

Performance de stratégies avancées de réduction du bruit dans des aides auditives haut de gamme

Megan Quilter, AuD; Jan Heeren, Dipl. Phys; Charlotte T. Jespersen, MA

Résumé

Les aides auditives haut de gamme utilisent des réseaux neuronaux profonds (DNN) avec un objectif commun : traiter les problèmes de confort d'écoute et de compréhension de la parole dans des environnements bruyants. Cependant, la conception de ces fonctionnalités diffère considérablement. Certaines sont utilisées pour contrôler l'activation de technologies bien connues telles que la directivité et la réduction de bruit numérique, tandis que d'autres sont des fonctions de débruitage utilisées directement dans le traitement du signal pour supprimer le bruit du signal. La fonction Intelligent Focus de Resound Vivia 9 utilise le débruitage combiné à une forte directivité. Pour évaluer des aspects perceptifs importants d'Intelligent Focus, elle a été testée par rapport à trois autres marques d'aides auditives haut de gamme qui utilisent des DNN, dans une configuration complexe à plusieurs locuteurs avec prise de parole à tours de rôle et paroles interférentes dans l'hémichamp frontal. Resound Vivia 9 avec Intelligent Focus a surpassé deux des aides auditives des autres marques et a été au même niveau que la troisième. Resound Vivia 9 avec Intelligent Focus a également été évaluée par rapport aux autres marques d'aides auditives en termes d'effort d'écoute. Toutes les aides auditives testées ont fourni un faible effort d'écoute.

Une plaisanterie fréquente utilisée par les dessinateurs au fil des ans représente un homme portant des aides auditives avec un « filtre épouse » qui, une fois activé, supprimerait vraisemblablement le son de la voix de sa femme de son environnement. Une partie de ce qui rendait cela drôle pour le public cible était l'absurdité de disposer d'un appareil capable de reconnaître et de supprimer la voix d'une personne en particulier. Aujourd'hui, cette plaisanterie n'est plus aussi farfelue. En réalité, la limite d'une telle fonctionnalité n'est pas de savoir si elle est techniquement possible, mais plutôt si elle aurait du sens en tant que fonctionnalité d'aide auditive ou si elle apporterait un bénéfice qui justifierait la puissance de traitement et l'énergie nécessaires pour la faire fonctionner. Même s'il est peu probable qu'il y ait des aides auditives avec un filtre spécifique à une personne sur le marché dans un avenir proche, la technologie sous-jacente qui le permettrait existe déjà et est appliquée à des usages plus universellement utiles. Les aides auditives sont de plus en plus conçues pour utiliser des formes avancées d'Intelligence Artificielle (IA) afin de résoudre des problèmes réels que rencontrent les

utilisateurs d'aides auditives. L'objectif principal des concepteurs d'aides auditives est la qualité sonore, le confort d'écoute et la compréhension de la parole dans les environnements bruyants. La philosophie sonore de ReSound dans le développement des aides auditives a toujours consisté à s'inspirer des processus d'audition naturelle pour l'application de nouvelles technologies, et l'IA ne fait pas exception. Nous avons même modifié la désignation pour refléter en quoi notre concept est différent. Intelligence Augmentée (IA) exprime l'idée que l'utilisateur est renforcé par la technologie plutôt que soumis à une prise de décision artificielle par un algorithme. Nous recherchons des opportunités de combiner ce que la personne qui porte les aides auditives et son cerveau font bien avec ce que la technologie fait bien¹. Alors qu'il est courant de penser à appliquer la technologie pour aider l'utilisateur, une implication de cette aide est qu'elle retire un certain niveau de contrôle à l'utilisateur. Notre approche combine les forces de la technologie artificielle avec les processus biologiques de l'être humain.

