Impact de la réhabilitation auditive sur l'effort cognitif d'écoute des personnes malentendantes

Mathieu Ferschneider

▶ **To cite this version:**

Mathieu Ferschneider. Impact de la réhabilitation auditive sur l'effort cognitif d'écoute des personnes malentendantes. Neurosciences. Université de Lyon, 2021. Français. NNT : 2021LYSE1298 . tel-03735380

HAL Id: tel-03735380

https://theses.hal.science/tel-03735380

Submitted on 21 Jul 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

N°d'ordre NNT : 2021LYSE1298

THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LYON
opérée au sein de
l'Université Claude Bernard Lyon 1

Ecole Doctorale N° ED 476
Neuroscience et cognition

Spécialité de doctorat : Neuroscience

Soutenue publiquement le 06/12/2021, par :
Mathieu Ferschneider

Impact de la réhabilitation auditive sur l'effort cognitif d'écoute des personnes malentendantes

---

Devant le jury composé de :

Pr Naïma DEGGOUJ (Rapporteure)
Pr Paul AVAN (Rapporteur)
Pr Guillaume ANDEOL (Examinateur)
Pr Valérie FRANCO-VIDAL (Examinatrice)
Pr Yves ROSSETTI (Président du jury)
Dr Annie MOULIN (Directrice de thèse)

Université Claude Bernard – LYON 1

Président de l'Université	M. Frédéric FLEURY
Président du Conseil Académique	M. Hamda BEN HADID
Vice-Président du Conseil d'Administration	M. Didier REVEL
Vice-Président du Conseil des Etudes et de la Vie Universitaire	M. Philippe CHEVALLIER
Vice-Président de la Commission de Recherche	M. Petru MIRONESCU
Directeur Général des Services	M. Pierre ROLLAND

COMPOSANTES SANTE

Département de Formation et Centre de Recherche en Biologie Humaine	Directrice : Mme Anne-Marie SCHOTT
Faculté d'Odontologie	Doyenne : Mme Dominique SEUX
Faculté de Médecine et Maïeutique Lyon Sud - Charles Mérieux	Doyenne : Mme Carole BURILLON
Faculté de Médecine Lyon-Est	Doyen : M. Gilles RODE
Institut des Sciences et Techniques de la Réadaptation (ISTR)	Directeur : M. Xavier PERROT
Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques (ISBP)	Directrice : Mme Christine VINCIGUERRA

COMPOSANTES & DEPARTEMENTS DE SCIENCES & TECHNOLOGIE

Département Génie Electrique et des Procédés (GEP)	Directrice : Mme Rosaria FERRIGNO
Département Informatique	Directeur : M. Behzad SHARIAT
Département Mécanique	Directeur M. Marc BUFFAT
Ecole Supérieure de Chimie, Physique, Electronique (CPE Lyon)	Directeur : Gérard PIGNAULT
Institut de Science Financière et d'Assurances (ISFA)	Directeur : M. Nicolas LEBOISNE
Institut National du Professorat et de l'Education	Administrateur Provisoire : M. Pierre CHAREYRON
Institut Universitaire de Technologie de Lyon 1	Directeur : M. Christophe VITON
Observatoire de Lyon	Directrice : Mme Isabelle DANIEL
Polytechnique Lyon	Directeur : Emmanuel PERRIN
UFR Biosciences	Administratrice provisoire : Mme Kathrin GIESELER
UFR des Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (STAPS)	Directeur : M. Yannick VANPOULLE
UFR Faculté des Sciences	Directeur : M. Bruno ANDRIOLETTI

Remerciements

Je tenais à remercier en premier lieu le Docteur Annie Moulin sans qui cette thèse n'aurait pu être possible tant sur le point administratif que scientifique. Un grand merci aussi pour les connaissances transmises et le soutien apporté.

Je remercie aussi les Docteurs Anne Caclin, Agathe Pralus, Pierre Emmanuel Aguera qui ont développé les tests de mémoire à court terme et nous ont fait confiance pour les utiliser dans le cadre de cette thèse. Plus généralement, je tenais à remercier toute l'équipe PAM pour le chaleureux accueil et la bienveillance qu'ils ont eus à mon égard durant toute la thèse.

Je remercie également le groupe Luz qui par l'intermédiaire de la convention Cifre a financé ces trois années de thèse. Les travaux décrits ont également été financés également par la Région Auvergne Rhône Alpes (ARA), dans le cadre du pack ambition recherche (2017-2022), projet "Effecbruit".

Je tiens à remercier le Pr Naïma Deggouj ainsi que le Pr Paul Avan d'avoir accepté d'être rapporteurs de ce travail de doctorat ainsi que le Pr Valérie Franco-Vidal, le Pr Guillaume Andéol et le Pr Yves Rossetti d'avoir accepté de faire partie de mon jury. Je remercie également le Dr Valérie Gaveau et le Dr Fabrice Giraudet d'avoir accepté de faire partie de mon comité de suivi de thèse.

Je remercie tous mes collègues et amis d'Audition Conseil et tout particulièrement le Professeur Stéphane Gallego, dont le soutien sans faille m'a permis de réaliser cette thèse dans les meilleures conditions possibles.

Je tiens aussi à remercier mes proches, mes amis et ma famille qui ont toujours su trouver le temps et l'énergie pour soutenir mon travail et mes efforts pendant ces années intenses. Tout particulièrement ma femme qui a toujours su trouver les mots, le soutien et la patience nécessaire afin que je puisse mener ce travail à terme. Mes parents et ma sœur, soutien inconditionnel et toujours présents depuis le début de cette aventure.

Bien sûr, je n'oublie pas mes enfants dont la joie et l'énergie ont souvent été une source de motivation !

Merci à Lou et Jérémie compère de galère de thèse pour tous les « tuyaux » qui m'ont fait gagner un précieux temps et pour tous les moments passés ensemble ! Merci aussi au reste de la team PAM : Agathe, Salomé, Rémy, Roxane. Bien sûr merci les cheffes Anne, Aurélie, Perrine et merci Martine pour tout l'administratif géré. Je n'étais pas toujours très présent avec vous, mais le sentiment d'être aidé et de faire un peu partie de la famille ne m'a jamais quitté.

Enfin je n'oublie pas tous les acteurs de l'ombre de ce travail, merci aux patients ou sujets de leur participation et de leur patience et merci aussi à tous les étudiants et stagiaires qui ont partagé avec moi un peu de cette aventure et y ont pour la plupart grandement contribué.

Merci à Marine, Salomé, Éva, Laurène, Romane, Alexane, Jessie, Déborah, Ruth, Nicolas, Fanny, Céline, Nina et pardon d'avance à tous ceux que j'aurais pu oublier.

Résumé

Si la relation entre perte auditive et déclin cognitif est admise, le bénéfice de la réhabilitation auditive sur le déclin cognitif n'est pour le moment pas encore clairement établi. Afin d'explorer plus finement le lien entre réhabilitation auditive et cognition auditive, nous proposons une analyse sous l'angle de l'effort cognitif d'écoute. En effet, la prise en compte de cet effort d'écoute dans le quotidien des patients appareillés, et lors de réalisation de tâches d'intelligibilité dans le bruit, est indispensable pour mieux cerner la charge cognitive engendrée par la perte auditive et son implication dans le bénéfice de l'appareillage ressenti par le patient. L'objet de ce travail consiste donc à mieux comprendre les interrelations entre réhabilitation auditive par appareillage auditif et effort cognitif d'écoute de patients malentendants, en intégrant différents aspects cognitifs comme la mémoire à court terme.

Le bénéfice rendu par les aides auditives peut être mesuré grâce à des indicateurs objectifs bien connus tels que le gain prothétique tonal et vocal ou encore la mesure du temps de port des aides auditives. Mais ces indicateurs rendent peu compte de l'implication des facteurs cognitifs. À l'inverse, une évaluation subjective par le biais de questionnaires permet de s'intéresser aux habitudes auditives quotidiennes du patient et à leurs capacités auditives lors des situations de communication qu'ils rencontrent le plus fréquemment. Après une présentation des différents questionnaires utilisés en audioprothèse, nous proposons la validation d'une version française du questionnaire de satisfaction vis-à-vis de l'appareillage auditif (SADL de Cox & Alexander) et l'élaboration d'un nouveau questionnaire s'intéressant à l'écoute musicale des patients appareillés. Puis, nous présenterons la création et validation d'un questionnaire d'effort cognitif d'écoute (Extended Effort Assessment Scale) et ses interrelations avec un questionnaire d'habiletés auditives (Speech Spatial Qualities of hearing scale). Enfin, après une revue des différents outils de mesure des capacités cognitives adaptés au patient appareillé, nous présenterons les résultats d'une étude pilote sur le lien entre mémoire à court terme, capacité cognitive, effort d'écoute et intelligibilité dans le bruit chez le patient appareillé.

La version française du SADL, validée chez 150 patients, a montré une bonne cohérence interne et des résultats comparables à ceux de la littérature internationale. Le questionnaire d'effort d'écoute dans la vie quotidienne a été validé dans une population de près de 500 patients, et a montré des liens spécifiques avec l'appareillage auditif, avec un effort d'écoute dépendant plus de l'expérience d'appareillage des patients et de l'âge de leur aide auditive actuelle, que de leur perte auditive. Nous avons montré que ce questionnaire est plus sensible aux problèmes d'appareillage, et permet d'explorer des aspects complémentaires par rapport au questionnaire d'habiletés auditives. Enfin, une évaluation du lien entre intelligibilité dans le bruit et capacités cognitives a permis de montrer la faisabilité de tests auditifs novateurs implémentés sur tablette en cabinet d'audioprothèse, et a permis la mise en évidence de l'importance de la mémoire à court terme verbale et musicale dans la perception de la parole dans un bruit de voix mélangées.

L'utilisation de ces nouveaux outils d'évaluation des besoins du patient et du bénéfice de l'aide auditive, en prenant en compte ses capacités auditives, cognitives, ainsi que ses situations de communication de la vie quotidienne, représente une nouvelle source

d’informations indispensables pour adapter au mieux le réglage de l’aide auditive aux besoins du patient.

Mots clés : Effort d’écoute, cognition, aides auditives, mémoire à court terme, perception de la parole dans le bruit, questionnaires, musique, habiletés auditives

Abstract

While the relationship between hearing loss and cognitive decline is accepted, the benefit of hearing rehabilitation on cognitive decline is not yet clearly established. In order to explore more precisely the link between auditory rehabilitation and auditory cognition, we propose an analysis of the listening cognitive effort.
It's also essential to take this listening effort into account in the daily life of patients with hearing aids, and when performing intelligibility tasks in noise, in order to better understand the cognitive load generated by hearing loss and its implication in during the hearing aids rehabilitation. The aim of this work was therefore to better understand the interrelationships between auditory rehabilitation by hearing aids and the cognitive effort of listening to hearing-impaired patients, by providing various cognitive aspects such as short-term memory.

The benefit of hearing aids can be measured using well-known objectives measures such as tonal and vocal prosthetic gain or even the measurement of the wearing time of hearing aids. But these measures take little account of the involvement of cognitive factors. Conversely, a subjective evaluation by means of questionnaires makes it possible to focus on the patient's daily hearing habits and their hearing capacities during the situations they encounter most frequently.
After a presentation of the various questionnaires used in hearing care professional, we propose the validation of a French version of a hearing aid satisfaction questionnaire (SADL from Cox & Alexander) and the development of a new questionnaire interesting in listening to the music of patients fitted with a hearing aid. Then, we will present the creation and validation of an Extended Effort Assessment Scale and its interrelations with a Speech Spatial Qualities of Hearing Scale. Finally, after a review of different tools for measuring cognitive abilities adapted to the patient with hearing aids, we will present the results of a pilot study on the link between short-term memory, cognitive ability, listening effort and intelligibility in noise in the patient. patient fitted.

The French version of the SADL, validated in 150 patients, showed good internal consistency and results comparable to those of the international literature. The listening effort questionnaire in daily life was validated in a population of nearly 500 patients, and showed specific links with hearing aids, with listening effort depending more on the experience of fitting of patients and the age of their current hearing aid, as well as their hearing loss. We have shown that this questionnaire is more sensitive to fitting problems, and allows exploration of additional aspects compared to the hearing skills questionnaire. Finally, an evaluation of the link between speech in noise and cognitive abilities has shown the feasibility of innovative hearing tests implemented on tablets in hearing care professional center, and has highlighted the importance of short-term memory. verbal and musical in the perception of speech in a sound of mixed voices. The use of these new tools for assessing the patient's needs and the benefit of the hearing aid, taking into account their hearing and cognitive abilities, as well as their everyday communication situations, represents a new source of essential information to adapt the best hearing aid fitting to the patient's needs.

Keywords: Listening effort, cognition, hearing aids, short-term memory, speech in noise perception, questionnaire, music, auditory abilities.

Table des matières

I. Définition de l'effort d'écoute et méthode de mesure 9

1. Brève histoire de la cognition 9

2. Au-delà de la perception auditive. 10

3. Lien entre audition et déclin cognitif 11

4. Aide auditive et cognition 12

5. L'effort d'écoute : une notion multifacette 18

6. Différents types de mesures de l'effort d'écoute. 19

a. Mesures objectives 19

b. Mesures subjectives 20

7. L'effort d'écoute une notion multidimensionnelle. 20

a. Fatigue ou effort d'écoute ? 20

b. Mesure-t-on toujours l'effort écoute ? 21

c. La notion de motivation dans l'effort d'écoute ressenti 21

d. Effort d'écoute et aides auditives 23

e. Vers un modèle plus écologique 24

II. Mesures comportementales de l'effort d'écoute par questionnaire 25

1. Les différents types de questionnaires existant en audiologie 25

2. Les différents types de questionnaires validés en français 26

a. Méthode de validation de questionnaires 26

b. Les questionnaires validés en français 33

i. Dépistage auditif (HIHE) 33

ii. Retentissement fonctionnel de la surdité (ERSA) 33

iii. Écoute spatiale (SHQ) 33

iv. Satisfaction et appareillage 34

1. Les questionnaires de satisfaction déjà validés 34

2. ETUDE 1 : Validation de la version Française du questionnaire de Satisfaction SADL (Satisfaction with Amplification in Daily Life) 35

3. ÉTUDE 2 : Développement d'un questionnaire de « loisirs auditifs » pour les porteurs d'aides auditives. 51

v. Audition du malentendant : questionnaire d'habiletés auditives (SSQ et intérêt d'une forme courte 64

3. Le cas particulier de l'effort d'écoute 74

a. Le questionnaire d'effort d'écoute (EAS) 74

b. ÉTUDE 3 : Une nouvelle version étendue du questionnaire d'effort d'écoute (EEAS) et relations avec les habiletés auditives mesurées avec le SSQ. 75

III. États cognitifs et effort d'écoute 144

1. Méthodes de mesure des capacités cognitives adaptées aux malentendants 144
a. Test de dépistage de troubles cognitifs : MOCA (MOntreal Cognitive Assessment) 145
b. Test d'attention et de flexibilité mentale : Trail Making Test 147
c. Test visuospatial : Cubes de Corsi 148
d. Test de vocabulaire : Mill-Hill 149
e. Tests de mémoire à court terme. 150
2. ÉTUDE 4 : Lien entre intelligibilité, état cognitif et effort d'écoute. 152
a. Influence des principes de conception des listes de mots sur les scores d'intelligibilité dans le bruit mesurés chez une population de sujets appareillés. 153
b. Un outil de mesure de l'intelligibilité dans le bruit pour s'affranchir au mieux de l'état cognitif du patient : le test AUDIMAGE. 162
c. Implication des facteurs cognitifs dans les scores d'intelligibilité dans le bruit mesurés chez une population de patients appareillés en lien avec l'effort d'écoute. 163
IV. Discussion 180
a. Complémentarité effort d'écoute et habileté auditive 180
b. Temps de port, satisfaction, capacité auditive et effort d'écoute 182
c. Questionnaire effort d'écoute et mesure par EVA. 184
d. Influence du vocabulaire sur l'effort d'écoute 185
e. Mémoire à court terme musicale et questionnaire musique 185
V. Conclusion 186
VI. Bibliographie 188
VII. Annexes 208
Annexe 1: publications et communications scientifiques liées à la thèse 208
Annexe 2 : résultats scientifiques complémentaires 212
Annexe 3 : Versions des différents questionnaires utilisés 223

I. Définition de l'effort d'écoute et méthode de mesure

1. Brève histoire de la cognition

L'effort d'écoute est étroitement lié à nos capacités cognitives, mais pour bien cerner son fonctionnement il est primordial de définir au préalable la notion de cognition.

Au 18ième siècle, à l'origine des neurosciences modernes, deux écoles s'affrontent concernant la compréhension de l'organisation du cerveau : les uns imaginaient le cerveau comme un ensemble homogène indivisible à l'origine des fonctions mentales et motrices tandis que les autres le voyaient comme un organe compartimenté en plusieurs zones avec pour chacune d'elle une fonction donnée (Vignaux, 2011). Cette dernière école sera à l'origine d'un courant très répandu à l'époque : la phrénologie. Le médecin autrichien Franz Joseph Gall, à l'origine de ce courant, prétendait alors que le cerveau fonctionnait comme un muscle avec une hypertrophie des régions les plus utilisées et une atrophie des régions les moins utiles.

La pseudo science que représentait la phrénologie avait cependant mis l'accent sur un point important : notre cerveau est bien divisé en régions et certaines d'entre elles sont impliquées dans des fonctions spécifiques. Cependant, l'absence de repères physiologiques n'a pas permis aux phrénologues de l'époque de comprendre l'exact modèle de fonctionnement de notre cortex.

