurs. Les auditeurs ont été encouragés à garder la tête immobile tout au long du test.

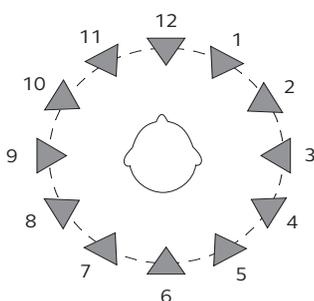


Figure 4. Croquis du réseau de 12 haut-parleurs utilisé pour les tests de localisation.

Un signal cible de bruit blanc de 250 ms à 65 dB SPL a été utilisé pour l'expérience de localisation. Le signal cible a été présenté de manière aléatoire à partir des haut-parleurs pour chaque auditeur selon la méthode des carrés latins. Chaque angle a été testé 5 fois, ce qui a donné un total de 60 présentations de signaux par condition de test. La tâche de l'auditeur consistait à identifier le haut-parleur émettant le signal en nommant son numéro à l'aide d'une illustration imprimée de l'horloge.

Les auditeurs ont effectué un test avec un balayage de chaque haut-parleur avant le test proprement dit pour se familiariser. Le cycle d'entraînement s'est déroulé sans aide avec le niveau de stimulation réglé à environ 10 dB au-dessus du seuil de la moins bonne oreille de l'auditeur à 2 kHz pour s'assurer de l'audibilité.

Résultats

Des comparaisons statistiques ont été effectuées entre M&RIE et les sept autres conditions de test. Le critère statistique Tukey Honest des différences significatives a été utilisé pour les comparaisons. L'erreur de localisation moyenne et l'erreur avant-arrière ont été calculées pour chaque condition de test.

L'erreur moyenne de localisation est la moyenne des différences, en degrés, des réponses des auditeurs par rapport aux emplacements réels des stimuli. L'erreur avant-arrière est calculée comme le pourcentage de fois, sur tous les essais, que les auditeurs ont signalé avoir entendu le stimulus venant de devant eux quand il venait de derrière eux et vice versa.

Localisation globale

L'erreur moyenne de localisation globale pour les deux groupes de participants est présentée à la figure 5. Les résultats des autres marques d'aides auditives ne différaient pas significativement les uns des autres et sont regroupés.

La répartition des résultats est la même pour les deux groupes d'auditeurs. Les meilleures performances sont obtenues pour la condition non appareillé et les moins bonnes dans les conditions de microphone en omnidirectionnel. La meilleure performance suivante est montrée avec M&RIE suivi de Spatial Sense et d'autres marques.

Les auditeurs ayant une audition normale ont montré de meilleures performances dans toutes les conditions que les auditeurs malentendants.

Localisation avant-arrière

Comme observé avec l'erreur de localisation globale, le modèle de résultats est le même pour les deux groupes. En moyenne, les deux groupes ont commis le moins d'erreurs de localisation avant-arrière sans aide. Il est intéressant de noter que les différences d'erreurs par rapport à celles non appareillées étaient nettement meilleures que toutes les autres conditions, à l'exception de M&RIE qui démontre de bons résultats. Le groupe d'auditeurs malentendants a globalement moins bien performé que les auditeurs ayant une audition normale.

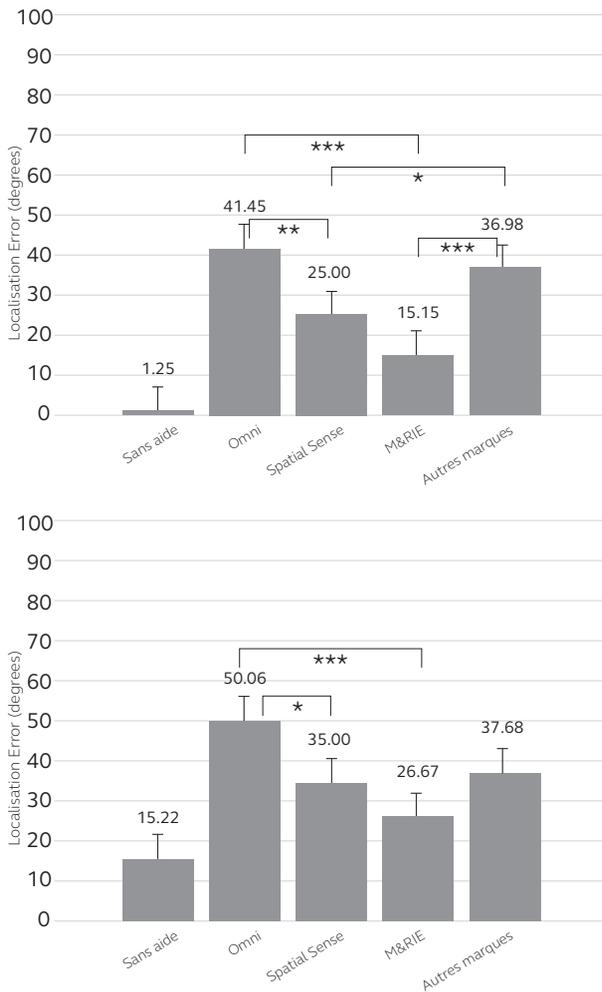


Figure 5. Erreur de localisation globale moyenne en degrés. Le graphique supérieur montre les résultats pour les auditeurs ayant une audition normale et le graphique inférieur montre les résultats pour les auditeurs malentendants. Les barres inférieures indiquent de meilleures performances. Les barres d'erreur représentent des intervalles de confiance à 95%. Les astérisques montrent des différences significatives où * indique $p < 0,05$; ** indique $p < 0,01$; *** indique $p < 0,001$. La condition sans aide était significativement meilleure que toutes les autres conditions sauf M&RIE.