L'Intelligence Augmentée dans nos aides auditives doit aider les patients à mieux entendre dans le bruit, mais elle ne doit pas interférer avec leurs objectifs d'écoute. Quel que soit le degré d'efficacité d'une technologie pour réduire le bruit, elle ne pourra jamais remplacer les capacités de traitement du cerveau humain. Les stratégies que nous utilisons pour entendre dans le bruit vont bien au-delà du simple fait de recevoir le son avec nos oreilles et de le transmettre au cerveau. Nous devons également mobiliser des ressources cognitives pour concentrer notre attention sur différents sons, décider de ce qui nous intéresse et utiliser notre cerveau pour filtrer le reste des sons en tant que bruit. Les aides auditives contribuent principalement à améliorer l'audibilité afin que les sons puissent être entendus. Au-delà de l'audibilité, c'est au cerveau de décider de ce qu'il convient d'écouter. Une aide auditive ne peut pas remplacer ces fonctions cognitives de haut niveau, même avec l'intelligence artificielle. Au contraire, notre technologie d'Intelligence Augmentée contribue à garantir que l'utilisateur reçoit la meilleure représentation possible des sons qui l'entourent, afin que son cerveau puisse utiliser ces informations améliorées pour écouter efficacement.

Alors que l'IA est un terme large couvrant de nombreux niveaux de sophistication dans la prise de décision par les machines, il est souvent utilisé de manière informelle pour désigner les techniques les plus avancées dans ce domaine. Les aides auditives haut de gamme ont commencé à intégrer des fonctionnalités pilotées par un type sophistiqué d'IA appelé réseaux neuronaux profonds (DNN).² En résumé, les DNN utilisent des réseaux multicouches et des algorithmes qui apprennent grâce à des réseaux neuronaux artificiels inspirés des neurosciences biologiques humaines. Jusqu'à présent, les DNN dans les aides auditives sont utilisés de deux grandes façons. La première consiste à analyser l'environnement d'écoute et à activer et contrôler automatiquement les fonctionnalités qui soutiennent l'audition dans ces environnements. Une autre façon d'utiliser les DNN consiste à les intégrer dans le traitement du signal pour piloter des fonctions de réduction de bruit à canal unique. Canal unique signifie que le son souhaité et le bruit sont mélangés, et que la fonctionnalité doit être capable de les séparer et d'isoler la partie souhaitée du signal global. Cette dernière utilisation est souvent appelée « débruitage ».

Le débruitage peut réduire efficacement les bruits de l'environnement tout en préservant la parole, quelle que soit la direction d'où proviennent la parole et les autres sons par rapport à l'utilisateur de l'aide auditive. Dans des situations d'écoute complexes où les voix des interlocuteurs se superposent et où ces voix proviennent de différentes positions, les approches de réduction du bruit sont souvent mises à l'épreuve, car l'aide auditive ne sait pas ce que l'utilisateur de l'aide auditive souhaite écouter. Comme le débruitage est conçu pour préserver la parole partout dans l'environnement du patient, il a le potentiel à la fois d'aider et d'interférer avec le suivi des conversations dans des environnements d'écoute complexes, selon son intention d'écoute. Imaginez vouloir vous concentrer sur une conversation devant vous, mais

obtenir une meilleure audibilité du locuteur bruyant situé à côté en raison de l'amplification pilotée par. C'est pourquoi la fonctionnalité de réduction de bruit basée sur un DNN de ReSound, Intelligent Focus, est combinée à un puissant faisceau directionnel à 4 microphones en tant que programme sélectionnable par l'utilisateur pour des objectifs d'écoute spécifiques. Elle est conçue pour les situations où l'utilisateur de l'aide auditive écoute un seul interlocuteur ou suit une conversation avec prise de parole dans un environnement bruyant. Écouter un seul interlocuteur représente une tâche d'attention sélective, où l'auditeur se concentre sur une source d'information et essaie d'ignorer toute source concurrente. Suivre une conversation avec plusieurs interlocuteurs est une tâche d'attention divisée, où l'auditeur doit rapidement déplacer son attention d'une source à l'autre. L'attention sélective comme l'attention divisée à l'écoute sont toutes deux améliorées lorsque la localisation des sources est perçue comme différente, avec des effets plus marqués pour l'attention sélective.³ En combinant la réduction de bruit basée sur un DNN et une forte directivité, deux objectifs sont atteints qui peuvent améliorer l'écoute : la séparation de la parole souhaitée et des sons interférents grâce à la directivité, et la mise en lumière de la parole grâce au débruitage.