Quelques années plus tard, l'histoire célèbre de l'accident de barre à mine de Phineas Gage(1848) et la lésion sclérotique de Victor Leborgne découvert par Paul Broca (1861) à l'origine de l'aire fonctionnelle du même nom ont posé les bases de la compréhension des différentes zones de fonctionnement de notre cerveau. Il faudra ensuite attendre le début du 20ième siècle et les découvertes des zones sensori-motrices de Penfield (1950) ou encore le modèle cytoarchitectonique de Brodmann (1905) pour obtenir une cartographie détaillée des différentes aires fonctionnelles du cerveau tel que nous les connaissons aujourd'hui (figure 1).

Figure 1 : Représentation des différentes aires fonctionnelles ("Atlas des juniors," 2005)

Grâce à cette cartographie, nous pouvons distinguer l'emplacement sur le cortex de chaque fonction cérébrale, mais cela ne permet cependant pas de comprendre le mécanisme de fonctionnement de la pensée.

Jusqu'à la fin des années 1950, l'étude du fonctionnement de la pensée était grandement influencée par la théorie du behaviorisme développée entre autres par Burrhus Frederic Skinner. Il s'agit d'un paradigme théorique où la psychologie est envisagée comme le reflet des comportements extérieurs (1953). Dans ce paradigme, les comportements observables seraient uniquement conditionnés par des réponses réflexes à un stimulus donné. En réponse à cette approche, émerge à partir de 1956 le cognitivisme qui considère le mécanisme de la pensée comme un traitement global de l'information et plus seulement comme une succession de réponses à l'environnement extérieur. Avec le cognitivisme on s'intéresse alors aux stratégies mentales mises en jeu pour résoudre une tache. Cette révolution cognitive est à mettre en parallèle avec l'essor de l'informatique moderne et le développement de l'intelligence artificielle. La conférence fondatrice de cette discipline en 1956 consacrera d'ailleurs une partie de son programme à l'implication de l'intelligence artificielle en psychologie cognitive.

Pour mieux comprendre les mécanismes de la pensée, la psychologie cognitive s'intéresse ainsi à l'ensemble des processus mentaux liés à la fonction de connaissance , à savoir : l'étude du fonctionnement de la mémoire (mémoire de travail, mémoire sémantique, mémoire à long terme), de l'attention (sélective, divisée, soutenue), des fonctions exécutives (flexibilité mentale, planification, inhibition, contrôle moteur), mais aussi des capacités visuospatiales, du langage ou encore la résolution de problèmes.

2. Au-delà de la perception auditive.

Le domaine de l'audiologie a lui aussi été transformé par la révolution cognitiviste. Depuis les découvertes en neuroscience sur l'acclimatation auditive (Dawes et al., 2013; Gatehouse, 1998), la prise en charge des patients appareillés a profondément été modifiée. Au-delà de l'amélioration de l'audibilité apportée par l'aide auditive, la prise en charge des troubles auditifs ne se limite plus uniquement à une compensation purement acoustique, mais intègre l'ensemble des processus centraux et cognitifs dans la réhabilitation auditive. Les interactions entre audition et cognition représentent maintenant un réel sujet d'étude : La « Cognitive Hearing Science » (Arlinger et al., 2009a) dont le nombre de publications est en constante augmentation depuis 1994 (Figure 1).

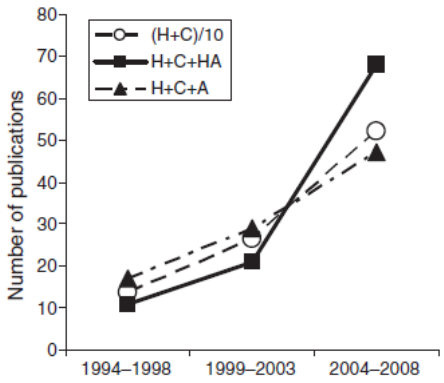


Figure 2 : nombre de publications relatives à l'effort d'écoute basé sur une recherche Pubmed®. Le nombre d'articles sur l'audition et cognition (nombre/10) est représenté par les cercles blancs, les triangles représentent la sous-catégorie audition, cognition et âge et les carrés représentent la sous-catégorie audition, cognition et aides auditives (Arlinger et al., 2009a).

3. Lien entre audition et déclin cognitif

La thématique audition/déclin cognitif n'est pas nouvelle puisque (Uhlmann et al., 1989) retrouvent déjà un lien entre perte d'audition et apparition d'une démence précoce. Depuis, plusieurs études ont ainsi montré l'association entre la perte auditive et le déclin cognitif, voire la démence (Lin et coll., 2013 ;Dawes, 2019a) avec un lien de plus en plus probable entre le maintien de l'audition et le maintien des capacités cognitives (Amieva et al., 2018; Frankish and Horton, 2017a; Gurgel et al., 2014; Lin et al., 2011, 2013b; Tomioka et al., 2015). L'étude internationale « Global Burden Disease » (Vos et al., 2017) place la perte auditive en 3^{e} position parmi les handicaps les plus prévalents dans le monde (en années vécues avec un handicap, ou Years lived with disease : YLD) et la commission internationale de prévention de la démence place la perte auditive comme le premier facteur, potentiellement modifiable, parmi les facteurs de risque de démence, avec une diminution éventuelle de 9% des cas de démence si la perte auditive apparue à un âge moyen était éliminée (Livingston et al., 2017). Plusieurs mécanismes peuvent être à l'origine d'un tel lien (Uchida et al., 2019) : (1) ***l'existence de facteurs communs,*** neurologiques, à l'origine de la perte auditive et de la démence (2) ***l'impact du déclin cognitif sur les capacités auditives***, et notamment les processus centraux du traitement de l'information auditive, et (3) ***l'impact de la perte auditive sur les fonctions cognitives,*** avec la nécessité d'une réallocation de ressources cognitives pour maintenir une communication verbale correcte malgré une perception de la parole déficiente (hypothèse de la charge cognitive), ou encore, la détérioration cognitive comme conséquence directe de la perte auditive périphérique, avec appauvrissement des entrées auditives (Peelle and Wingfield, 2016) (hypothèse de la cascade). Des facteurs plus indirects peuvent être également identifiés, comme la perte auditive à l'origine d'un

amoindrissement des interactions sociales avec les situations d'isolement social et de dépression qui peuvent en résulter (Amieva et al., 2018). Une relation significative entre des interactions sociales pauvres et l'incidence de démence a été observée (Kuiper et coll., 2015) et la perte auditive, en tant que facteur de réduction des interactions sociales, a été montrée comme participant à la perte d'autonomie des personnes âgées.

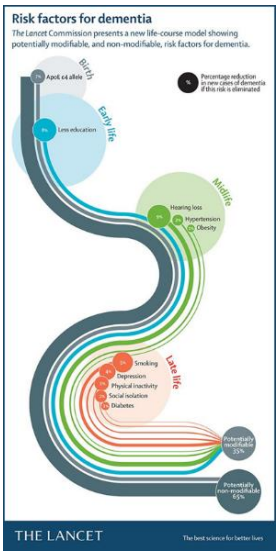


Figure 3 : Facteurs de risque influençant l'apparition de la démence. La perte auditive étant perçue comme le 3e facteur derrière l'âge et l'éducation (Frankish and Horton, 2017b).

4. Aide auditive et cognition

Si la relation entre perte auditive et déclin cognitif accéléré est bien établie, le bénéfice de la réhabilitation auditive sur le déclin cognitif a fait l'objet de relativement peu d'études, avec des résultats mitigés. En effet l'étude portant sur l'analyse des capacités auditives et cognitives de 3620 individus sur 25 ans (cohorte PAQUID) (Amieva et al., 2018) semble retrouver un déclin cognitif moins important chez les sujets porteurs d'aides auditives. Cependant, les informations concernant les sujets appareillés restent faibles et aucune information par exemple sur le temps de port de l'appareil ou le niveau de correction n'est recensé, et après l'intégration d'autres facteurs comme la dépression ou les facteurs sociaux, l'interaction du modèle présenté n'est plus significative. Tout comme pour la cohorte PAQUID, l'étude épidémiologique portant sur le lien entre perte d'audition et capacités cognitives chez 3075 individus de Baltimore âgés de 70 à 79 ans (cohorte Health ABC)(Lin et al., 2013b) retrouve de meilleures performances chez les sujets appareillés, mais la grande différence d'effectif entre le groupe de patients appareillés (N=13) et le nombre total d'individus intégrés dans l'analyse (N=605)

rendent les résultats présentés très discutables. Une autre étude visant à modéliser par le biais d'équations structurelles le lien entre perte auditive et cognition (Dawes et al., 2015)a mis en évidence un lien entre aide auditive et déclin cognitif, mais ce dernier reste faible aux regards des autres facteurs testés (figure 4).

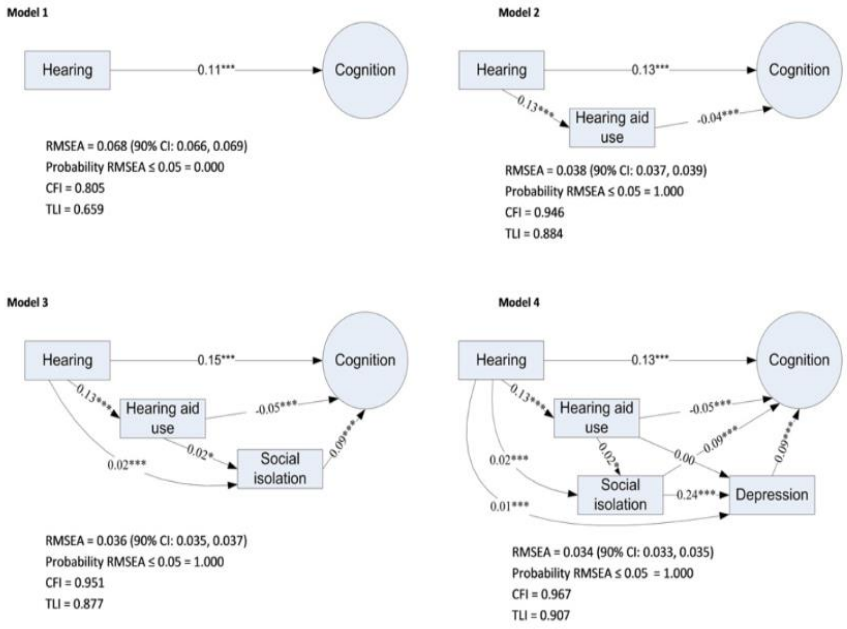


Figure 4 : modèle d'équation structurelle entre les différents facteurs testés :

*audition, cognition, utilisation d'aides auditives, isolement social et dépression. Notes: *** p <0,001, * p <0,05. Erreur quadratique moyenne de l'approximation (RMSEA). Une valeur inférieure à 0,05 indique un bon ajustement. Indice d'ajustement comparatif (IFC) et indice de Tucker Lewis (TLI), avec un nombre supérieur à 0,95 indiquant un bon ajustement. (Dawes et al. 2015)*

Enfin plus récemment une étude transversale (Maharani et al., 2018) retrouve chez 2040 sujets âgés appareillés (Figure 5) un ralentissement du déclin des capacités de mémoire épisodique corrélé avec la précocité d'appareillage, mais là encore les résultats sont à relativiser du fait de la part importante de l'effectif testé (40%) déclarant ne jamais porter leur aide auditive.

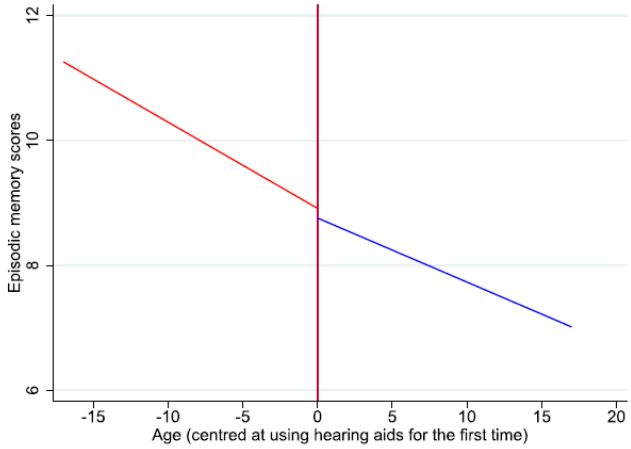


Figure 5 : capacité mémoire épisodique en fonction de la durée d'appareillage (Mahari et al. 2018)

Ainsi, depuis quelques années les résultats retrouvés dans la littérature tendent à montrer un réel apport de l'appareillage auditif sur les fonctions cognitives. Le manque de résultats probants retrouvés concernant l'effet de l'appareillage auditif sur le déclin cognitif peut s'expliquer par la conception du protocole de recherche mis en place. En effet, de telles études impliquent un suivi longitudinal sur de nombreuses années après une réhabilitation auditive. Or, un groupe contrôle de patients non appareillés suivis sur une longue durée est difficilement envisageable pour des raisons éthiques évidentes. On retrouve cependant dans la littérature, une étude (van Hooren et al., 2005) menée sur 1 an et portant sur l'évolution des capacités cognitives de 56 patients appareillés en comparaison d'un groupe contrôle de 46 individus non appareillés et avec une perte d'audition équivalente. Aucune différence significative dans l'évolution des capacités cognitives des individus appareillés en comparaison avec le groupe contrôle n'a été retrouvée. Une autre étude sur l'effet de l'appareillage auditif réalisée en double aveugle sur deux groupes de sujets âgés sourds atteints de la maladie d'Alzheimer s'est intéressée à l'évolution de leurs performances cognitives (Nguyen et al., 2017) et à l'évolution de leur qualité de vie (Adrait et al., 2017). Dans le premier groupe, les sujets étaient appareillés en contour d'oreille conventionnel. Le second groupe (placebo) était équipé d'aides auditives factices pendant les 6 premiers mois puis était appareillé à leur tour. Là encore, aucune évolution significative sur les performances cognitives ni la qualité de vie de ces patients n'a pu être retrouvée. Mais pour ces deux études, l'absence d'information concernant l'amplification délivrée par l'aide auditive, la quantité de

correction apportée, le type de perte auditive, le temps de port réel des appareils et les conditions d'écoutes rencontrées rendent ces résultats tout aussi discutables. Par ailleurs, aucun contrôle précis du bon état de fonctionnement quotidien des aides auditives n'a pu être relevé. Or du fait des troubles mnésiques, omniprésents par exemple chez les patients Alzheimer, le fait d'observer par un questionnaire le port des aides auditives sur les oreilles n'est surement pas suffisant pour contrôler l'efficacité de la stimulation auditive délivrée. A ces difficultés se surajoute la problématique de l'observance du traitement : d'après une étude britannique 29% des porteurs d'aides auditives ne les utilisent pas ou très peu (moins de 4h par jour) (Aazh et al., 2015).

Dans le cadre de cette prise en compte de l'observance du port de l'aide auditive, une étude (Palmer et al., 1999) s'est intéressée aux modifications comportementales liées à la mise en place d'une aide auditive monaurale sur 8 patients sourds bilatéraux atteints de la maladie d'Alzheimer. Pour tous les sujets, on retrouve une amélioration comportementale (tableau 1) avec une amélioration significative de l'humeur des sujets (moins d'émotions négatives chez 4/8 patients), les aidants relèvent aussi beaucoup moins d'oubli chez 5 d'entre eux, et une diminution significative de la difficulté de communication chez 3 d'entre eux.

Table 3. Wilcoxon Signed Ranks Test (*Z*) results ($p \leq .05$ indicates a significant change).

Dyad #	Behavior	Mean rank baseline	Mean rank treatment	*Z* score	2-tailed *p*
1	Searching	127.91	58.73	−8.94	.0000
	Negative statements	113.14	72.42	−7.15	.0000
	Repeating questions	121.48	64.69	−7.85	.0000
2	"I can't hear you"	58.41	19.69	−7.46	.0000
	Negative statements	55.98	22.51	−6.63	.0000
	Forgetting	51.51	27.70	−4.61	.0000
	TV/radio too loud	57.33	20.95	−7.34	.0000
3	Negative statements	40.03	24.42	−2.48	.0132
4	Forgetting	72.61	25.85	−8.34	.0000
	Acts restless	57.36	39.58	−3.89	.0001
5	TV/radio too loud	64.37	26.54	−5.88	.0000
	"I can't hear you"	64.43	26.35	−5.68	.0000
6	Forgetting	82.16	40.97	−6.29	.0000
	Pacing	70.66	55.55	−2.35	.0189
7	"Hearing things"	57.19	17.45	−5.87	.0000
	Forgetting	56.32	20.57	−5.28	.0000
	Negative statements	56.22	20.93	−5.22	.0000
8	Forgetting	47.26	36.06	−2.12	.0340

Tableau 1 : diminution significative des problèmes de comportement chez des sujets Alzheimer avant et après appareillage. (Palmer et al.,1999)

Contrairement aux travaux cités précédemment (Adrait et al., 2017; Nguyen et al., 2017), une relève du temps de port des aides auditives en nombre d'heures par jour a été effectuée et la quasi-totalité (7 patients

sur 8) des patients testés réussissait à porter leur aide auditive presque sur une journée entière (entre 7 et 12h par jour) (tableau 2).