Discussion

Il ressort clairement de ces résultats que les microphones omnidirectionnels placés au-dessus et derrière l'oreille compromettent les capacités de localisation. Un microphone placé au-dessus et derrière l'oreille supprime l'influence du pavillon de l'utilisateur de l'aide auditive, supprimant ainsi les informations précieuses qui, autrement, faciliteraient la localisation. Comme on peut le voir dans la performance sans aide, les auditeurs ont eu peu de mal à localiser quand leurs signaux de pavillon étaient préservés. Pour les auditeurs bien entendants et pour ceux ayant une perte auditive mais qui n'ont pas d'expérience avec l'appareillage, ce sont les mêmes indices spatiaux qu'ils écoutent tous les jours. Pour les personnes malentendantes qui portent des aides auditives RIE, ces résultats suggèrent que l'acclimatation au placement du microphone au-dessus de l'oreille ne signifie pas que les utilisateurs ont «oublié» comment utiliser les repères de pavillon naturels.

Il est également clair que M&RIE préserve des informations précieuses qui facilitent la localisation. La condition M&RIE était la deuxième meilleure pour les deux

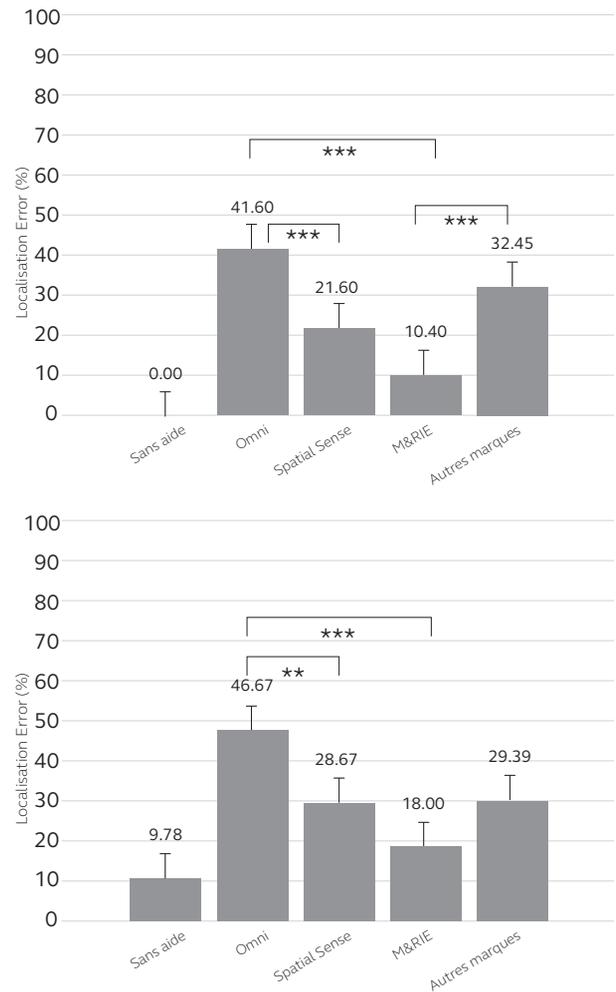


Figure 6. Erreur de localisation avant-arrière moyenne en %. Le graphique supérieur montre les résultats pour les auditeurs ayant une audition normale et le graphique inférieur montre les résultats pour les auditeurs malentendants. Les barres inférieures indiquent de meilleures performances. Les barres d'erreur représentent des intervalles de confiance à 95%. Les astérisques montrent des différences significatives où * indique $p < 0,05$; ** indique $p < 0,01$; *** indique $p < 0,001$. La condition sans aide était significativement meilleure que toutes les autres conditions à l'exception de M&RIE.

groupes d'auditeurs. Ce résultat confirme également que l'acclimatation à un emplacement de microphone non naturel n'empêche pas nécessairement de bénéficier de l'emplacement naturel du microphone à l'intérieur du conduit auditif. Les candidats idéaux pour cette solution incluront des utilisateurs d'aides auditives inexpérimentés et expérimentés. La sélection sera déterminée par le gain utilisable, et non par le bénéfice potentiel de l'emplacement du microphone intra-auriculaire.