Alors qu'Intelligent Focus s'est déjà révélé améliorer significativement la qualité sonore par rapport à la réduction de bruit mono-microphone héritée,⁴ la question demeure de savoir dans quelle mesure Intelligent Focus peut bénéficier aux utilisateurs d'aides auditives en termes de capacité à suivre la parole dans des conditions d'écoute complexes. Mais comment s'assurer d'une méthode de test qui reflète réellement les bénéfices ressentis ? Les tests traditionnels de parole dans le bruit ne prennent pas en compte des facteurs qui contribuent à la complexité des situations d'écoute réelles, comme les interlocuteurs concurrents, la prise de parole et l'attention. Et pour qu'ils aient une sensibilité suffisante lorsque les performances ne sont pas saturées, ils exigent des rapports signal/bruit (RSB) faibles qui ne sont pas typiques des situations réelles. Les sons concurrents dans les tests traditionnels sont souvent des bruits façonnés selon la parole ou des brouhahas de plusieurs locuteurs qui produisent un masquage énergétique. Dans les situations réelles, le masquage informationnel par des locuteurs non-cibles est fréquent et peut facilement provoquer une confusion avec la parole souhaitée. Des auditeurs testés avec des méthodes traditionnelles peuvent ainsi présenter de très bonnes performances, tout en rapportant qu'ils continuent à rencontrer des difficultés dans leurs situations de communication quotidiennes. Le Hörzentrum Oldenburg a développé le test Concurrent Oldenburg Sentence (CCOLSA)^{5,6} pour évaluer l'écoute appareillée dans de telles situations. Il s'agit d'un test de parole avec trois locuteurs cibles qui peut être réalisé soit comme une tâche d'attention divisée (suivre des interlocuteurs qui prennent la parole à tour de rôle), soit comme une tâche d'attention sélective (se concentrer sur un seul interlocuteur), tandis que les conditions d'écoute restent identiques. Un avantage particulièrement intéressant du paradigme CCOLSA est qu'il est optimisé pour des RSB écologiquement valides (typiquement de -1 à +4 dB).

Le but de cette étude était d'explorer les bénéfices d'Intelligent Focus à l'aide d'une mesure écologiquement généralisable. Des aides auditives dotées de fonctionnalités basées sur des DNN provenant de trois autres marques haut de gamme ont été incluses comme références du secteur. Les tests ont été réalisés dans une configuration complexe à plusieurs locuteurs avec prise de parole à tour de rôle et parole interférente dans l'hémichamp frontal. Des tests de reconnaissance de la parole pour des locuteurs cibles uniques (attention sélective) et pour des locuteurs cibles avec prise de tours de parole (attention divisée) ont été effectués, ainsi qu'une évaluation subjective de l'effort d'écoute

Méthodes

Participants

Au total, 20 participants (10 hommes, 10 femmes) présentant une perte auditive neurosensorielle modérée symétrique ont participé à l'étude. Ils ont été sélectionnés pour avoir une perte auditive correspondant aux audiogrammes standard N3 et N4.⁷ L'âge médian des participants était de 74 ans (intervalle interquartile : 65 - 79 ans) et ils étaient tous des utilisateurs expérimentés d'aides auditives, avec une durée médiane d'utilisation de 16 ans (intervalle interquartile : 11 - 27 ans). Tous étaient des utilisateurs actuels d'aides auditives haut de gamme de type contour d'oreille avec écouteur déporté (RIE) de différentes marques d'aides auditives.

Aides auditives et réglages

Les participants au test ont été appareillés avec une paire d'aides auditives ReSound Vivia RIE (VI960S-DRWC) ainsi qu'avec des aides auditives RIE de trois autres marques haut de gamme disposant de fonctionnalités avancées basées sur un DNN. Les quatre paires d'aides auditives ont été équipées d'écouteurs adaptés à la perte auditive des participants et d'embouts fermés (dômes Power ou dômes Sleeve). Des embouts fermés ont été choisis afin d'assurer un bénéfice maximal du traitement du signal des aides auditives pour les quatre paires. Les aides auditives ont été réglées avec, pour chaque marque, le programme intégrant la fonctionnalité basée sur un DNN.