Subject	Average hours of hearing-aid use	Number of behaviors identified	Number of behaviors changed	Average reliability (%)
1	12	3	3	100
2	13	4	4	89
3	11	3	1	97
4	10	2	2	90
5	7	3	2	87
6	4	3	2	97
7	8	4	3	100
8	8	4	1	97

Tableau 2 : temps de port des aides auditives en nombre d'heures par jour, par patient et par nombre d'aidants identifié. (Palmer et al.,1999)

Par ailleurs, lorsque l'on s'intéresse de plus près à l'évolution comportementale de chaque patient tout au long de l'étude, comme présentée par exemple ci-dessous sur la figure 6 pour le patient 1, on remarque que la diminution des troubles comportementaux retrouvée chez chacun d'eux s'avère être inversement proportionnelle au temps de port de leur aide auditive. En effet pour le patient 1 on remarque après la mise en place de l'aide auditive, une nette diminution des comportements de recherche au quotidien, une nette diminution voire une suppression de l'apparition quotidienne de pensées négatives accompagnée d'une disparition des rappels faits par le patient concernant une question qui lui est posée. On retrouve par la suite des schémas similaires pour chacun des autres patients testés dans l'étude. Il est d'ailleurs intéressant de noter que pour le patient 3 (figure 11), présentant une démence avancée (score Mini-Mental State= 5), on observe une suppression des pensées négatives laissant supposer une amélioration significative de la qualité de vie chez ces sujets dont la démence s'avère être déjà très prononcée.

Ainsi, l'observance plus fine du port des aides auditives semble conduire à des résultats plus encourageants concernant l'effet de l'aide auditive sur les capacités cognitives et la qualité de vie. Cependant, le choix d'une stimulation monaurale et le faible niveau d'information concernant la correction délivrée par les aides auditives rendent ces résultats discutables.

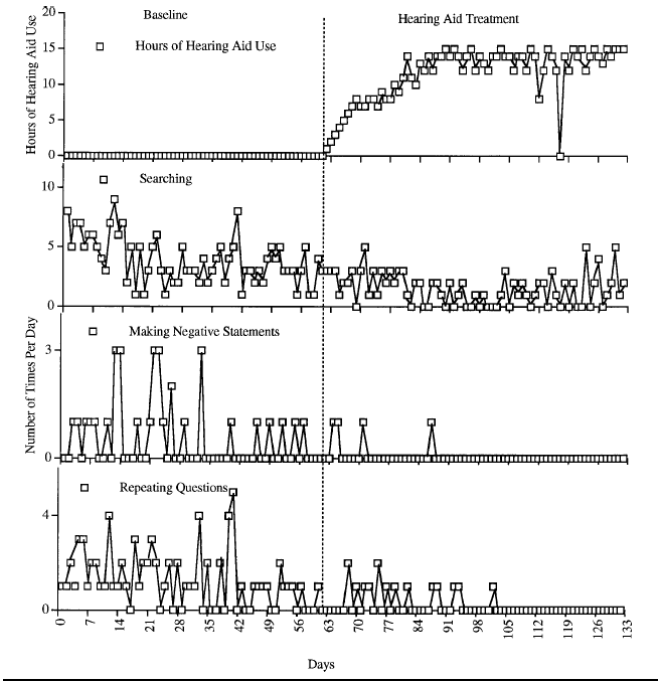


Figure 6: réduction des troubles comportementaux inversement corrélés au temps de port de l'aide auditive chez le patient 1. (Palmer et al.,1999)

Comme vu précédemment, le lien entre aide auditive et capacité cognitive n'est aujourd'hui pas clairement établi (Fortunato et al., 2016; Mamo et al., 2018). Cependant de nombreuses études tendent à retrouver un effet positif de l'aide auditive dans le maintien des capacités cognitives.

L'objet de ce travail de thèse consiste à mieux comprendre **l'impact d'une réhabilitation auditive par appareillage auditif sur les capacités cognitives de patients malentendants par le biais de la notion d'effort d'écoute et en intégrant une évaluation plus large des bénéfices rendus par l'appareillage auditif.**

Le bénéfice rendu par les aides auditives peut être mesuré grâce à des indicateurs objectifs bien connus tels que le gain prothétique tonal et vocal ou encore le temps de port mesuré des aides auditives. Cependant, ces indicateurs rendent peu compte de l'implication des facteurs cognitifs. Une évaluation subjective par le biais de questionnaires sur l'effort d'écoute perçu, le niveau de satisfaction ressenti, les capacités auditives autoévaluées ou encore le niveau de plaisir auditif perçu avec les aides auditives, devrait permettre une analyse plus large de bénéfices liés à l'appareillage.

Après avoir défini en détails la notion d'effort d'écoute, nous présenterons les différentes échelles de mesures utilisées en audiologie.

Puis, nous proposerons l'élaboration et la validation d'une version française du questionnaire de satisfaction vis-à-vis de l'appareillage auditif (« *Satisfaction with Amplification in Daily Living* » (SADL) (Cox and Alexander, 1999) et nous présenterons l'élaboration d'un nouveau questionnaire s'intéressant au bénéfice rendu par l'aide auditive sur l'écoute musicale, au sens large, des patients appareillés. Enfin nous présenterons la validation d'un questionnaire dédié à la mesure de l'effort d'écoute fourni au quotidien par les porteurs d'aides auditives et nous nous intéresserons à son utilisation combinée avec un questionnaire d'habiletés auditives déjà existant (15iSSQ)(Moulin et al., 2019a), sur une population de 481 patients appareillés.

Dans un second temps nous proposerons une revue des différents outils de mesure des capacités cognitives adaptés au patient appareillé et nous présenterons les résultats d'une étude menée sur le lien entre la mémoire à court terme, la capacité cognitive, l'effort d'écoute et l'intelligibilité dans le bruit de patients appareillés.

Toutes les études ont été réalisées en accord avec les règles du Règlement Général Européen sur la Protection des Données (RGPD) et ont été validées par deux comités de protection des personnes (CPP) de Grenoble Sud-Est V, France, ID-RCB 2019-A00629-48 et d'Ile de France II, ID RCB : 2021-A00076-35. Chaque participant a signé un accord de consentement éclairé.

5. L'effort d'écoute : une notion multifacette

La notion d'effort et de fatigue cognitive n'est pas nouvelle puisqu'il y a 100 ans, lors des conférences sur « la psychologie élémentaire du sentiment et de l'attention » (Titchener, 1908), on faisait déjà référence aux capacités limitées dans le temps de ce qui était appelé : « l'énergie psychique». Le récent modèle explicatif de l'effort d'écoute : le Framework for Understanding Effortful Listening (FUEL) (Pichora-Fuller et al., 2016), modèle qui s'intéresse à l'effort via les aspects auditifs et cognitifs (capacité d'attention d'inhibition, qualité de mémoire de travail) reprend aujourd'hui cette notion d'énergie psychique en définissant le concept d'énergie cognitive. Celle-ci implique que tout individu, confronté à une situation d'écoute difficile, affectera plus de capacités cognitives pour répondre à un stimulus auditif.

L'effort d'écoute peut être défini comme « l'effort mental requis pour écouter et comprendre un message auditif » (McGarrigle et al., 2014a) ou « la charge mentale requise pour surmonter les obstacles liés à l'écoute d'une scène auditive » (Pichora-Fuller et al., 2016a). Il met en jeu plusieurs fonctions cognitives comme l'attention, l'inhibition (Kahneman, 1973a), la mémoire de travail (Rudner et al., 2012) et est étroitement lié à l'âge du sujet (Degeest et al., 2015a; Ward et al., 2017a). Les capacités d'effort d'écoute sont aussi influencées par la fatigue ressentie et la motivation pour réaliser la tâche.

Le modèle explicatif de l'effort d'écoute (FUEL (Pichora-Fuller et al., 2016)) fait d'ailleurs apparaitre la motivation et le retour positif perçu dans l'exécution d'une tâche d'écoute comme les principaux facteurs d'influence de l'effort d'écoute.

L'effort d'écoute résulte ainsi de la combinaison entre difficulté de la tâche réalisée, capacité cognitive et motivation à réaliser la tâche. Cet aspect multidimensionnel rend par ailleurs la mesure de l'effort d'écoute d'un individu très dépendant de la méthode de mesure utilisée. Chaque méthode de mesure explore une dimension différente de l'effort d'écoute et les corrélations observées entre toutes les méthodes analysées restent faibles. (Alhanbali et al., 2019a; McGarrigle et al., 2014a)

6. Différents types de mesures de l'effort d'écoute.

Il existe plusieurs méthodes pour mesurer l'effort d'écoute d'un individu que l'on peut classer en deux catégories : les mesures objectives et les mesures subjectives.

Les mesures objectives correspondent aux méthodes de recueil de données qui ne nécessitent pas l'appréciation du sujet testé (exemple : poids, taille). À l'inverse les mesures subjectives prennent en compte le ressenti du sujet testé (exemple : échelle de douleur).

a. Mesures objectives

L'effort d'écoute fourni par un individu peut être obtenu en mesurant l'activité cérébrale lors de tâche d'intelligibilités, par électroencéphalographie (Bernarding et al., 2017; Giroud et al., 2017; Miles et al., 2017) qui est une mesure de l'activité électrique du cerveau pas le biais d'électrodes placées sur le cuir chevelu ou par spectrophotométrie infrarouge en champ proche(Andéol et al., 2017; Lawrence et al., 2018a; Rovetti et al., 2019a) qui mesure par le biais d'une lumière infrarouge diffusée à même le cuir chevelu, l'activité hémodynamique corticale produite en réponse à une activité corticale.

La conduction électrodermale qui consiste à mesurer la résistance de la peau à la conduction d'un stimulus électrique permet aussi une mesure indirecte de l'effort d'écoute (Giuliani et al., 2020; Holube et al., 2016). Enfin la pupillométrie par la mesure du diamètre de dilatation pupillaire lors de l'exécution d'une tâche d'intelligibilité rend compte de l'effort fourni par l'individu. (Naylor et al., 2018; Wagner et al., 2019; Winn et al., 2018)

b. Mesures subjectives

Certaines tâches comportementales comme la mesure du temps de réaction permettent de rendre compte de l'effort d'écoute perçu par l'individu. Un temps plus long étant associé à un effort fourni plus important (Giuliani et al., 2020). Le paradigme de double tâche est aussi utilisé pour mesurer cet effort. Dans cette épreuve, le sujet réalise simultanément une tâche primaire d'écoute, nécessitant une ressource cognitive importante (par exemple : une tâche d'intelligibilité dans le bruit) et une autre tâche secondaire (par exemple, tâche de suivi visuel). En augmentant les difficultés de la tâche primaire, la diminution des performances observées pour réaliser la tâche secondaire rend compte de l'effort d'écoute fourni. (Desjardins and Doherty, 2014; Ms and D, 2016, 2016)

L'effort d'écoute peut aussi être mesuré par le biais d'échelles visuelles analogiques, où l'individu devra autoévaluer l'effort d'écoute qu'il ressent après l'exécution d'une tâche d'intelligibilité dans le bruit (Bräcker et al., 2019) ou par le biais de questionnaires comportementaux comme l'index de charge mentale de la Nasa (Nasa task load index) (Hart and Staveland, 1988) qui évalue l'effort d'écoute sur six aspects (Mental Demand, Physical Demand, Temporal Demand, Performance, Effort, Frustration) et le questionnaire EAS (Extend Effort Assessment) qui s'intéresse à l'effort d'écoute ressenti dans différentes situations sonores du quotidien (Alhanbali et al., 2017). Plusieurs items du questionnaire SSQ (Speech Spatial and Qualities)(Gatehouse and Noble, 2004a) concernent aussi directement l'effort d'écoute requis pour la compréhension dans une situation d'écoute, par exemple l'item numéro 15 de la sous-échelle « qualité »: «*Devez-vous faire beaucoup d'efforts pour comprendre ce qui se dit au cours d'une conversation avec d'autres personnes ?*»

7. L'effort d'écoute une notion multidimensionnelle.

a. Fatigue ou effort d'écoute ?

La fatigue peut être définie par un *« État physiologique consécutif à un effort prolongé, à un travail physique ou intellectuel intense et se traduisant par une difficulté à continuer cet effort ou ce travail. » (Larousse, 2020)* Bien que le lien entre effort d'écoute et fatigue ne soit pas encore vraiment établi (McGarrigle et al., 2014a) un effort d'écoute prolongé peut amener à une fatigue ou « surcharge auditive » bien connues des sujets sourds (Kramer et al., 2006a). Le fait que ces deux variables (effort d'écoute et fatigue auditive) soient étroitement liées entre elles peut ainsi amener une confusion dans les résultats observés. En fonction de la tâche d'écoute à réaliser et de la méthode de mesure

utilisée, l'effort d'écoute observé dans les résultats peut en réalité s'apparenter plus à de la fatigue auditive (McGarrigle et al., 2014a).

Une récente étude (Alhanbali et al., 2019a) s'est intéressée au lien entre les différentes méthodes de mesure de l'effort d'écoute existantes. Cent seize participants normoentendants et sourds à différents degrés ont été soumis à plusieurs méthodes de mesure de l'effort d'écoute : pupillométrie, électroencéphalographie, conduction électrodermale , mesure de temps de réaction, questionnaire d'effort d'écoute (NASA Task Load Index) et un questionnaire de fatigue auditive (VAS-F(Lee et al., 1991). Après analyse, aucune corrélation n'a pu être retrouvée entre les différentes méthodes de mesure. Ces différences de résultats peuvent ainsi s'expliquer par l'aspect multidimensionnel de l'effort d'écoute dont la mesure ne dépend pas uniquement des capacités auditives du sujet testé.

À ces différences de mesure s'ajoute le manque de précision terminologique entre les différentes notions liées à l'effort d'écoute. L'utilisation d'une méthodologie de mesure similaire conduit parfois à une présentation des résultats très différentes entre deux publications. C'est le cas par exemple dans les mesures d'effort réalisées par pupillométrie où l'utilisation d'une même approche est à l'origine de différences retrouvées sur l'effort d'écoute(Koelewijn et al., 2012), la charge cognitive (Zekveld et al., 2014) ou l'effort cognitif (Piquado et al., 2010).

b. Mesure-t-on toujours l'effort écoute ?

Au-delà de l'aspect auditif, la notion d'effort d'écoute fait appel aux habiletés psychocognitives et psychosociales du sujet. Dans le modèle multidimensionnel de l'attention, Kahneman (1973) suggère que l'effort est : « *la conséquence de l'inadéquation entre les exigences cognitives d'une tâche et l'offre de ressources disponible* ». Cet aspect multidimensionnel a d'ailleurs été intégré dans l'élaboration du modèle explicatif de l'effort d'écoute : le Framework for Understanding Effortful Listening (FUEL) model (Pichora-Fuller et al., 2016a). L'utilisation isolée d'une méthode de mesure ne permet pas la prise en compte des multiples dimensions cognitives de l'effort d'écoute. Une utilisation complémentaire de ces différentes méthodes de mesure s'avère nécessaire afin de contrôler au mieux les facteurs cognitifs et de motivation inhérents à la mesure de l'effort d'écoute.

c. La notion de motivation dans l'effort d'écoute ressenti

Comme évoqué précédemment, le modèle FUEL (Pichora-Fuller et al., 2016a) s'intéresse aux différentes dimensions liées à l'effort d'écoute et la notion de motivation dans la réalisation de la tâche s'avère primordiale pour cerner les disparités de résultats liées non seulement à

la tâche demandée, mais également aux capacités du sujet. Que ce soit dans une mesure de pupillométrie ou lors d'une auto-évaluation de l'effort perçu après l'exécution d'une tâche d'intelligibilité dans le bruit, la motivation du sujet testé pour réaliser la tâche demandée va ainsi conditionner ses résultats. Si le niveau de difficulté est trop élevé pour ses capacités auditives, un sentiment de découragement et d'abandon risque d'engendrer une diminution des ressources cognitives allouées et par conséquent une diminution de l'effort mesuré. (Wagner et al., 2019) À l'inverse, un niveau d'implication très élevé risque d'accroitre l'effort d'écoute mesuré lors de la tâche et accélérer l'apparition d'une fatigue auditive.

Comme présenté ici (figure 7), l'augmentation de l'effort d'écoute au cours du temps est proportionnelle à la motivation du sujet pour réaliser la tâche auditive ainsi qu'à la quantité d'efforts à fournir pour extraire une information auditive (t1, t2). Ensuite lorsque l'augmentation de la difficulté de la tâche devient trop importante, on constate un effondrement de l'effort et de la motivation fournie (t3).

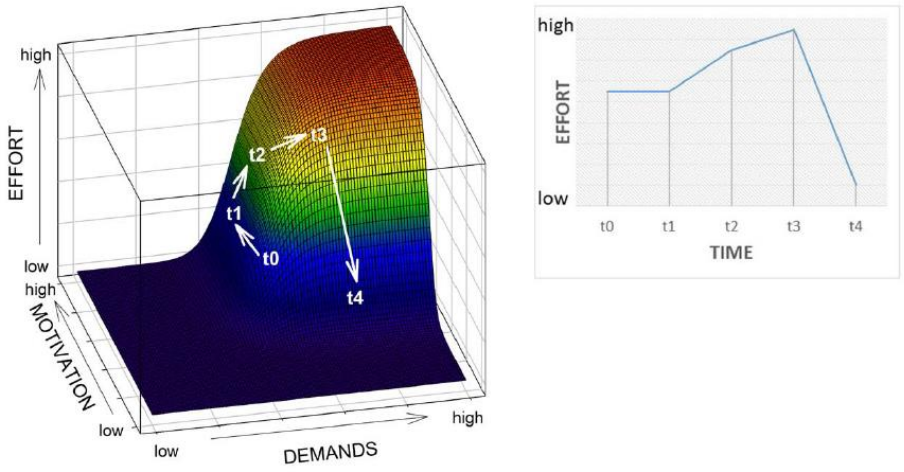


Figure 7 : représentation (partie gauche) des trois dimensions qui affectent l'effort d'écoute : la motivation, la demande et la quantité d'efforts à fournir pour réaliser la tâche auditive. Sur la droite, on retrouve un exemple illustré de l'évolution de l'effort dans le temps en fonction de ces 3 dimensions (Pichora-Fuller et al., 2016a).