Enfin, Spatial Sense, qui implémente la directivité d'un pavillon moyen, de la tête et du torse, a permis aux auditeurs de mieux se localiser qu'avec des microphones omnidirectionnels, ce qui correspond à des découvertes antérieures^{1,3}. De plus, la qualité sonore a été jugée aussi bonne que M&RIE par les auditeurs malentendants près de la moitié du temps. Pour les utilisateurs qui ne peuvent pas s'adapter correctement à M&RIE, ces résultats confirment que Spatial Sense continue d'offrir une solution bien améliorée par rapport à l'omnidirectionnel.

Un examen plus approfondi des résultats pour les auditeurs individuels (non illustré) a révélé que certains ont mieux performé avec Spatial Sense qu'avec omnidirectionnel, tandis que d'autres ne l'ont pas fait. Les

auditeurs qui ont bénéficié de Spatial Sense peuvent être ceux dont le filtrage spectral de leur anatomie ressemble aux moyennes utilisées dans la fonction Spatial Sense. Il convient de noter qu'aucun des auditeurs n'a montré de moins bonnes performances avec Spatial Sense qu'avec l'omnidirectionnel. Il en va de même pour M&RIE par rapport à l'omnidirectionnel. Aucun des auditeurs n'a montré de moins bonnes performances avec M&RIE, la grande majorité ayant de meilleures performances.

Dans l'ensemble, les résultats de ces expériences ont renforcé les résultats antérieurs obtenus avec ReSound ONE et M&RIE pendant le développement du produit. Les gens qui utilisent ReSound ONE et M&RIE auront un son unique, leur permettant d'entendre comme aucun autre.

RÉSUMÉ

ReSound ONE avec M&RIE combine les avantages du style RIE avec les bénéfices de la collecte du son dans le conduit auditif de l'utilisateur. Les avantages incluent la qualité sonore plus naturelle avec la possibilité de séparer les sources sonores et de juger de leur profondeur et de leur distance. Deux expériences ont été menées avec des groupes d'auditeurs ayant une perte d'audition et une audition normale pour valider ces bénéfices. Dans les deux expériences, le schéma des résultats était le même pour les deux groupes, mais les résultats étaient plus prononcés chez les personnes ayant une audition normale. La qualité sonore avec M&RIE a été préférée par les deux groupes à l'omnidirectionnel. Une préférence plus faible a été démontrée par rapport à la fonction de compensation de pavillon propriétaire utilisant les deux microphones. Les performances de localisation avec M&RIE étaient similaires à celles sans aide, et meilleures que l'omnidirectionnel ou avec la fonction de compensation de pavillon des diverses autres marques d'aides auditives.

RÉFÉRENCES

1. Jespersen, C. Spatial hearing and severe hearing impairment. *Zeitschrift für Audiologie*. 2017; 56(2):66-68.
2. Groth, J. An innovative RIE with microphone in the ear lets users "hear with their own ears". ReSound white paper. 2020.
3. Groth, J. Binaural Directionality and Spatial Sense. ReSound white paper. 2015.
4. Clark, JG. Uses and abuses of hearing loss classification. *ASHA*. 1981; 23:493-500.
5. Groth, J. The evolution of the ReSound binaural hearing strategy: All Access Directionality and Ultra Focus. ReSound white paper. 2020.
6. Legarth SV, Simonsen CS, Dyrland O, Bramsloev L, Jespersen C. Establishing and qualifying a hearing impaired expert listening panel. Poster presentation at ICHON. 2012, Lake Tahoe.
7. Jespersen, CT. Independent Study Identifies a Method for Evaluating Hearing Instrument Sound Quality. *Hearing Review*. 2014; 21(03):36-40.
8. Darwin C J, Turvey MT, & Crowder RG. An auditory analogue of the sperling partial report procedure: Evidence for brief auditory storage. *Cognitive Psychology*. 1972; 3(2):255-267.
9. Radvansky, GA. *Human memory*. Boston: Pearson/ Allyn And Bacon: 2006
10. Thaut, MH. Musical echoic memory training (MEM). In M. H. Thaut & V. Hoemberg (Eds.), *Handbook of neurologic music therapy*. Oxford University Press; 2014. p 311-313
11. Risberg, DM, Cox, RM. Comparison of In-The-Ear and Over-The-Ear hearing aid fittings. *Journal of Speech and Hearing Disorders*. 1986 51(4):362-9.
12. Festen JM, Plomp R. Speech-reception threshold in noise with one and two hearing aids. *Journal of the Acoustical Society of America*. 1986; 79(2):465-471.
13. Pumford JM, Seewald RC, Scollie SD, Jenstad LM. Speech recognition with In-The-Ear and Behind-The-Ear dual-microphone hearing instruments. *Journal of the American Academy of Audiology*. 2000 Jan 1;11(1):23-35.
14. Westerman S, Topholm J. Comparing BTEs and ITEs for localizing speech. *Hearing Instruments*. 1985; 36(2):20-24.
15. Cubick J, Buchholz JM, Best V, Lavandier M, Dau T. Listening through hearing aids affects spatial perception and speech intelligibility in normal-hearing listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2018 Nov 20;144(5):2896-905.

GN Hearing A/S
19 rue d'Arcueil
94150 RUNGIS
France
pro.resound.com

CVR no. 55082715