Conditions du test

L'étude a été conçue selon un protocole croisé contrebalancé, dans lequel chaque participant a été appareillé et testé avec les quatre paires d'aides auditives. Pour éviter les effets d'apprentissage et les effets d'ordre, des phases d'entraînement aux tests de reconnaissance de la parole ont été réalisées avant la collecte des données et les conditions de test ont été randomisées. L'étude était menée en simple aveugle, car les investigateurs pouvaient identifier les aides auditives, mais les participants ne pouvaient pas identifier les aides auditives qu'ils évaluaient.

Matériel de test et mise en place

Test de reconnaissance de la parole dans le bruit

Le test CCOLSA a été utilisé pour la mesure de la reconnaissance de la parole. Dans le CCOLSA, le matériel de parole est constitué de présentations alternées de phrases prononcées par une locutrice et deux locuteurs masculins issus du Oldenburg Sentence Test (OLSA).⁸ Les phrases des différents locuteurs se succèdent de manière alternée, avec un chevauchement temporel défini entre les locuteurs. La locutrice était présentée à partir d'un haut-parleur placé en face du participant (azimut 0°) et les locuteurs masculins étaient présentés à +/- 22,5°. La configuration de test est illustrée à la figure 1.

Les locuteurs du CCOLSA étaient présentés à des niveaux 4 dB plus élevés que le seuil de perception de la parole (SRT) individuel des participants pour ces locuteurs. Les SRT ont été mesurés au préalable à l'aide du test adaptatif de phrases d'Oldenbourg. Le RSB moyen pour les SRT individuels était de -4,4 dB (écart-type 2,0 dB). Les temps de chevauchement des phrases ont également été définis individuellement après la mesure du seuil de temps de chevauchement correspondant à 50 % de réponses correctes (moyenne 361 ms, écart-type 232 ms, ou médiane 378 ms, intervalle interquartile 237-526 ms).

Un brouhaha de parole était présenté en même temps que les phrases. Ce brouhaha était constitué d'un dialogue à deux locuteurs (homme/femme) et du signal ISTS.⁹ Le brouhaha de parole était présenté à 70 dB A depuis un azimut de 45°

Les tests de reconnaissance de la parole comprenaient une tâche d'attention sélective et une tâche d'attention divisée. Pour évaluer la reconnaissance de la parole avec attention sélective, les participants devaient répéter le dernier mot de chaque phrase pour des locuteurs cibles fixes (20 mots cibles par locuteur). Par « fixes », on entend que la position du locuteur cible ne changeait pas, de sorte que l'auditeur savait où concentrer son attention. L'investigateur annonçait le locuteur cible pour les 20 phrases à venir. Après ces 20 phrases, le locuteur cible suivant était annoncé. Les réponses étaient données pendant la présentation continue des phrases.

Pour la tâche d'attention divisée, des changements de locuteur cible étaient introduits. Chaque fois qu'une phrase commençait par le prénom « Kerstin », cela indiquait le nouveau locuteur cible. Comme pour la tâche d'attention sélective, le dernier mot de chaque phrase devait être répété. Les changements de locuteur cible se produisaient toutes les 15 à 25 secondes (7 fois par locuteur, 21 fois au total). Les réponses étaient données pendant la présentation continue.

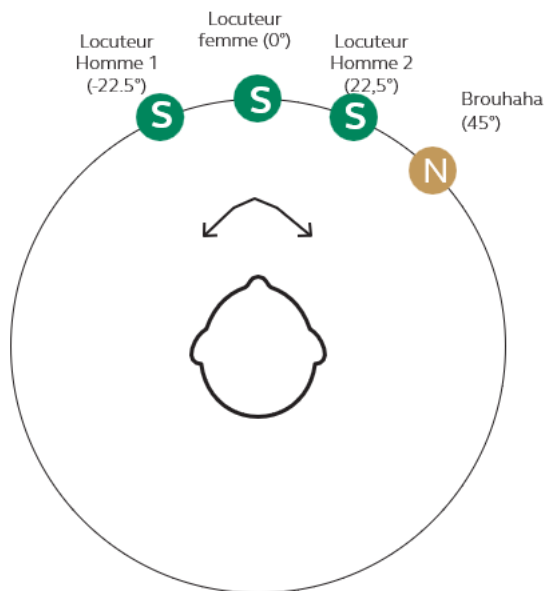


Figure 1. Illustration de la configuration de test utilisée pour les mesures de reconnaissance de la parole.