A contrario, les mesures réalisées sur l'effort d'écoute par le biais de questionnaires semblent moins sensibles à la motivation du sujet testé. En effet, les réponses fournies ayant attrait au quotidien auditif, la notion de motivation liée à la difficulté de la tâche et à l'acceptation du protocole de test semblent moins importantes. En d'autres termes, pour le sujet testé s'interroger sur ses difficultés auditives peut paraitre plus motivant que de répéter une série de mots lors d'une tache d'intelligibilité dans le bruit par exemple. Cependant, même si ce type de mesures s'avère plus écologique, elles ne permettent pas de quantifier précisément l'effort d'écoute perçu dans une situation difficile puisque le

sujet aura tendance à éviter les situations auditives où l'effort d'écoute à fournir est trop important (par exemple un repas au restaurant ou une discussion dans un lieu très animé).

Enfin, le caractère ponctuel de la mesure d'effort d'écoute réalisée lors d'une tache d'intelligibilité en laboratoire est à distinguer de la mesure faite par questionnaire. Dans le premier cas, les résultats obtenus seront beaucoup plus sensibles à l'état cognitif et motivationnel du sujet au moment même du test, alors que la mesure de l'effort d'écoute fournie par le questionnaire correspondra à une mesure générale liée à ses capacités auto déclarée dans son quotidien.

d. Effort d'écoute et aides auditives

L'aide auditive étant calibrée pour restituer au mieux la parole et améliorer ainsi l'intelligibilité du patient, il est indispensable d'aborder les interactions entre cognition et aide auditive sous l'angle de l'effort d'écoute mis en jeu dans la compréhension de la parole. En effet, la perception de la parole n'implique pas seulement l'audibilité du signal acoustique, mais également tous les processus mentaux d'interprétation afin de comprendre le message de parole émis. Pour créer du sens à un message vocal souvent dégradé, le patient malentendant va mettre en place des mécanismes cognitifs de suppléance mentale qui permettent, à partir d'une simple portion de mot, d'en reconstituer la totalité (Gineste and Le Ny, 2002; Kathleen Pichora-Fuller, 2008). L'efficacité de ces mécanismes est dépendante du lexique interne du patient, de l'amorçage sémantique (présentation antérieure d'un autre mot sémantique proche), du voisinage phonologique (quantité de phonèmes communs entre plusieurs mots), de la longueur du mot en unités phonologiques et syllabiques et également de la fréquence d'occurrence de ces mots dans la langue parlée (Brysbaert et al., 2011; Goldinger, 1996; Rosenzweig and Postman, 1958; Savin, 1963).

Ainsi, la compréhension d'un message orale sera soumise d'une part à l'audibilité, et d'une autre part à la suppléance mentale (ou mécanismes cognitifs de type top-Down), dépendante de l'état cognitif des patients. De plus, il a été mis en évidence un effet de l'âge sur les mécanismes cognitifs de compensation de type top-Down de pertes auditives modérées (Benichov et al., 2012; Saija et al., 2014), mécanismes plus importants chez les personnes âgée(Kathleen Pichora-Fuller, 2008; Krull et al., 2013; Sheldon et al., 2008; Wingfield et al., 2005, 1991), probablement du fait de l'augmentation de leurs connaissances lexicales (Verhaeghen, 2003).

Ainsi le déficit de la perception de la parole peut être compensé, au moins partiellement, grâce aux mécanismes cognitifs (Stenfelt and Rönnberg, 2009). Cette compensation se fait souvent au prix d'un effort d'écoute intense, nécessitant une attention soutenue, pouvant entraîner une fatigue importante et le plus souvent sous-estimée.

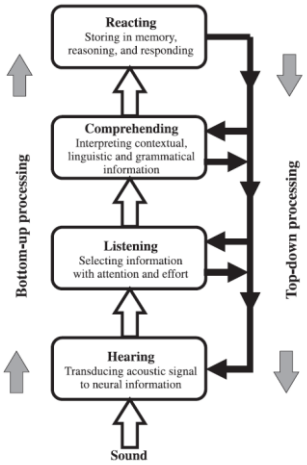


Figure 8 : Modèle représentant les processus « Top Down » et « Bottom-up » impliqués dans la compréhension de la parole (Stenfelt and Rönnberg, 2009)

Or, cet effort cognitif d'écoute est rarement évalué en clinique courante et un même score de perception de la parole chez deux patients appareillés peut impliquer un effort d'écoute très intense, ou au contraire, relativement faible. La prise en compte de cet effort d'écoute dans le quotidien des porteurs d'aides auditives, mais aussi lors de la réalisation de tâche d'intelligibilité dans le bruit est indispensable pour mieux cerner la charge cognitive engendrée par le port des aides auditives et son implication dans les résultats retrouvés avec l'appareil.

e. Vers un modèle plus écologique

La prise en compte de l'effort d'écoute dans la compréhension des difficultés auditives perçues par les patients appareillés permet une approche très écologique de leurs troubles auditifs (Keidser and Naylor, 2020). L'évaluation écologique peut être ainsi définie comme l'étude des capacités auditives du sujet dans un environnement sonore plus proche de son quotidien (Stone and Shiffman, 1994).

Récemment, de nouvelles méthodes de mesures expérimentales ont peu à peu vu le jour (Lunner et al., 2020; Smeds et al., 2020; Timmer et al., 2018a). Ainsi, rendre compte de l'effort d'écoute perçu de manière plus écologique s'avère indispensable pour mieux intégrer les différentes dimensions liées à ce concept. Dans le cadre de l'adaptation d'une

prothèse auditive, cette notion d'écologie auditive prend d'ailleurs tout son sens, puisqu'elle se doit de s'intégrer dans le quotidien du patient appareillé en prenant en compte la satisfaction et le service rendu par l'appareillage auditif.

II. Mesures comportementales de l'effort d'écoute par questionnaire

Avant de s'intéresser à la mesure de l'effort d'écoute par questionnaire il est primordial de détailler l'utilisation des questionnaires en audiologie afin de retracer au mieux le processus de création du questionnaire d'effort d'écoute. Après une brève présentation des différents questionnaires existant en audiologie, nous nous attarderons sur les questionnaires traduits, validés et utilisables en français.

1. Les différents types de questionnaires existant en audiologie

En audiologie, il existe aujourd'hui de nombreux questionnaires, une récente revue de la littérature basée sur 13 354 articles (Viergever et al., 2021a) a ainsi mis en évidence plus de 155 formes différentes de questionnaires validés. Bien sûr tous n'ont pas vocation à s'intéresser uniquement à la perception auditive du patient appareillé. Comme présenté figure 3, sur les 155 questionnaires retrouvés, seuls 84 sont spécifiques à la perte auditive et sur ces 84 questionnaires, 48 formes traitent uniquement de déficience auditive ou d'appareillage auditif. Pour le reste, il s'agit de questionnaires relatifs à l'hyperacousie, l'implant cochléaire ou encore dépistage auditif en gériatrie. Enfin sur les 48 restantes, on obtient 6 questionnaires validés et traduits en français.

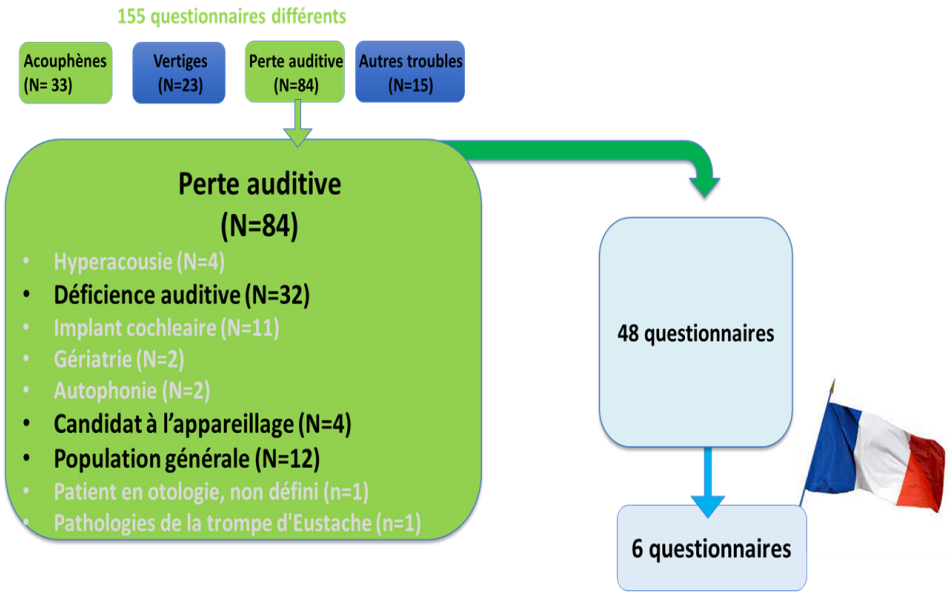


Figure 9 : Sélection des questionnaires validés en lien avec la perte auditive d'après une revue de la littérature basée sur 13 354 articles (Viergever et al., 2021a).

2. Les différents types de questionnaires validés en français

Avant de rentrer plus en détail concernant les 6 questionnaires validés en français à disposition et comprendre le choix de certains questionnaires pour la comparaison avec le questionnaire d'effort d'écoute présenté plus loin, nous proposons une brève définition de la validation de questionnaire, des différentes étapes qui la compose et de la méthodologie associée.

a. Méthode de validation de questionnaires

Dans les prochaines parties du travail présenté, il sera question de validation de nouveaux questionnaires ou de questionnaires traduits et adaptés en français. Afin de mieux cerner ce que représente une méthode de validation de questionnaires, nous proposons tout d'abord de définir la validation de questionnaires et le cadre dans lequel elle s'applique, puis nous développerons les différentes méthodes existantes et nous détaillerons plus précisément la méthode d'analyse factorielle exploratoire qui a été utilisée dans la validation des différents questionnaires étudiés.

1. La validation

a. Définition et étapes.

Après avoir construit une nouvelle échelle de mesure, soit en s'appuyant sur la traduction d'une échelle existante ou à partir d'items nouveaux, il est indispensable de contrôler les qualités métrologiques du questionnaire créé. Ce contrôle s'effectue principalement sur 3 aspects : **la fiabilité, la validité et la sensibilité au changement** (Bouletreau et al., 1999; Coste et al., 1995; Cottraux, 1985; Moret et al., 1993).

La **fiabilité** correspond à la reproductibilité de la mesure effectuée par l'échelle créée. Un questionnaire est fiable lorsque pour une même situation il retrouve des résultats comparables. On distingue tout d'abord la *fiabilité de l'enquêteur* qui analyse la dépendance des réponses fournies par rapport à l'enquêteur présent lors de la passation du questionnaire. L'analyse par coefficients de corrélation intraclasse (Koo and Li, 2016) ou concordance interenquêteur de Kappa (Fermanian, 1984) est utilisée pour cette analyse de fiabilité. Les questionnaires présentés par la suite étant tous des autos gestionnaires, cette analyse n'a pas été nécessaire. La *fiabilité au cours du temps* s'intéresse à la

corrélation des réponses d'un individu après plusieurs passations du questionnaire. Pour ce faire une analyse de corrélation des réponses de plusieurs sujets au cours du temps est effectuée. Plus la corrélation est bonne, plus la reproductibilité du questionnaire et donc sa fiabilité au cours du temps est grande.

La **sensibilité au changement** correspond à la capacité du questionnaire à détecter des différences, même minimes, dans les réponses fournies entre plusieurs individus ou pour un même individu (Bouletreau et al., 1999; Fok and Henry, 2015). Cependant, l'absence de consensus sur les méthodes d'analyse rend ce critère difficilement comparable d'une étude à l'autre (Stratford and Riddle, 2005).

La **validité** correspond à l'adéquation entre le format du questionnaire et les scores obtenus, en d'autres termes : « *un instrument de mesure est dit valide, s'il mesure ce pour quoi il a été construit* » (Nunnally, 1978). Cette étape de validation est un préalable indispensable dans la construction d'une échelle de mesure afin de fournir des preuves de la spécificité de la mesure fournie par le nouveau questionnaire. Différentes méthodes de validation existent (que nous détaillerons ci-dessous) sans aucune hiérarchie entre elles. Chaque méthode venant contribuer à compléter la validation de l'échelle de mesure (Eignor, 2001)

b. Les types de validation

Comme repris dans le tableau 3, on peut distinguer aujourd'hui 4 différents types de validités **: la validité d'apparence, la validité de contenu, la validité contre critère et la validité de structure** (Eignor, 2001).

La **validité d'apparence** correspond à l'avis d'experts ou d'utilisateurs du questionnaire sur la compréhension des questions, leur pertinence, le choix du vocabulaire.

La **validité de contenu** correspond à la pertinence des questions vis-à-vis du caractère étudié par le questionnaire. Autrement dit, le questionnaire cerne-t-il bien toutes les caractéristiques du domaine exploré et le nombre d'items choisis est-il suffisant pour mesurer le phénomène étudié (Fermanian, 1996) ? Comme pour la validité d'apparence il s'agit cependant d'une démarche subjective liée à la connaissance dans le domaine du créateur de l'échelle et aucun test formel ne permet de s'assurer de la validité de contenu du questionnaire (Midy, 1996).

La **validité contre critère** s'intéresse aux similitudes entre les résultats obtenus avec le nouveau questionnaire et une autre méthode de mesure du caractère étudié et considéré comme un « gold standard », par exemple l'analyse de correspondance entre le questionnaire SSQ

(« Speech Spatial and Qualities of hearing scale ») et les différentes formes courtes (Moulin et al., 2019a).

La **validité de structure** se focalise sur l'organisation du questionnaire et sur la capacité de ce dernier à répondre aux critères de structure préétablie. On distingue la validité externe qui utilisera des données complémentaires aux scores mesurés par l'échelle afin d'analyser la corrélation existante entre les deux résultats (on pourra par exemple croiser les scores au questionnaire SSQ et le niveau de perte auditive des participants afin de vérifier si l'évolution des scores retrouvés avec les sous-échelles du SSQ sont en cohérence avec le niveau de perte auditive mesuré). La validité interne quant à elle s'appuie directement sur les mesures obtenues avec le questionnaire. Dans cette méthode d'analyse, les items de l'échelle correspondants au même domaine d'étude doivent être plus fortement liés que les items de domaines différents. (Fermanian, 1996).

Validité d'apparence *Face validity*	**Validité de contenu** *Content validity*	**Validité contre critère** *Criterion validity*	**Validité du construit** *Construct validity*
Jugement d'expert sur la valeur apparente de l'échelle	**Pertinence :** chaque item appartient bien à un domaine étudié - Avis d'expert ; kappa, kappa pondéré, coeff. de corrélation intraclasse entre experts - Banque d'items, théorie des facettes de Guttman lorsque le concept est "flou" **Représentativité :** - Représentation de chaque domaine en fonction de son importance dans l'"univers" - Jugement d'expert	**Validité concomitante :** *concurrent validity* : échelle et critère de référence utilisés en même temps **Validité prédictive :** *predictive validity* : le phénomène est mesuré d'abord puis après un certain temps le critère de référence	**Interne :** - *Factorial validity* (Analyses descriptives multivariées) - *Internal consistency* : cohérence interne **Externe :** - *convergent validity* : corrélation avec les résultats d'une autre méthode mesurant le même phénomène - *discriminant validity* : absence de corrélation avec les résultats d'une autre méthode connue pour être sans relation avec la structure évaluée Mesure par rapport à une ou plusieurs variables explicatives

Tableau 3 : Classement des différents types de validités (Bouletreau et al., 1999)

c. Les méthodes de validation de structure interne

(i) Corrélation : « Item to total »

Le test de corrélation « item-total » (Henrysson, 1963) correspond à une mesure de corrélation effectuée entre les valeurs moyennes de chaque item d'un questionnaire et la valeur moyenne calculée pour tous les scores totaux de tous les items. Ce test s'appuie sur le principe que les scores retrouvés pour chaque item d'un questionnaire présentent une

plage de résultats similaires. La mesure globale du questionnaire serait alors construite comme la moyenne des scores des différents items. Ce test ne constitue pas une méthode de validation d'un questionnaire, mais dans le cadre d'une construction d'une nouvelle échelle il permet d'éliminer certains items pour lesquels les valeurs mesurées au test seraient inférieures à 0,2 (Churchill, 1979). En effet, une très faible corrélation retrouvée semblerait indiquer une différence de mesure entre l'échelle globale et l'item correspondant, à ce titre il pourra être écarté de l'échelle créée.

(ii) L'analyse d'homogénéité interne ($\propto$ de Cronbach)

Outils d'analyse fréquemment retrouvés dans la littérature, il s'agit d'un indice de mesure de consistance interne des questions posées lors d'un test (Cronbach, 1951a). Le degré d'homogénéité qu'il reflète est d'autant plus grand que sa valeur se rapproche de 1 (une valeur supérieure à 0,7 étant déjà considérée comme satisfaisante(DeVellis, 2003)). Cependant son utilisation est de plus en plus remise en cause (Schrepp, 2020; Ventura-León and Peña-Calero, 2020), la critique principale faisant ainsi référence au lien entre les valeurs retrouvées avec l'alpha de Cronbach et le nombre d'items, plus le nombre d'items seraient important plus la valeur de l'alpha de Cronbach serait grande laissant supposer d'une redondance dans les items choisis plus que d'une grande cohérence entre eux (Cho and Kim, 2015; MORET et al., 1993; Murphy and Davidshofer, 1988)).