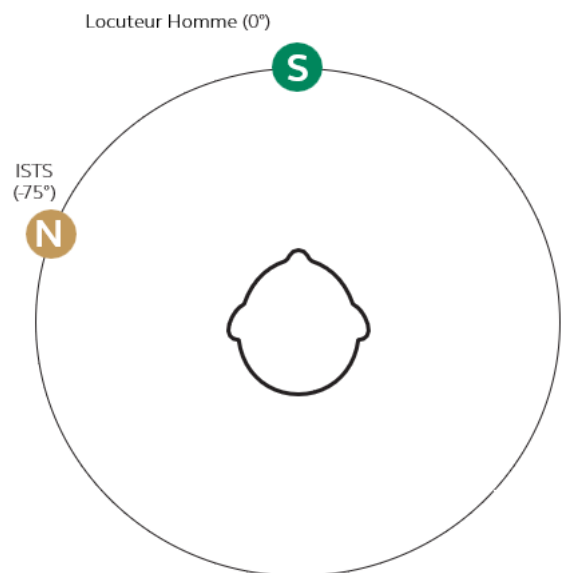


Figure 2. Illustration de la configuration de test pour la mesure de l'effort d'écoute.

Test ACALES

Le test ACALES (Adaptive Categorical Listening Effort Scaling)¹⁰ demande aux participants d'évaluer l'effort d'écoute pendant qu'ils écoutent les phrases OLSA. Les participants évaluent l'effort d'écoute perçu sur une échelle de 1 (aucun effort) à 13 (effort élevé) sur un écran tactile. Le RSB est ajusté de manière adaptative afin de recueillir des évaluations pour toutes les unités catégorielles de l'échelle.

Les phrases OLSA étaient présentées de face à 0° d'azimut, tandis que le signal ISTS était présenté à 70 dB A depuis un azimut de -75°. Veuillez-vous reporter à la figure 2 pour une illustration de la configuration de test.

Procédure

Les participants ont pris part à deux sessions de mesure au Hörzentrum Oldenburg, chacune d'une durée d'environ deux heures. La première session commençait par un interrogatoire, une otoscopie et un audiogramme. Sur la base de l'audiogramme, les quatre paires d'aides auditives ont été adaptées. Ensuite, les paramètres individuels pour le CCOLSA ont été mesurés en conditions appareillées (dispositifs ReSound Vivia), y compris les SRT pour les trois locuteurs (testés dans un ordre entrelacé) face au brouhaha de parole, ainsi que les temps de chevauchement CCOLSA pour 50 % de réponses

correctes. Pour ces deux mesures, un entraînement a été réalisé avant les mesures proprement dites. Par la suite, les quatre aides auditives ont été testées dans un ordre contrebalancé et randomisé. L'une de ces conditions a été réalisée lors de la première session, les trois autres lors de la deuxième session. Pour chaque condition d'aide auditive, le CCOLSA avec attention sélective et attention divisée était testé en premier (ordre randomisé), puis venait l'ACALES.

Résultats et discussion

Résultats de la reconnaissance de la parole dans le bruit

La figure 3 montre les scores CCOLSA mesurés pour la tâche d'attention divisée et la tâche d'attention sélective. Les scores étaient plus élevés pour la tâche d'attention sélective que pour la tâche d'attention divisée dans l'ensemble, ce qui reflète la plus grande difficulté de la tâche d'attention divisée. Pour les deux tâches, les participants ont obtenu les scores les plus élevés avec ReSound Vivia 9, même si les différences n'étaient pas significatives dans tous les cas. Les scores médians pour la tâche d'attention divisée étaient de 62,5 % (ReSound Vivia), 54,2 % (HA1), 51,7 % (HA2) et 55,0 % (HA3). Pour la condition d'attention sélective, les scores médians étaient de 72,5 % (ReSound Vivia 9), 68,3 % (HA1), 69,2 % (HA2) et 70,1 % (HA3).

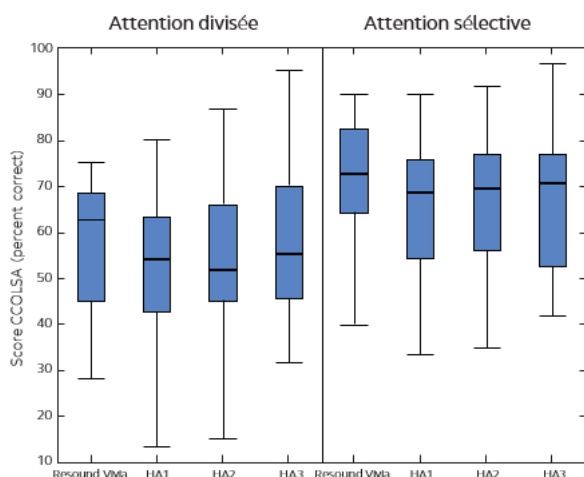


Figure 3. Les scores CCOLSA mesurés pour ReSound Vivia et les aides auditives de trois autres grandes marques (médianes et intervalles interquartiles) sont présentés avec, à gauche, les résultats pour la tâche d'attention divisée et, à droite, les résultats pour la tâche d'attention sélective.

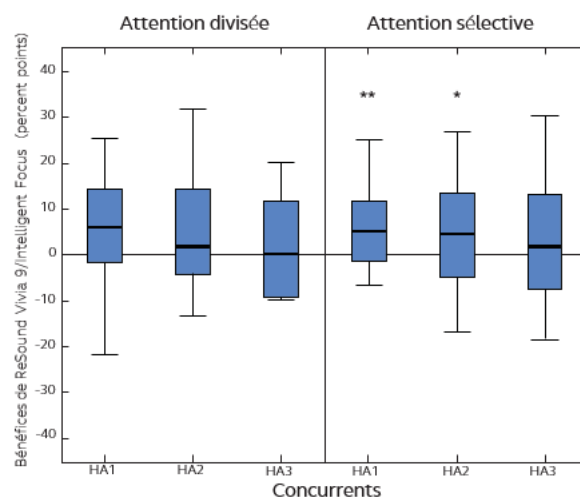


Figure 4. Bénéfice de ReSound Vivia 9 par rapport à trois aides auditives d'autres marques haut de gamme (médianes et intervalles interquartiles). Les résultats pour la tâche d'attention divisée sont présentés à gauche, tandis que la tâche d'attention sélective est présentée à droite. Les différences statistiquement significatives par rapport à zéro sont indiquées par des astérisques. Une différence positive indique qu'un bénéfice plus important a été observé avec ReSound Vivia 9 qu'avec l'autre aide auditive.

La figure 4 montre le bénéfice pour ReSound Vivia 9 par rapport à chacune des trois aides auditives des autres marques. La valeur zéro sur ce graphique signifie qu'il n'y a pas de différence de bénéfice entre l'autre aide auditive et ReSound Vivia 9. Une valeur positive indique que le bénéfice était plus grand avec ReSound Vivia 9 qu'avec l'autre aide auditive. Toutes les données sont distribuées normalement (test de Shapiro-Wilk, $p > 0,05$ pour toutes les conditions). Pour 5 des 6 comparaisons entre les trois aides auditives sur les deux tâches, le bénéfice était plus grand pour ReSound Vivia 9. Pour la condition d'attention sélective, des bénéfices moyens statistiquement significatifs de 6,3 points de pourcentage par rapport à HA1 ($p=0.0038$, T-test; Cohens d: 0.55) et de 4,8 points de pourcentage par rapport à HA2 ($p=0.046$, T-test; Cohens d: 0.42) ont été trouvés. Le bénéfice moyen d'attention sélective pour HA3 (3,7 points de pourcentage) et les bénéfices pour la condition d'attention divisée (moyennes : 2,6 points de pourcentage pour HA1, 2,8 points de pourcentage pour HA2 et -1,4 point de pourcentage pour HA3) n'étaient pas significativement différents de zéro. Pour ces comparaisons, l'équivalence des résultats (ReSound Vivia comparée à chacune des aides auditives d'autres marques) a été démontrée à l'aide de tests TOST ($p > 0,05$ pour toutes les conditions).