(iii) L'analyse hiérarchique par cluster (Revelle, 1979)

Cette analyse permet de regrouper ensemble les items qui se ressemblent le plus et de calculer pour chaque regroupement (ou cluster) 2 indices d'homogénéité du cluster : l'alpha de Cronbach et le coefficient bêta, qui teste l'homogénéité de chaque cluster obtenu. L'analyse obtenue sera représentée par la suite par un diagramme faisant apparaitre par différentes bulles les regroupements (clusters) de chaque item listé en colonne sur la gauche du graphique, chaque clusters étant reliés entre eux par une flèche dont la taille et le sens informent sur le degré du lien existant entre chacun d'eux.

(iv) L'analyse factorielle

Les méthodes d'analyse factorielle exploratoire et confirmatoire sont les méthodes de validation de structures internes les plus couramment utilisées aujourd'hui. L'analyse factorielle exploratoire (AFE) est une méthode d'analyse qui permet de mettre en évidence des structures latentes (facteurs) dans un ensemble de données (scores obtenus pour les différents items d'un questionnaire par exemple).

Les variables intercorrélées sont alors regroupées en différents facteurs laissant de côté les autres variables (Baillargeon, 2003). Très proche de l'analyse en composante principale (ACP) il s'agit dans les deux cas d'expliquer la plus grande part de variance possible avec un nombre restreint de facteurs, l'AFE se différencie cependant sur l'analyse de la variance. Là où l'ACP s'intéresse à la variance totale des données, l'AFE attribue une part de variance à chaque variable indépendamment de la variable commune. Cette variance unique pour chaque variable est composée de la variance spécifique (indépendante des facteurs communs) et de la variance d'erreur. Afin d'extraire les facteurs communs, l'AFE se concentre uniquement sur la part de variance commune.

$$var_1 = \hat{a}_1 F_1 + \hat{a}_2 F_2 + \hat{a}_3 F_3 \ldots + \hat{a}_k F_k + U_1$$
$$var_2 = \hat{a}_1 F_1 + \hat{a}_2 F_2 + \hat{a}_3 F_3 \ldots + \hat{a}_k F_k + U_2$$
$$var_3 = \hat{a}_1 F_1 + \hat{a}_2 F_2 + \hat{a}_3 F_3 \ldots + \hat{a}_k F_k + U_3$$

Figure 10 : Forme d'équation établie pour l'analyse factorielle exploratoire. Var_x représente chaque variable analysée, $\hat{a}_x$ les coefficients de régression déterminés par l'analyse, F_x les facteurs latents définis par les regroupements de variables, U_X la variance unique de chaque variable (Baillargeon, 2003).

En permettant d'expliquer la part de variance commune entre certaines variables, l'AFE s'inscrit parfaitement dans le cadre d'une validation de la structure interne d'une nouvelle échelle de mesure. La méthode de l'AFE est souvent mise en contraste avec l'Analyse Factorielle Confirmatoire (AFC) qui permet cette fois de tester l'adéquation des données par rapport à un modèle théorique donné. À l'inverse de l'AFE le nombre de facteurs et leurs interactions éventuelles sont déjà fixés dans le cadre d'une AFC, il s'agit alors de tester l'adéquation entre le modèle fixé et les variables mesurées (l'AFC pourra par exemple permettre de confirmer l'organisation d'un questionnaire en différentes sous-échelles déjà préétablies par une précédente analyse exploratoire).

(v) Méthode de réalisation d'une AFE

1. La matrice de corrélation et condition de réalisation de l'AFE

Comme pour l'ACP, l'analyse factorielle exploratoire s'effectue à partir d'une matrice de corrélation (paramétrique ou non) sur l'ensemble des données testées. Dans le cadre d'un questionnaire, cela concernera les réponses des sujets pour tous les items testés. Cependant comme l'AFE prend en compte la part de variance attribuée à chaque variable l'analyse doit s'effectuer sur une matrice de corrélation réduite. La matrice de corrélation réduite à l'inverse de la matrice brute contient sur

sa diagonale principale les valeurs estimées (souvent le coefficient R^2) de la variance principale pour chaque facteur.

Par ailleurs tout comme pour l'ACP, les variables de la matrice de corrélation utilisées dans l'analyse exploratoire devront toutes être suffisamment corrélées entre elles afin d'éliminer une variable qui ne corrélerait avec aucune autre. La mesure d'adéquacité de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin permet de contrôler cet effet, avec des valeurs acceptables de mesure à partir 0.7 et inacceptables en dessous de 0,5.

Les situations de multicolinéarités seront acceptées dans le cas d'une AFE cependant la singularité (une variable expliquée par la combinaison de plusieurs autres variables) devra être évitée. À l'inverse, une matrice de corrélation où tous les coefficients de corrélations seraient nuls (Matrice d'identité) ne permet pas de réaliser une AFE. Afin d'écarter la présence de matrice d'identité dans les données, le test de sphéricité de Bartlett devra être réalisé.

2. Détermination du nombre de facteurs

Plusieurs critères permettent de déterminer le nombre de facteurs à extraire pour une analyse factorielle :

- Le critère de Kaiser (1960) considère le nombre de facteurs à extraire comme équivalent au nombre de valeurs propres supérieures à 1 dans la matrice d'intercorrélation.

- Le test des valeurs propres Cattell (1966) détermine le nombre de facteurs à extraire par le biais d'une représentation graphique (« Scree plot ») des valeurs propres Le « Scree plot » est un tracé linéaire des valeurs propres attribuées aux différents facteurs et ordonnées par ordre décroissant. Après avoir déterminé le « coude » du graphique où les valeurs propres se stabilisent, il suffit pour l'analyse factorielle de retenir les facteurs présents à gauche de ce coude permettant ainsi d'éliminer ce que l'on appelle les éboulis factoriels.

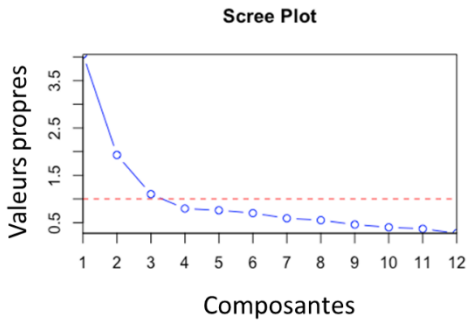


Figure 11 : Exemple d'un graphique type « Scree plot » avec la valeur « coude » du graphique en rouge ("Scree plot," 2020).

- L'analyse parallèle de Horn (1965) reprend la méthode des éboulis factorielle effectuée par le biais du « Scree plot ». Cependant, le tracé obtenu est ensuite comparé à un tracé effectué sur un jeu de données générées aléatoirement avec le même nombre de variables et d'individus que pour la matrice de corrélation en cours d'analyse. Une comparaison graphique entre les deux « Scree plot » obtenus permet de déterminer le nombre de facteurs à conserver en sélectionnant les composantes dont les valeurs propres sont significativement supérieures à celles générées par la matrice aléatoire.

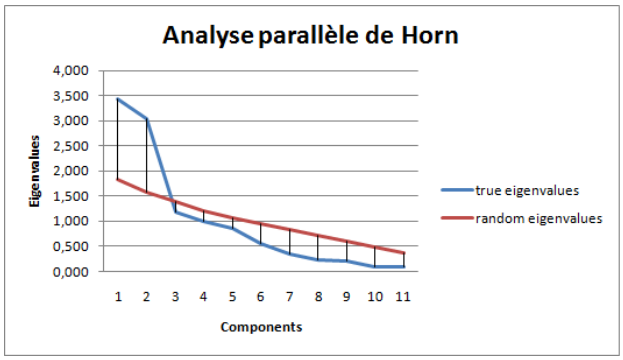


Figure 12 : Exemple d'une analyse parallèle, le tracé bleu représente les valeurs de l'analyse en cours et le tracé rouge les valeurs aléatoires. (ouvrepo, 2011)

Cependant parmi toutes ces méthodes aucune solution n'est privilégiée par rapport à une autre. Là où le critère de Kaiser est réputé pour retenir trop de facteurs, le test des valeurs propres en retient souvent trop peu. En pratique, l'analyse des différentes solutions proposées est confrontée au niveau d'interprétation qu'elle représente. En d'autres termes, une analyse à 5 facteurs (si elle est retrouvée dans les différentes méthodes de choix de facteur) sera privilégiée dans le cadre par exemple d'une validation de questionnaire composé de 5 sous échelles.

3. Rotation de la structure factorielle

Après avoir extrait un certain nombre de facteurs latents dans l'analyse factorielle, une rotation de ces facteurs est souvent réalisée dans le but de faciliter leur interprétation. Sur un graphique de nuage de points réalisé entre les différents facteurs et les données étudiées, il s'agit d'effectuer une rotation des axes sans modifier la position relative des

points par rapport aux autres. Cette méthode permet ainsi d'obtenir une vision plus claire des facteurs corrélés aux variables ainsi que des facteurs non corrélés. On distingue deux types de rotation : oblique et orthogonale. Dans le cadre d'une rotation orthogonale, les facteurs étudiés doivent être indépendants ce qui n'est pas le cas de la rotation oblique (Jean, 2017). En pratique, la non-indépendance des facteurs si elle n'est pas encore connue par le chercheur peut être présumée (Preacher and MacCallum, 2003) à ce titre la rotation oblique est souvent privilégiée.

b. Les questionnaires validés en français

i. Dépistage auditif (HIHE)

Le questionnaire Hearing Handicap Inventory for Elderly (HIHE) (Ventry and Weinstein, 1982) est un autoquestionnaire de dépistage de troubles auditifs, récemment traduit et validé en français (Duchêne, 2020). Il est composé de 10 questions relatives à des difficultés auditives perçues éventuellement par le sujet testé, par exemple : éprouver de la gêne pour comprendre son interlocuteur lorsqu'il parle à voix basse. Pour chaque question 3 réponses sont possibles (Oui/Parfois/Non) avec 4 points alloués pour une réponse « Oui », 2 points pour « Parfois » et 0 pour une réponse « Non ». Le score final étant obtenu en additionnant les scores de chacune des 10 questions. À chaque score correspond une probabilité de présenter une perte auditive (Exemple : un score au HIHE entre 8 et 16 correspond à une probabilité de 74,5 % de présenter une perte auditive). Rapide dans sa mise en place, il permet au sujet testé de faire le point sur sa perception auditive et de prendre éventuellement conscience d'une gêne auditive insoupçonnée.

ii. Retentissement fonctionnel de la surdité (ERSA)

Le questionnaire d'Évaluation du Retentissement de la Surdité chez l'Adulte (ERSA) (Ambert-Dahan et al., 2018) s'intéresse spécifiquement au retentissement fonctionnel et à la baisse de la qualité de vie liée à la perte auditive. Les questionnaires existants (Short Form 36 Health Survey(Ware Jr., 1999), Nottingham Health Profile(Hunt and McEwen, 1980) ou encore l'Abbreviated Profil of Hearing Aid Benefit (Cox, 1995)) étant insuffisants pour cerner clairement ces difficultés, les auteurs ont créé ce questionnaire auto administré et composé de 4 sous-échelles de 5 questions chacune : qualité de vie en général, vie personnelle, vie sociale et vie professionnelle. Pour chaque question, le sujet s'attribue une note allant de 0 à 10.

iii. Écoute spatiale (SHQ)

Le Spatial Hearing Questionnaire (SHQ)(Tyler et al., 2009) est un questionnaire d'écoute spatiale composé de 24 questions relatives

aux capacités de localisation sonore du sujet testé. Chaque question décrit une situation auditive précise et le sujet auto évalue ses capacités auditives par une note allant de 0 à 10 (une note de 10 correspondants à la capacité totale de réaliser la tâche d'écoute décrite). Une version traduite et validée en français sur 230 patients malentendants et 100 normoentendants est aussi disponible (Moulin et al., 2015a).

iv. Satisfaction et appareillage

1. Les questionnaires de satisfaction déjà validés

Concernant la satisfaction liée à l'appareillage, deux questionnaires traduits et validés en français existent déjà :

- L'Abbreviated Profil of Hearing Aid Benefit: APHAB (Cox, 1995) un questionnaire de 24 questions divisées en 4 sous échelles (facilité de communication, bruit de fond, réverbération, bruit indésirables) pour lesquelles le sujet auto évalue ses capacités auditives dans différentes situations de la vie quotidienne par une échelle de réponse allant de A à G (G correspondant à la gêne maximale pour réaliser la tâche d'écoute décrite).Le questionnaire est divisé en deux parties : une partie avant et une après appareillage auditif afin de quantifier le bénéfice rendu après l'appareillage.

- L'International Outcome Inventory for Hearing Aids: IOHA (Cox and Alexander, 2002), un court questionnaire de 7 questions concernant le bénéfice ressenti par le patient avec les aides auditives. Il présente, pour chaque question, 5 possibilités de réponse relatives à la question posée (exemple : Pensez-vous que votre appareil auditif actuel présente un intérêt ? -> aucun intérêt, un léger intérêt, un intérêt modéré, un net intérêt, un grand intérêt).

  Pour ces deux questionnaires, une version française est gratuitement disponible sur le site du laboratoire de recherche à l'origine de ces outils : www.harlmemphis.org.

  Cependant que ce soit pour l'APHAB ou l'IOHA ces deux questionnaires abordent la satisfaction essentiellement sur un plan audiologique en laissant de côté les aspects de qualité de vie, investissement financier et retentissement personnel qui participent grandement à l'acceptation de l'appareillage auditif.

  À l'inverse, le questionnaire SADL (Satisfaction with amplification in daily life)(Cox and Alexander, 1999) s'intéresse beaucoup plus à ces aspects, mais aucune validation et traduction française n'existent à ce jour. Nous proposons une traduction en français et une validation de ce questionnaire afin d'étudier par la suite le lien entre satisfaction d'appareillage et effort d'écoute.

2. ETUDE 1 : Validation de la version Française du questionnaire de Satisfaction SADL (Satisfaction with Amplification in Daily Life)

Introduction

Dans les différentes étapes de l'appareillage, la prise en compte de la satisfaction du patient fait partie inhérente d'une adaptation réussie. Les outils audiologiques dont nous disposons couramment en laboratoire d'audioprothèse (audiométrie tonale, audiométrie vocale, audiométrie in situ, audiométrie in vivo) rendent compte de la qualité et la quantité d'informations sonores délivrées par la prothèse auditive à l'oreille du patient mais n'apportent que très peu d'informations quant à la satisfaction du porteur d'appareils auditifs.

Souvent, c'est par la discussion avec le patient lors du rendez-vous de contrôle des aides auditives que l'audioprothésiste arrive à quantifier le niveau de satisfaction des patients appareillés. Bien qu'indispensable dans la relation patient/soignant, cet entretien informel s'avère difficilement quantifiable et reproductible sur le long terme.

Par ailleurs, dans les différentes évolutions du métier d'audioprothésiste, engendrées par la mise en place de la réforme « 100 % santé », il est prévu le recours obligatoire à des questionnaires de contrôle de la qualité de l'appareillage délivré aux patients. Même si aucun questionnaire n'a encore été choisi pour effectuer ce contrôle systématique, plusieurs outils validés internationalement sont déjà à la disposition de l'audioprothésiste. Parmi eux, le questionnaire SADL : Satisfaction Amplification in Daily Life (Cox and Alexander, 1999) est couramment utilisé au niveau international mais, étonnamment, aucune version Française n'avait été élaborée auparavant.

Après une étape de traduction et d'adaptation effectuée en respectant les bonnes pratiques européennes (Beaton et al., 2000; Epstein et al., 2015; Guillemin et al., 1993; Hall et al., 2018) et détaillée par Hochart et coll. (2019) dans un premier article(a détailler peut être) ce travail fait état des propriétés psychométriques de la version française du SADL (le SADL-F) sur un grand nombre de patients appareillés dans différents laboratoires de la région Auvergne Rhône Alpes. Enfin, la comparaison des données du SADL français avec les

données de la littérature internationale permet de valider la version française du SADL.

Matériel et méthodes :

a. Protocole

Cette étude résulte d'une analyse multi-sites réalisée conjointement entre les centres Audition Conseil du grand Lyon, Entendre de la région Grenobloise et le CRNL (Centre de Recherche en neuroscience de Lyon). Tous les patients ont été recruté directement dans les centres auditifs lors d'une visite de contrôle des aides auditives. Les patients appareillés depuis au moins 1 mois étaient invités à remplir plusieurs questionnaires dont le SADL-F et l'APHAB (Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit)(Cox, 1995) chez eux, au format papier, et les retourner par voie postale à l'aide d'une enveloppe retour pré-affranchie ou directement dans les centres d'audioprothèse. L'ensemble des données a été traité de manière strictement anonyme.

b. Population

150 patients appareillés d'âge moyen 72 ans (±: 13) ont répondu aux questionnaires. Comme présenté dans le Tableau 5, les sujets sont majoritairement appareillés sur les 2 oreilles (83% d'appareillage bilatéraux). La perte auditive moyenne est de 55,4 dB HL (± :17,3). Les différents types d'aides auditives correspondent à la forme et mode de transmission sonore de l'aide auditive porté par le sujet. Les appareils notés INTRA dans le tableau correspondent aux aides auditives intra auriculaires disposés directement dans le conduit auditif du patient. Les appareils classée RIC pour Receiver In Canal correspondent aux appareils avec un écouteur directement logé dans le conduit auditif et le reste de l'appareil placé derrière le pavillon d'oreille. Enfin les appareils auditifs BTE pour Behind The Ear correspondent aux systèmes complétement logés derrière le pavillon de l'oreille avec une transmission sonore se faisant par le biais d'un tube connecté à un embout sur mesure dans le conduit auditif.

Concernant les gammes des aides auditives, il s'agit d'un classement de niveau technologique des aides auditives correspondant au classement par gamme effectuée par les fabricants d'aides auditives et basé essentiellement sur deux critères : le nombre de canaux de réglage fréquentiel de l'aide auditive et le nombre de situations sonores (Calme, Parole, Parole et bruit, réverbération…) prisent en compte par le programme automatique de l'aide auditive.

Nombre participants	150	
Age (en année)	moyen	72(± 13)
	Minimum	32
	Maximum	97
Répartition homme / femme (en %)	Femme	52
	Homme	42
Perte auditive moyenne (moyenne des seuils 500,1000,2000,4000 Hz en dB HL)	51 (± 16.3)	
Répartition des appareillage (en %)	Binaural	83
	monaural droit	9
	monaural gauche	8
Différents type d'appareil (en %)	RIC	80
	INTRA	4
	BTE	16
Différentes gammes d'appareil	Gamme 1	26
	Gamme 2	42
	Gamme 3	16
	Gamme 4	13
	Gamme 5	3

Tableau 5 : Population d'étude.

c. Comparaison avec les données de la littérature internationale

Plusieurs études internationales ont été publiées concernant la validation du questionnaire SADL (voir tableau en annexe).Afin de vérifier si le comportement du SADL-F est équivalent aux versions étrangères du SADL déjà validées, des comparaisons avec le SADL Portugais(Roque dos Reis et al., 2017) validé sur une population de 147 patients appareillés, le SADL Chinois(Fang et al., 2013) validé sur une population de 155 sujets appareillés et le SADL Américain, d'origine, établi sur 257 patients(Cox and Alexander, 2001).

d. Organisation du SADL et calcul des scores

La version originale du SADL(Cox and Alexander, 1999)) est composée de 3 parties :

• 15 questions correspondant à différentes situations auditives. Pour chaque question, le patient choisit sur une échelle visuelle alphabétique allant de A à G, la lettre correspondant le plus à son ressenti. (A = pas du tout, B= Légèrement, C= de temps en temps, D= Parfois, E= Considérablement, F= Grandement, G= Enormément)

• Un tableau d'expérience avec les aides auditives, reprenant 4 aspects: l'expérience d'utilisation des aides auditives actuelles, l'expérience d'utilisation des aides auditives en général, le temps de port par jour de l'aide auditive, le niveau de gêne auditive ressentie sans appareil auditif.

• Un tableau destiné à l'audioprothésiste reprenant les différentes caractéristiques de l'aide auditive : marque de l'appareil, modèle de l'appareil, style de l'appareil, la type de compression, la présence de microphones directionnelles.

La version Française du SADL (SADL-F) reprend les 15 questions en intégrant plusieurs changements de formulation dont les détails sont présentés par Hochart et coll. 2019. L'échelle de réponse a notamment été convertie en échelle visuelle analogique allant de 1 à 7. Le tableau concernant l'expérience des patients vis-à-vis de l'appareillage auditif est conservé alors que le tableau destiné à l'audioprothésiste, jugé obsolète et n'entrant pas en ligne de compte dans le calcul du score de satisfaction des patients, a été abandonné dans la version Française.

Le score du SADL est composé d'un score global, correspondant à la moyenne des scores obtenus pour les 15 questions et de 4 sous-échelles (Effet positif, Service et coût, Image personnelle, Caractéristiques négatives). Le score des sous-échelles est obtenu en faisant la moyenne des scores des questions correspondantes. A noter que les scores de certains items (numéros : 2,4,7 et 13) doivent être inversés (un score de 1 devient un score de 7) pour le calcul du score global et par sous-échelles (Hochart et coll. 2019).

3. Analyses statistiques

a. Analyse de cohérence et de structure interne

La cohérence interne du SADL-F a été vérifiée par le coefficient alpha de Cronbach, calculé pour le score global et les différentes sous échelles. Pour vérifier la structure interne du SADL, c'est à dire la répartition du SADL-F en 4 sous-échelles distinctes comme décrites dans la version d'origine, une analyse hiérarchique par cluster(William Revelle, 1979) a été effectuée. Cette analyse permet de regrouper ensemble les questions qui se ressemblent le plus et de calculer pour chaque regroupement (ou cluster) 2 indices d'homogénéité du cluster : l'alpha de Cronbach et le coefficient béta, qui teste l'homogénéité de chaque cluster obtenu.

b. Corrélations avec facteurs externes, et les scores au questionnaire APHAB.

Les corrélations entre les résultats du SADL-F et certaines caractéristiques (perte auditive, asymétrie entre les deux oreilles, âge, temps de port des aides auditives) de la population testée ont été effectuées par corrélation de Spearman. Une analyse de la variance des scores du SADL-F en fonction des différentes gammes d'aide auditive a été réalisé.

Résultats

a. Pourcentage de réponses par item

Les patients ont, en majorité, complété le questionnaire en intégralité. Le taux global de remplissage sur l'ensemble des patients testés est de 98%. Sur les 15 questions posées à 150 patients (soit 2250 questions), 50 questions (soit 2 %) n'ont pas reçu de réponse. Comparativement, pour le questionnaire APHAB, le taux de remplissage est de 94%.

Les absences de réponse au SADL-F se concentrent sur 4 questions :

• La question 4 (25% des non réponses) « Pensez-vous que votre entourage remarque davantage votre perte auditive depuis que vous portez vos appareils auditifs ? »

• La question 7 (23% des non réponses) « Êtes-vous gêné(e) par l'impossibilité d'obtenir un volume suffisant avec vos appareils auditifs ? »

• La question 11 (19% des non réponses) « Vos appareils auditifs vous aident-ils avec les téléphones sans amplificateurs ni haut-parleurs ? (Si vous entendez bien au téléphone sans appareils auditifs, cochez ici)

• La question 15 (25% des non réponses) « Êtes-vous satisfait(e) de la fiabilité de vos appareils auditifs (ont-ils eu besoin d'être réparés) ?»

Sur l'ensemble de l'effectif testé, 79% des patients ont répondu à l'intégralité des 15 questions, 90% à au moins 14 questions sur 15, et 97% à au moins 13 questions sur 15. Seuls 3 % des patients n'ont répondu qu'à moins de 13 questions sur 15.

b. Scores par questions et sous-échelles

La distribution des valeurs obtenues pour chaque question est présentée figure 6A, sous forme de boites à moustaches. La boite réunit 50% de toutes les valeurs obtenues (entre les 25ème et 75ème percentiles). Les moustaches montrent les 10ème et

90èmes percentiles. Comme pour l'étude pilote d'Hochart et coll., nous constatons un effet plafond sur la plupart des questions, avec des scores proches de 7. A noter que l'item 12 (« À votre avis, l'audioprothésiste qui vous a adapté vos appareils auditifs était-il/elle compétent(e) ? ») est aussi plafonné à un score de 7 sur 7 ce qui indique un taux de réponses 100% favorables. A la différence de l'étude pilote, le remplissage du questionnaire ne s'est pas effectué en présence de l'audioprothésiste, le patient était donc libre de sa réponse à la question.

Les résultats par sous-échelles et le score global (figure 13) montrent une très bonne satisfaction générale puisque les valeurs médianes ne descendent pas en dessous d'un score de 5 sur 7. Nous pouvons également noter la moyenne très encourageante du Score Global (moyenne : 5,5 (sur 7) ± 2,7 (soit 78 %) qui montre une bonne satisfaction des patients vis-à-vis de leur appareillage.

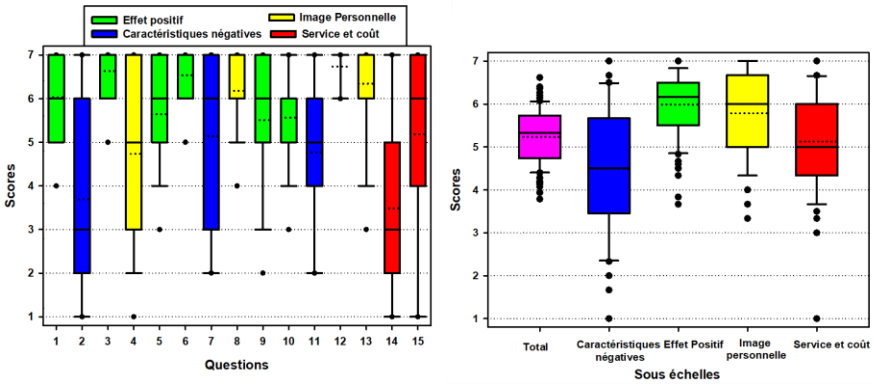


Figure 13: Scores du SADL-F, représentés sous forme de boites à moustache pour chacune des 15 questions (A) et pour chacune des 4 sous-échelles (Effet positif : vert ; Caractéristiques négatives : bleu, Image personnelle : Jaune, Service et coût : rouge) et pour le score Global (violet). Les scores sont répartis de 1 à 7, 7 représentants le plus de satisfaction, pour une population de 150 patients. La boite représente 50% des valeurs (entre le 25ème et le 75ème percentile, les moustaches représentent les 10ème et 90ème percentiles, et les symboles montrent les 5ème et 95ème percentiles. La médiane est représentée en trait plein et la moyenne en pointillés. La couleur des boîtes reflète l'appartenance des items à chacune des 4 sous-échelles.

c. Comparaison avec les données internationales

Le profil des réponses pour chaque question du SADL-F est similaire au profil obtenu dans les études internationales (fig. 14)

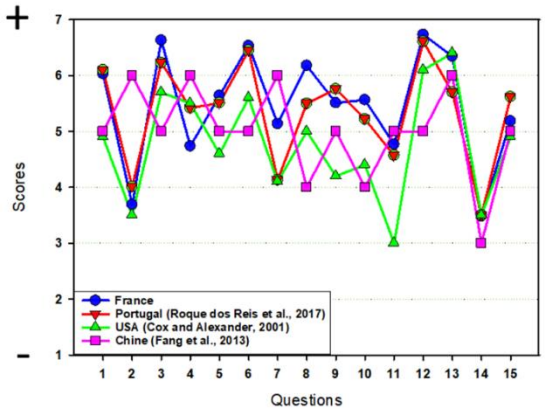


Figure 14 : Scores moyens pour chaque question du SADL pour l'étude de validation française (bleu) comparés aux études de validation Portugaises (rouge), Américaine (vert) et Chinoises (violet),

Les questions donnant les scores les plus élevés au SADL-F sont également les questions donnant les scores les plus élevés dans les SADL de la littérature étrangère. (ex: question 3, 12, 13).Le score global et les scores des différentes sous-échelles (fig. 15) présentent aussi un profil similaire aux profils obtenus par les autres études présentées. Une analyse de corrélation de Spearman effectuée entre les résultats du SADL-F et les études internationales confirme la grande similarité de profil obtenu (France/Portugal : r=0.75, p<0.001 ; France/ USA : r=0.65, p= 0.007), excepté pour l'étude chinoise (France/Chine r=0.11, p= 0.67, non significatif).

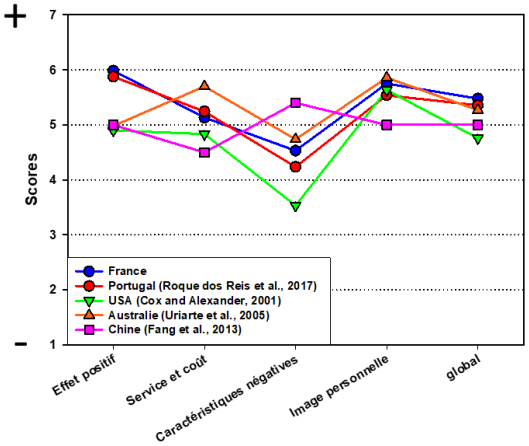


Figure 15 : Score global et scores des différentes sous-échelles du SADL pour l'étude de validation française (bleu) comparée aux études de validation Portugaises (Rouge), Américaine (vert), Australienne (orange) et Chinoise (Violet)

d. Structure interne du SADL-F

La cohérence interne du SADL-F, mesurée par le coefficient alpha de Cronbach, est de 0.79 pour le score global, et varie de 0.49 à 0.72 pour les sous-échelles. Les corrélations entre les différents items et le score global varient de 0.33 (question 3) à 0.67 (question 7). En particulier, le score global de satisfaction diminue significativement lorsque le reste à charge est qualifié de « pas raisonnable » par les patients (question 14), mais cette corrélation n'est pas la plus importante (r=0.39), avec seulement 16% de variance expliquée pour cet item.

L'analyse par cluster (fig. 16) met en évidence un regroupement de tous les items « effets positifs », dans un cluster final montrant une bonne homogénéité. Les items « aspects négatifs » se regroupent entre eux en un cluster (C6 sur la fig. 9). L'addition de l'item « service et coût » à ce cluster résulte en une diminution de l'homogénéité du cluster, mettant en évidence le caractère différent de l'item 15. De même, l'item 12 se combine avec un des items « image personnelle », mais cela résulte en un cluster (C11) dont le coefficient beta diminue. Enfin, l'item 14, de la sous-échelle « service et coûts », se combine avec aucun autre item, montrant ainsi qu'il évalue une dimension différente des autres sous-échelles. Les items de la sous-échelle « service et coût » se comportent de manière hétérogène et différente des autres sous-échelles.

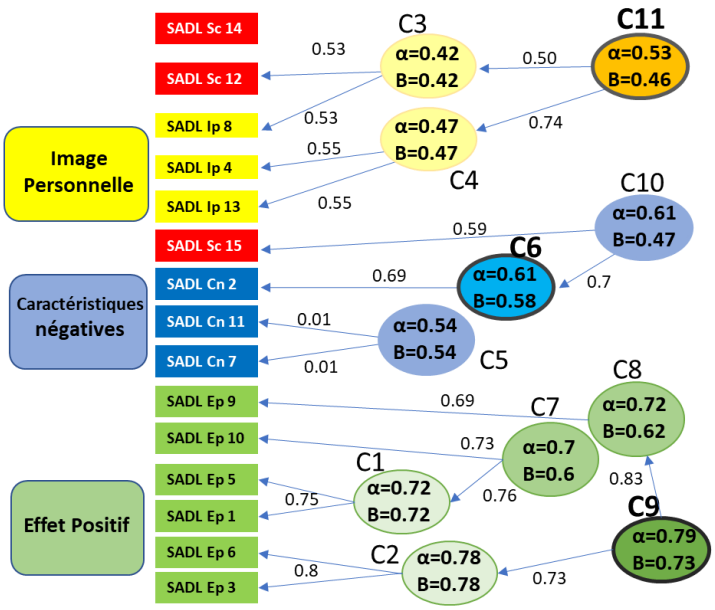


*Figure 16 : Analyse de cohérence interne des résultats de validation de la version Française du SADL par cluster (∝= coefficient de Cronbach, **β**= coefficient beta, qui testent la cohérence interne et l'homogénéité des clusters). Les clusters sont numérotés de C1 à C10, et on peut remarquer l'assimilation des items « service et coût » à plusieurs clusters, au détriment de l'homogénéité de ces clusters.*

En revanche, l'analyse par cluster refaite sans ces items (fig. 17), met bien en évidence une structure interne en sous-échelles distinctes et cohérentes qui correspondent aux sous-échelles définies par Cox et Alexander (1999) pour le SADL original. Les regroupements créés par l'analyse correspondent parfaitement aux sous-échelles du questionnaire, avec 3 clusters homogènes (C8, C5, C7), comme le montre la proximité de leurs scores alpha et beta respectifs. La relative faiblesse du coefficient alpha pour les sous-échelles « image personnelle » et « caractéristiques négatives » par rapport à la sous-échelle « effet positif » s'explique par le nombre d'items : 3 versus 6, l'alpha de Cronbach étant sensible au nombre d'items. Les valeurs observées ici sont similaires à celles rapportées par Cox et Alexander (1999).

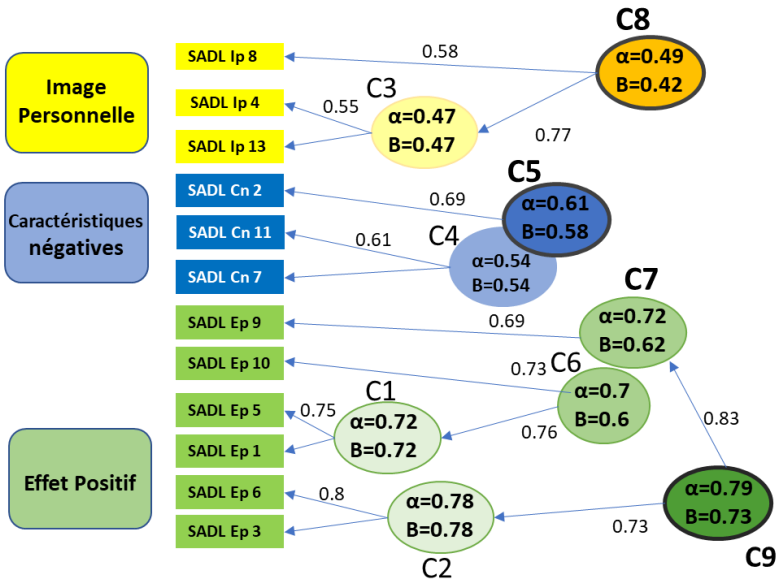


*Figure 17 : Analyse de cohérence interne des résultats de validation de la version Française du SADL par cluster (∝= coefficient de Cronbach **β**= coefficient beta) avec suppression des questions liées à la sous-échelle « service et coût ». Neuf clusters sont identifiés (numérotés de C1 à C9), avec 3 clusters principaux reflétant les 3 sous-échelles : clusters C5, C8 et C9*

e. Satisfaction exprimée au SADL-F et les gammes d'aides auditives

Les 5 gammes d'appareil auditif présentées initialement dans le tableau 1 ont été regroupées en 4 classes, la dernière gamme, ne concernant que 3 patients, a été regroupée avec la gamme 4. La répartition des scores du SADL-F global présentée Figure 18, ne fait apparaitre aucune différence significative entre les différentes gammes d'aides auditives. ($F(3, 145) = 0.40$, $p=0.74$). Aucune différence significative n'est obtenue selon la gamme d'appareil auditif, pour les différentes sous-échelles, y compris pour la sous échelle « service et coût » qui concerne plus directement le niveau de gamme des aides auditives. Enfin, la question 14 relative au reste à charge du patient, ne fait pas non plus apparaitre de différence significative liée à la gamme des appareils auditifs ($F(3, 141) = 1,7$, $p=0.16$).