L'Intelligent Focus de ReSound Vivia 9 atteint ou dépasse la référence du secteur pour les fonctionnalités basées sur des DNN en termes de reconnaissance de la parole lors d'une tâche d'attention sélective écologiquement valide et atteint la référence du secteur pour une tâche de reconnaissance de la parole en attention divisée. Comme mentionné précédemment, les aides auditives ont des objectifs communs lorsqu'elles utilisent des DNN : offrir aux utilisateurs une bonne expérience d'écoute dans des situations complexes où ils souhaitent suivre des conversations. Mais les détails de la façon dont les DNN sont appliqués diffèrent. Seules ReSound et une autre marque utilisent actuellement des DNN dans le traitement du signal pour obtenir un débruitage. Dans ce test, l'autre marque était HA1, et le bénéfice de la solution ReSound s'est avéré significativement supérieur. Cela signifie que le débruitage ReSound est actuellement en tête en termes de reconnaissance de la parole dans le bruit avec attention sélective et présente de solides performances, supérieures ou équivalentes aux solutions qui utilisent des DNN pour contrôler automatiquement les fonctionnalités de gestion du bruit.

Résultats d'efforts d'écoute

Les résultats d'effort d'écoute sont présentés à la figure 5. Elle montre le rapport signal sur bruit mesuré pour les catégories d'évaluation « aucun effort », « effort moyen » et « effort extrême » pour chacune des conditions d'aides auditives. Pour « aucun effort », des RSB médians de 7,5 dB (ReSound Vivia 9), 7,5 dB (HA1), 8,4 dB (HA2) et 7,4 dB (HA3) ont été mesurés. La catégorie « effort moyen » a été évaluée à -1,4 dB (Vivia), -1,1 dB (HA1), -1,4 dB (HA2) et -1,5 dB (HA3) de RSB médian. « Effort extrême » a été observé pour des RSB médians de -8,7 dB (Vivia), -11,6 dB (HA1), -9,5 dB (HA2) et -11,5 dB (HA3). Les statistiques n'ont pas montré de différences significatives entre les aides auditives pour les trois catégories d'effort d'écoute. (TOST-test, all $p>0.05$).

Le test ACALES a été développé pour définir le RSB à des niveaux différents d'effort d'écoute, notamment pour le point milieu de l'échelle, où l'échelle ACALES montre « effort moyen » ou une valeur catégorielle de 7. Dans la présente étude, nous avons mesuré « effort moyen » à -1,4 dB de RSB avec ReSound Vivia 9 avec Intelligent Focus. Pour la parole dans la parole, il a été rapporté que les personnes malentendantes non appareillées montrent un effort d'écoute moyen sur l'ACALES à environ +2 dB de RSB¹¹, alors que les personnes normoentendantes évaluent l'effort d'écoute moyen à des RSB entre -4 dB et 0 dB pour des masques comparables¹². L'expérience clinique de test de personnes malentendantes appareillées dans des conditions similaires de parole dans la parole a généralement montré des évaluations d'effort moyen proches de 0 dB de RSB. En tenant compte de cela, l'effort d'écoute subjectif ressenti par nos participants pour toutes les aides auditives testées, y compris ReSound Vivia 9, s'est produit à un RSB plus défavorable que ce à quoi nous nous attendions sur la base de notre expérience clinique, à un RSB beaucoup plus défavorable

que celui des personnes malentendantes non appareillées, et dans la plage de RSB qui a été rapportée pour les personnes normo-entendantes. Cela confirme que les aides auditives actuelles avec des fonctionnalités de gestion du bruit pilotées par DNN, y compris ReSound Vivia 9 avec Intelligent Focus, fournissent un faible effort d'écoute rapprochant les utilisateurs d'aides auditives de l'expérience des personnes normo-entendantes dans des environnements où la parole est modérément forte.

Conclusions

- ReSound Vivia 9 avec Intelligent Focus a surpassé deux des aides auditives d'autres marques et a été au même niveau que la troisième marque en termes de reconnaissance de la parole dans le bruit lors d'un test d'attention sélective.
- Les quatre marques d'aides auditives ont fourni des performances équivalentes en termes d'effort d'écoute au test ACALES.

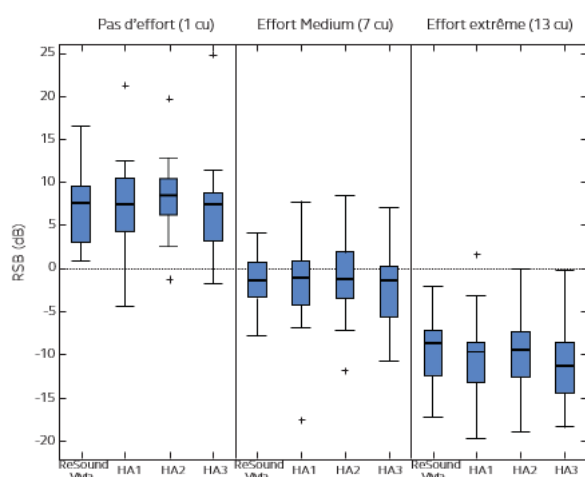


Figure 5. Résultats ACALES mesurés pour les quatre conditions d'aides auditives (médianes et intervalles interquartiles). Le panneau de gauche montre le RSB pour l'évaluation « aucun effort », le panneau central montre le RSB pour « effort moyen » et le panneau de droite pour « effort extrême »

1. Schumacher J, Groth J. Intelligent Focus: How deep learning augments human intelligence. ReSound white paper. 2025.
2. Stender T, Castro K. An overview of DNN and its implementation in ReSound hearing aids. ReSound white paper. 2026.
3. Shinn-Cunningham BG, Ihlefeld A. Selective and Divided Attention: Extracting Information from Simultaneous Sound Sources. In Proceedings of ICAD 2004 Jul, Sydney.
4. Jespersen, CT, Dieu, Rubachandran, T. Organic Hearing drives user preference for Intelligent Focus. ReSound white paper. 2025.
5. Heeren, J., Nuesse, T., Latzel, M., Holube, I., Hohmann, V., Wagener, K. C., & Schulte, M. The Concurrent OLSA test: A method for speech recognition in multi-talker situations at fixed SNR. Trends in Hearing. 2022; 26, 23312165221108257.
6. Heeren, J., Hohmann, V., Schulte, M., & Wagener, K. C. Adaptive CCOLSA: Cognitive Overload Thresholds in a Multi-Talker Speech Test. In Forum Acusticum 2023.
7. Bisgaard N., Vlaming M.S.M.G., Dahlquist M. Standard audiograms for the IEC 60118-15 measurement procedure. Trends Amplfi. 2010 Jun;14(2):113-20. doi: 10.1177/1084713810379609.
8. Wagener, K.C., Kühnel, V., Kollmeier, B. Entwicklung und Evaluation eines Satz-tests in deutscher Sprache I: Design des Oldenburger Satztests. Z Audiol 1999;38 (1), 4-15.
9. Holube, I., Fredelake, S., Vlaming, M., Kollmeier, B. (2010). Development and analysis of an International Speech Test Signal (ISTS). Int J Audiol. 2010 Dec;49(12):891-903. doi: 10.3109/14992027.2010.506889.
10. Krueger, M., Schulte, M., Brand, T., Holube, I. Development of an adaptive scaling method for subjective listening effort. Journal of the Acoustical Society of America. 2017;141(6): 4680. doi: 10.1121/1.4986938
11. Ibelings S, Schulte M, Krüger M, Holube I. Audiovisuelle Realisierung des subjektiven Höranstrengungsmessverfahrens ACALES. GMS Z Audiol (Audiol Acoust). 2020;2:Doc04
12. Rennie J, Best V, Roverud E, Kidd Jr G. Energetic and informational components of speech-on-speech masking in binaural speech intelligibility and perceived listening effort. Trends in Hearing. 2019 Jun; 23, 2331216519854597.

Siège Mondial
GN Hearing A/S
Lautrupbjerg 7
DK-2750 Ballerup
Denmark
Tel.: +45 4575 1111
gnhearing.com

CVR no. 55082715