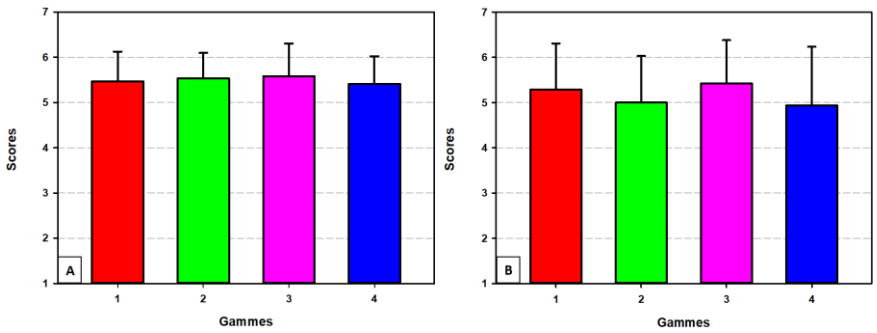


Figure 18 : Répartition des scores du SADL-F (moyenne +/-DS) en fonction des différentes gammes d'aide auditive (de 1 : bas de gamme à 4 : haut de gamme), pour le score global (A) et la sous échelle service et coût (B).

f. Corrélations entre la satisfaction exprimée au SADLF, à l'APHAB et les caractéristiques des patients

L'analyse de corrélation du SADL-F et de ses sous-échelles avec les seuils auditifs, l'âge des patients et le temps de port est présentée tableau 6. Lorsque le seuil de perception augmente, notamment sur la mauvaise oreille, le score de satisfaction globale diminue significativement (r=-0.24). Ceci est surtout dû à la sous-échelle « caractéristiques négatives » (r=-0.34), alors qu'aucune corrélation significative n'est obtenue entre la sous-échelle « effet positif » et la perte auditive.

Le score global du SADL-F diminue faiblement lorsque l'âge augmente (r=-0.17), ce qui peut être attribué aux corrélations entre perte auditive et âge d'une part, et perte auditive et SADL, qui sont plus fortes. Le temps de port des aides auditives et le score de satisfaction au SADL sont corrélés positivement (r=0.21).

Sur la partie tableau d'expérience du SADL-F, on obtient une forte corrélation positive entre le niveau de gêne subjective ressentie par le patient sans ses appareils et son seuil auditif oreilles nues (r=0.46). Plus la perte auditive mesurée augmente, plus le niveau de gêne auditive ressentie et évaluée par le patient lui-même augmente. Une très forte corrélation positive entre le temps de port estimé par les patients et le temps de port réel des appareils est aussi à noter (r=0.65). Les sujets semblent évaluer par eux même, avec une bonne précision, le temps de port journalier de leurs aides auditives. Enfin le niveau de gêne auditive sans appareil est corrélé au temps de port mesuré de l'aide auditive. Plus le niveau de gêne auditive perçue sans appareils est grand, plus l'appareil auditif est porté tout au long de la journée (r=0.26).

Pour le questionnaire APHAB, on constate aussi une diminution des scores de satisfaction avec l'augmentation des seuils auditifs (oreilles nues et appareillées) (r=-0.20). Cette diminution concerne l'ensemble des sous-échelles excepté pour la sous-échelle «Aversion». L'âge présente une influence négative sur les scores des sous-échelles « Bruit de fond » et « Réverbération ». L'augmentation du temps de port mesuré s'accompagne d'une augmentation des scores de satisfaction globale de l'APHAB et d'une augmentation des scores de la sous-échelle «Aversion».

* p<= 0.05 ** p<= 0.01 ***p<= 0.001		Oreilles Nues			Oreilles appareillées			âge	Temps de port
		Seuils auditifs		Assymétrie	Seuils auditifs		Assymétrie		
		Meilleure oreille	Mauvaise oreille		Meilleure oreille	Mauvaise oreille			
SADL-F	Effet positif	-0.01	-0.01	0.02	-0.03	-0.06	-0.11	-0.14	0.20 *
	Service et coût	-0.14	-0.20*	-0.03	-0.08	-0.11	-0.10	-0.11	0.05
	Caractéristiques négatives	**-0.27*** **	**-0.34*** **	-0.07	-0.23*	**-0.29** **	-0.23*	-0.14	0.09
	Image personnelle	-0.21**	-0.17*	0.06	-0.17	-0.17	-0.09	-0.04	0.05
	Global	-0.23**	**-0.24** **	0.01	-0.20*	**-0.24** **	-0.18*	-0.17*	0.21*
	Expérience avec les appareils	0.16*	0.26***	0.22**	-0.03	-0.004	-0.01	0.02	-0.03
	Expérience avec les appareils actuels	0.43***	0.45***	0.003	0.09	0.06	-0.05	0.07	0.06
	Temps de port estimé des appareils	0.12	0.12	-0.03	0.002	0.01	0.01	-0.11	0.65***
	Niveau de gène auditive sans appareils	0.41***	0.46***	0.10	0.36***	0.37***	0.09	0.09	0.26***
APHAB	Facilité de communication	**-0.43*** **	**-0.48*** **	-0.02	**-0.32*** **	-0.30**	-0.08	-0.09	0.12
	Bruit de fond	**-0.45*** **	**-0.45*** **	-0.01	**-0.37*** **	**-0.32*** **	-0.05	-0.26**	-0.05
	Réverbération	**-0.51*** **	**-0.54*** **	0.02	**-0.51*** **	**-0.49*** **	-0.19	**-0.32*** **	0.08
	Aversion	0.01	0.01	-0.08	-0.04	0.04	0.02	0.01	0.27**
	Total	-0.22**	**-0.20***	-0.04	-0.21	-0.19	-0.10	-0.10	0.22**

Tableau 6 : Corrélations entre les scores du SADL-F, de l'APHAB et les caractéristiques du patient (Seuils auditifs oreilles nues et appareillées, âge et temps de port de l'appareil auditif).

g. Corrélations entre la satisfaction exprimée au SADL-F et le questionnaire APHAB

Les corrélations entre les 2 questionnaires ont été effectuées sur le sous-groupe de patients ayant complété les 2 questionnaires SADL-F et APHAB en intégralité (94 patients) (tableau 3).

Le score global du SADL-F augmente significativement en fonction du score de l'APHAB (r=0.36) mais la corrélation reste faible (moins de 13% de variance expliquée) si l'on considère le fait que les deux questionnaires utilisés s'intéressent tous les deux à la notion de satisfaction d'appareillage. La sous-échelle « caractéristiques négatives » du SADL-F est aussi celle qui augmente le plus significativement en fonction du score global de l'APHAB (r=0.37), mais aussi des sous-échelles « Facilité de communication » (r=0.43), « Bruit de fond » (r=0.46) et « Réverbération » (r=0.46).

* p<= 0.05 ** p<= 0.01 ***p<= 0.001		APHAB Oreilles appareillées				
		Facilité de communication	Bruit de fond	Réverbération	Aversion	Total
SADL-F	Effet positif	0.20*	0.17	0.20	0.11	0.16
	Service et coût	0.26*	0.23*	0.34***	0.08	0.15
	Caractéristiques négatives	**0.43*** **	**0.46*** **	**0.46*** **	0.24*	**0.37*** **
	Image personnelle	0.26*	0.19	**0.28** **	0.20	0.24*
	Global	**0.44*** **	**0.40*** **	**0.48*** **	0.24*	**0.36*** **

Tableau 7 : Matrice de corrélation (Spearman) entre les scores du SADL-F et les scores du questionnaire APHAB, pour un sous-groupe de 93 patients ayant complété en intégralité les deux questionnaires.

Discussion

La similitude de comportement entre la version française du SADL et les versions développées en d'autres langues indiquent une bonne validité de la version française du SADL, avec une comparabilité à l'échelle internationale avec les SADL utilisé dans d'autres langues. Plusieurs aspects du SADL sont développés dans cette étude.

Taux de remplissage des questionnaires et aspects spécifiques à certaines questions

On constate un très bon taux de remplissage du SADL-F (98%) mais seuls 80% des patients ont complété le questionnaire en intégralité (15 questions/15). Toutefois, le taux de patients ayant complété au moins 13 questions/15 passe à 97%. Cette marge d'erreur de 2 questions non complétées correspond aux résultats obtenus dans la version originale du SADL (Cox and Alexander, 1999). Une des questions les moins complétées est la question 7, qui concerne un aspect lié à l'effet larsen des appareils auditifs. Or depuis la création du questionnaire, en 1999, la technologie anti-larsen a beaucoup progressé et les désagréments liés au sifflement des appareils ont aujourd'hui quasiment disparu dans les aides auditives modernes. Pour une grande partie des patients testés, cette notion ne fait donc référence à aucune situation rencontrée dans leur quotidien. Il en est de même pour la question 11 qui concerne l'utilisation du téléphone sans haut-parleur. Un grand nombre d'aides auditives proposent aujourd'hui des solutions très efficaces pour recevoir le signal téléphonique directement dans les appareils. La question posée ne correspond donc à aucune situation réellement rencontrée dans la vie quotidienne. Par ailleurs, le format de la question 11 diffère légèrement des autres questions avec la présence d'une sous-question intégrée : « Si vous entendez bien au téléphone sans appareil(s) cochez ici ». Cette sous-question a probablement induit en erreur certains patients qui, après avoir coché la case, pensaient avoir répondu complètement à la question

et n'ont donc pas pensé à répondre au reste de la question. La question 15 concernant la fiabilité des aides auditives a probablement aussi induit en erreur les « non répondants » : en effet, les aides auditives actuelles étant de plus en plus fiables (absence de pannes), une partie des patients ne s'est pas sentie concernée par cette question. Enfin, la question 4, qui fait appel à la notion d'entourage et au stigma négatif généré par la perte auditive chez les proches, a recueilli le plus grand nombre de « non réponse ». Ce fort taux de « non réponse » pour cette question peut d'abord s'expliquer par l'isolement social vécu par les personnes âgées et notamment les personnes âgées atteintes de surdité (Sung et al., 2016). Notre population d'étude faisant principalement partie du 3ième et 4ième âge, plusieurs participants peuvent être directement confrontés à cette solitude. L'entourage proche étant souvent devenu inexistant, la question ainsi posée ne fait référence à aucune situation quotidienne vécue par le patient. De plus, la discrétion des aides auditives s'étant grandement améliorée, l'aspect « visible » du déficient auditif s'est aussi beaucoup réduit depuis 20 ans. Une partie des « non répondants » portant des appareils très discrets ne se sont probablement pas retrouvés dans la situation énoncée.

Comparaison avec les études SADL en langue étrangère

Une grande similarité de réponse entre le SADL-F et les versions étrangères décrites dans la littérature internationale a été obtenue, qu'il s'agisse des réponses par item ou par sous-échelles. Ceci est d'autant plus remarquable que chaque étude a été effectuée sur des populations aux caractéristiques différentes. A noter, cependant, pour la sous échelle « caractéristiques négatives », une différence importante de score pour l'étude chinoise (5,4) (Fang et al., 2013) par rapport aux autres études (4,2 en moyenne). Pour toutes les études, le niveau de satisfaction est élevé, sauf pour la première étude validation Américaine de 1999. Cette différence de score peut s'expliquer par l'innovation technologique réalisée depuis 20 ans. Cependant même si une différence de satisfaction est bien observée, elle reste faible : seulement un point d'écart entre les deux extrêmes. L'évolution des patients face aux capacités des nouvelles technologies a vraisemblablement modifié leur niveau d'exigence, ce qui pourrait expliquer cette relative faible différence de satisfaction entre les données d'il y a 20 ans et les données actuelles.

Structure interne et propriétés psychométriques du SADL-F

La structure interne du SADL-F, en 4 sous-échelles, correspond à ce qui est décrit dans la première étude de Cox et Alexander, en particulier la difficulté à rattacher les items « service et coût » au sein d'une même sous-échelle. En revanche, après suppression de la sous-échelle « service et coût » de l'analyse par cluster, on obtient une bonne cohérence interne pour chacune des sous-échelles du SADL- F. La traduction française ne semble donc pas altérer la cohérence interne du questionnaire, ni sa répartition pour les 3 sous-échelles testées. La difficulté de regroupement observée pour les items de la sous- échelle « service et coût », lors de notre analyse, est comparable aux résultats obtenus lors des premières études de validation américaines du questionnaire (Cox and Alexander, 1999, 2001), seules études qui ont procédé à des analyses de structure interne du SADL. Ces difficultés de regroupement peuvent s'expliquer par les différences d'investissements financiers réalisés par chaque patient pour acquérir leurs prothèses auditives. Par exemple, la question 14 fait référence au reste à charge financier supporté par le patient pour se procurer ses aides auditives. En France, le reste à charge est encore aujourd'hui totalement dépendant du contrat de la complémentaire santé du patient. Or d'un contrat de complémentaire à l'autre, le montant de remboursement pour les aides auditives varie énormément, un patient équipé d'aides auditives haut de gamme peut bénéficier d'un reste à charge équivalent à un patient équipé en entrée de gamme. Ainsi, aucune différence significative n'est obtenue entre les scores de la question 14 selon les 4 gammes d'aides auditives. Le score recueilli pour la question 14 dépend donc uniquement du contrat de complémentaire santé du patient et la corrélation entre le caractère perçu comme raisonnable ou non du reste à charge et le score de satisfaction global est significative mais modeste (16% de variance expliquée). Dans leur étude de validation, Cox and Alexander, (2001) ont constaté que les patients américains dont l'équipement était totalement pris en charge par la complémentaire santé, présentaient un taux de satisfaction bien plus élevé dans toutes les différentes catégories testées. L'influence générale du reste à charge supporté par le patient sur la satisfaction ressentie avec ses aides auditives ne doit donc pas être négligée. Avec l'arrivée de la réforme « 100% santé » et le reste à charge 0 pour le patient, ce lien entre coût et satisfaction devra faire l'objet d'investigations supplémentaires pour que la notion financière liée à l'acquisition des prothèses auditives ne vienne pas troubler les mesures de satisfaction concernant l'efficacité audiologique et le service rendu par la prothèse auditive.

Corrélations du SADL-F avec les variables externes, structure interne et propriétés psychométriques du SADL-F

Les scores du SADL-F (tout comme ceux de l'APHAB) sont fortement liés à la perte auditive du patient. La corrélation négative retrouvée entre les seuils auditifs oreilles nues et la sous échelle « caractéristiques négatives » est tout à fait similaire aux résultats d'une étude de modélisation des scores du SADL par des variables indépendantes. (Hosford-Dunn and Halpern, 2001).

Le temps de port, aussi bien mesuré qu'auto-évalué par le patient, apparait comme un facteur associé à la satisfaction de l'appareillage, pour le score global, comme pour les sous-échelles, ce qui est en accord avec l'étude australienne (Uriarte et al., 2005). Cependant le sens du lien entre satisfaction et temps de port ne peut être clairement déterminé ici.

Les scores du SADL-F, tout comme ceux de l'APHAB, sont fortement liés à la perte auditive du patient. Devant les scores généralement élevés au SADL-F, quelle que soit la population testée, et l'absence de corrélation entre le SADL et le type de gamme auditive utilisée, il semble légitime de se poser la question de la sensibilité (et de la suffisance) de ce questionnaire vis-à-vis de du confort d'écoute et du bénéfice ressenti de l'appareillage. Par ailleurs, deux items semblent peu adaptés aux évolutions techniques de l'appareillage auditif d'aujourd'hui, montrant l'âge du questionnaire, dont la création date de plus de 20 ans. Pour évaluer le bénéfice ressenti de l'appareillage, les questionnaires évaluant les performances des patients dans les situations de la vie quotidienne, et pouvant évaluer les différences obtenues liées à l'appareillage semblent plus adaptés (comme le « Speech Spatial and Qualities of hearing scale (SSQ) de Noble & Gatehouse (2004), SSQ par exemple). Enfin, bien que les résultats du SADL corrèlent significativement avec ceux de l'APHAB, le pourcentage de variance expliquée reste faible (16 %), montrant que les 2 questionnaires explorent des aspects différents de la satisfaction des patients.

Conclusion

- Les résultats obtenus dans notre étude de validation s'avèrent tout à fait comparables et cohérents avec les données de la littérature internationale, tant sur le plan des résultats que de la cohérence interne du questionnaire, validant la version française du SADL utilisée dans ce travail, et permettant ainsi des comparaisons à l'échelle internationale.

- La notion de reste à charge pour l'acquisition des aides auditives a un impact significatif mais modeste sur le score global de satisfaction avec l'appareillage auditif mesurée par le SADL.

- Rapidité, efficacité et intérêt des résultats font du SADL un bon outil pour quantifier la satisfaction de nos patients avec leurs aides auditives, mais la sensibilité du questionnaire semble limitée, et demande des comparaisons avec d'autres questionnaires existants.

Que ce soit lors de la phase expérimentale de validation du questionnaire SADL-F ou pendant le travail de recherche bibliographique sur la thématique de la satisfaction chez le patient appareillé nous avons pu constater le manque important de questions relatives au bien être auditif. Or le plaisir lié à l'écoute de la musique ou du chant des oiseaux par exemple sont des éléments à prendre en compte dans la satisfaction du patient quant à ses aides auditives. Afin de pallier ce manque nous proposons par la suite l'élaboration d'un premier questionnaire de loisir auditif chez les patients appareillés.

3. ÉTUDE 2 : Développement d'un questionnaire de « loisirs auditifs » pour les porteurs d'aides auditives.

Introduction

Au-delà des évaluations purement audio prothétiques, le bénéfice ressenti avec les appareils auditifs peut être évalué sous l'angle de la qualité de vie (questionnaire ERSA (Ambert-Dahan et al., 2018)) ou encore de la satisfaction (questionnaire SADL (Cox and Alexander, 2001)). Cependant, le bénéfice perçu sur les activités quotidiennes de loisirs auditifs (écouter des chansons, de la musique, chanter, fredonner, aller à des concerts ...) est encore rarement pris en compte, alors que la pratique de la musique même à l'état amateur est considérée comme un facteur protecteur des pertes auditives liées à l'âge et à l'exposition sonore (Alain et al., 2014, 2006).

Une récente étude britannique (Greasley et al., 2020) s'est pourtant intéressée à l'écoute musicale chez 176 porteurs d'aides auditives et 67 % d'entre eux déclarent éprouver des difficultés à écouter de la musique avec leurs aides auditives. Trente pour cent des patients interrogés par téléphone dans une autre étude portant sur le plaisir ressenti à l'écoute de la musique chez des sujets sourds appareillés (Leek et al., 2008), indiquent que leur perte auditive affecte le plaisir ressenti à l'écoute de la musique. Enfin, une étude menée sur 523 patients appareillés (Madsen and Moore, 2014) et portant sur les problèmes d'écoute de la musique par le biais de 21 questions à choix multiple, a mis en avant des problèmes : « de distorsion, de Larsen, une réponse en fréquence déséquilibrée et une qualité sonore réduite ».

Afin d'améliorer la perception musicale des patients appareillés et ainsi augmenter leur satisfaction, il est primordial de mieux cerner les besoins et habitudes au quotidien des porteurs d'aide auditive dans ce domaine. Le questionnaire par sa simplicité d'utilisation est un outil idéal pour recueillir les habitudes des patients appareillés sur le plan des loisirs auditifs.

La mesure des capacités musicales d'un individu est un sujet d'étude exploré depuis longtemps puisque c'est en 1919 que l'on retrouve la mise au point du premier test de capacités musicales (Seashore, 1919). Dès lors, d'autres tests ont été développés pour évaluer les capacités musicales (Gordon, 1989; Law and Zentner, 2012) et le potentiel de développement des compétences musicales d'un individu (Wallentin et al., 2010; Wing, 1961). Par comparaison, la littérature concernant les questionnaires d'aptitudes musicales est beaucoup plus récente. Dans les questionnaires validés on peut citer :

- ***Le Music in Mood Regulation questionnaire*** (MMR) (Saarikallio, 2008), qui est une échelle constituée de 40 items qui évaluent la manière dont les individus utilisent la musique pour réguler leurs émotions***.***

- *Le Barcelona Music Reward Questionnaire* (Mas-Herrero et al., 2013) qui s'intéresse aux facteurs à l'origine de la sensation de récompense liée à la perception de la musique. Par le biais de 20 items, cinq facettes de la récompense musicale sont explorées : « la recherche de la musique, l'évocation des émotions, la régulation de l'humeur, la récompense sociale et la réponse sensori-motrice ».

- *Le Music Experience Questionnaire (MEQ)* (Werner and Swope, 2006) en englobant les aspects de perception subjective de la musique et l'activité musicale propose une approche plus large. Six domaines d'expériences musicales sont explorés à travers les 53 items du questionnaire : « Engagement envers la musique, Aptitude musicale innovante, Expérience sociale liée à la musique, Réactions affectives, Effets psychotropes positifs, Réaction corporelle liée à la musique. »

- *Le Music USE Questionnaire (MUSE)* (Chin and Rickard, 2012) évalue de son côté l'engagement musical au sens large, les différentes sous échelles qui le composent ont été conçues pour englober un large éventail de formes d'engagement musical telles que la régulation émotionnelle et cognitive, la production musicale, les connexions sociales. La version originale est composée de 58 items, mais une version courte (32 items) est aussi disponible.

- Dans la même lignée, le ***Music Engagement Questionnaire (MusEQ)***(Vanstone et al., 2016) s'intéresse à l'engagement musical au quotidien de l'individu ainsi qu'à l'engagement musical sur les aspects suivants: émotion, performance musicale, préférences musicales et dépenses liées à la musique par le biais de 35 items. Le questionnaire MusEQ a été construit pour être complété par des

accompagnants de patients atteints de troubles cognitifs majeurs ou, dans le cas de troubles cognitifs plus faibles, par le patient lui-même. À ce titre, les items dont les réponses seraient influencées uniquement par les limitations physiques de l'individu ont été abandonnés.

- Enfin, *Le* ***Goldsmiths Musical Sophistication Index (Gold-MSI)***(Müllensiefen et al., 2014) considéré aujourd'hui comme un « gold standard », évalue les caractéristiques musicales quotidiennes au sens large. Il introduit dans sa mesure le concept de « sophistication musicale » permettant de contourner les à priori liés au talent et aux aptitudes musicales innées en intégrant la compétence musicale à travers cinq différentes facettes. « **le facteur d'engagement actif** » s'intéressant au niveau d'engagement musical actif dans le quotidien, par exemple « Je garde une trace de la nouvelle musique que je rencontre » ou « Je ne dépense pas une grande partie de mon revenu disponible en musique » ; **le facteur « Capacités de perception »** reprenant l'évaluation des capacités d'écoute musicale, par exemple « Je peux comparer et discuter des différences entre deux interprétations ou versions d'une pièce musicale » ; **« Le facteur formation musicale »** s'intéressant au niveau de formation musicale tant sur le plan académique que sur l'auto-évaluation de ses aptitudes musicales ; **« Le facteur Capacités de chant »** comme par exemple « Après avoir entendu une nouvelle chanson deux ou trois fois, je peux généralement la chanter moi-même » ; et enfin **« le facteur Émotions »** qui reprend les comportements liés à l'émotion suscitée par la musique (par exemple « Je suis capable de parler des émotions qu'un morceau de musique évoque en moi »).

Sur le plan de la prise en charge de la déficience auditive, on retrouve une seule étude sur l'écoute musicale quotidienne de patients implantés cochléaires (Fuller et al., 2013), mais, à notre connaissance, aucun questionnaire sur l'écoute musicale dans le quotidien de patients appareillés avec des aides auditives conventionnelles n'a été adapté à ce jour. Nous avons voulu concevoir un outil permettant d'évaluer l'impact des aides auditives sur des activités de « loisirs auditifs » au sens large, incluant les activités, par exemple, liées aux habitudes télévisuelles et/ou radiophoniques des patients, vis-à-vis de certains programmes plus orientés vers la musique de variété, ou les activités plus intimes de « chansonnette » ou de comptines au sein de leur famille, activités qui, souvent, ne sont pas labellisées comme « activités musicales », mais qui ont une importance certaine dans la vie quotidienne et l'environnement sonore des patients.

Matériel et Méthode

a. Construction du questionnaire

Une première version, disponible en annexe, d'un questionnaire de 30 questions a été créée, à partir d'échelles déjà existantes et validées : le GoldMSI (Müllensiefen et al., 2014) retenu pour le large panel de questions qu'il présente et le MusEQ (Vanstone et al., 2016) retenu pour la prise en compte d'items destinés à un public âgé en déclin cognitif.

Le nouveau questionnaire sur les loisirs auditifs (LoA) des patients appareillés comporte 5 sections :

- Une première section relative à ***l'aptitude musicale*** du sujet composée de 5 questions qui s'intéresse à la formation musicale des sujets, des aptitudes basiques (« écoute de la musique en étant enfant ») aux plus évoluées (« pratique musicale régulière »).
- La deuxième section de 5 questions concerne ***la musique dans le quotidien*** du sujet de la pratique la plus simple (« j'écoute de la musique pour passer le temps ») à la plus soutenue (« je peux discerner les différents instruments de musique présents dans un morceau »).
- La troisième section de 7 questions s'intéresse aux ***émotions*** liées à l'écoute de la musique (« je ressens des émotions lorsque j'écoute de la musique » ; « j'ai tendance à apprécier la musique pour sa beauté »).
- La quatrième section de 6 questions aborde les aspects ***socio-économiques*** liés à l'écoute de la musique (« activité autour de la musique » ; « style de musique écouté » ; « dépenses liées à l'écoute de la musique »).
- Enfin, la cinquième section de 7 questions concerne la ***satisfaction*** lors de l'écoute de la musique avec les aides auditives.

Chaque réponse est fournie sous la forme d'échelles visuelles analogique de 10 points et pour les sections 2, 3, 4, et une partie de la section 5 apparait une échelle de réponse à compléter avant appareillage et une autre après appareillage afin de mesurer l'effet de l'aide auditive sur les pratiques musicales du sujet testé.

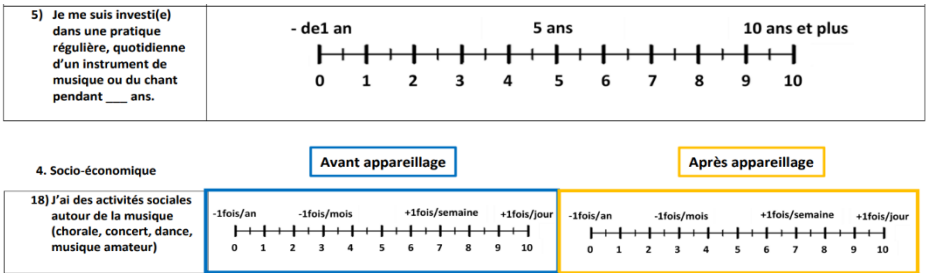


Figure 19 : Exemples de questions posées dans la section Aptitude musicale et dans la section socio-économique du questionnaire de loisir auditif.

b. Première passation sur un « focus group »

Un groupe de 47 patients appareillés, âgés de 74 ans en moyenne (écart type = 13) avec une perte auditive moyenne de 53 dB HL (écart type = 16) a été invité à évaluer et à remplir cette première version du questionnaire LoA, sous forme d'une interview directement au centre de prothèses auditives. Les questions et les commentaires des patients ont été systématiquement notés. Un groupe de 17 participants a été invité à compléter un formulaire d'évaluation complémentaire composé de 7 questions relatives à la clarté des questions, la longueur du questionnaire, la présentation. Là encore, les réponses sont fournies sous la forme d'une échelle visuelle analogique de 10 points. Les caractéristiques de la population appareillée (âge, perte auditive, ancienneté de l'appareillage auditif, temps de port des aides auditives, gamme et nombre de canaux de l'aide auditive) ont aussi été relevées afin de réaliser une analyse de corrélation.

Résultats préliminaires

a. Temps de passation et taux de remplissage

Cette première version du questionnaire a été bien accueillie par les patients, et certains étaient très enthousiastes à l'idée de parler spécifiquement de leurs expériences musicales avec leurs appareils auditifs. La figure 20 reprend les résultats au questionnaire complémentaire d'évaluation. Le niveau d'acceptation globale du questionnaire est assez haut (7.37 (+/-3.7)). Du fait de la longueur du questionnaire (51 questions), la durée du remplissage représente l'item avec le moins de réponses positives (5.77 (+/-3)). Cependant, malgré le nombre important d'items, le questionnaire ne semble pas générer un effort de concentration trop intense. La question 1, reprenant le nombre d'items problématiques, a montré des difficultés concernant l'item 10 chez deux individus et pour l'item 24 chez deux individus.

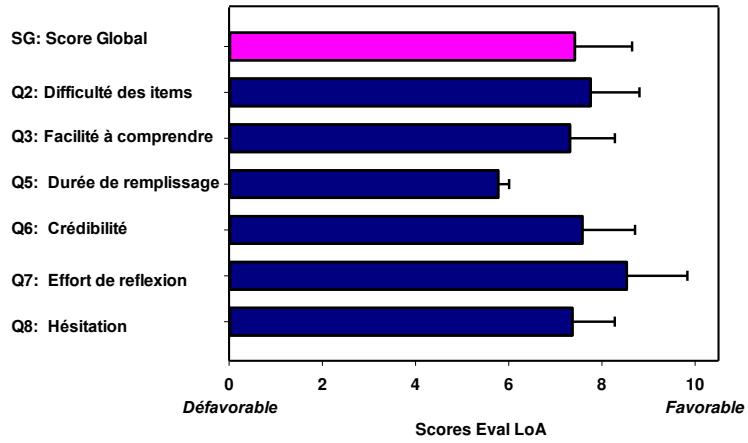


Figure 20 : Scores moyens (+/- DS) sur 10 (avec 10 comme score le plus favorable possible), pour chacune des questions du questionnaire d'évaluation du LoA (« Eval LoA »). Le premier item (nombre de questions qui ont posé problème) n'est pas compté dans le score global (rose), et non présenté sur la figure.

Le temps moyen de remplissage était de 10,37 minutes (écart type = 5,38), y compris les discussions avec le patient. Le taux global de remplissage sur l'ensemble des patients testés est de 95.3 %. Sur les 51 questions posées (21 questions doubles avant/après appareillage et 9 questions uniques) à 47 patients (soit 2397 questions), 113 questions (soit 5 %) n'ont pas reçu de réponse.

Les absences de réponse au LoA se concentrent sur 3 questions :

- La question 25 (33 % des non-réponses) « Si musicien(ne), la pratique de mon instrument m'est : très désagréable/neutre/très agréable ? »
- La question 24 (3.6 % des non-réponses) « Lorsque j'écoute de la musique, cela me parait : inaudible/déformé/clair et naturel » :
- La question 19 (3.6 % des non-réponses) « Je dépense de l'argent pour acheter des enregistrements, CD, assister à des concerts ? : Peu fréquemment, fréquemment, très fréquemment ».

Sur l'ensemble de l'effectif testé, 11 % des patients ont répondu à l'intégralité des 30 questions, 51 % à au moins 28 questions sur 30. Cependant, 91 % des patients ont répondu à au moins 24 questions sur 30.

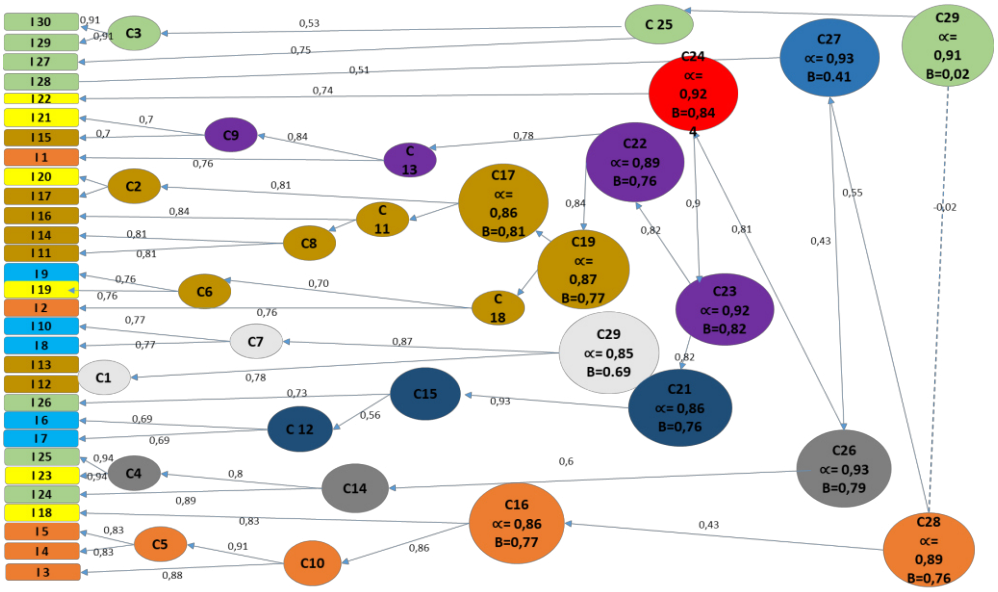
b. Cohérence interne

Pour réaliser une analyse factorielle exploratoire stable, le critère suivant est utilisé : « le nombre de variables mesurées devrait être au moins 5 fois supérieur au nombre de facteurs communs attendus » (Leandre R Fabrigar et al., 1999). L'effectif de 47 patients ne permettant pas de remplir complètement ce critère, l'analyse factorielle a pour le moment été mise de côté afin d'intégrer plus de sujets dans l'étude.

Cependant une analyse de corrélation du score de chaque item au score total (Tableau en annexe) a été effectué sur différentes conditions (Scores avant et après appareillage et sans la section aptitudes musicales) et fait apparaitre une valeur très faible comprise entre 0.16 et 0.28 uniquement pour l'item 27 : « Lorsque j'écoute de la musique, je porte mes appareils auditifs : Jamais/la moitié du temps/toujours ». Les plus grandes différences entre les coefficients de corrélation mesurés sur les scores avant et après appareillage sont retrouvées sur les items 24 (Δr=0.29), 25 (Δr=0.23), 26 (Δr=0.15) de la sous échelle satisfaction et l'item 10 (Δr=0.21) de la sous échelle musique au quotidien.

L'analyse par cluster est présentée figure 21. On remarque tout d'abord que les clusters ne correspondent pas parfaitement aux sections initiales du questionnaire, montrant qu'un nouveau groupement des questions est nécessaire, avec une redéfinition des sous-échelles. On obtient cependant un regroupement de tous les items de la section aptitudes musicales, excepté pour l'item 2 (« lorsque j'étais enfant, on écoutait de la musique autour de moi ») qui se regroupe avec la section Émotion. Que ce soit avant ou après appareillage, seuls deux items (7 et 8) de la section Quotidien se regroupent dans un cluster (C15). La section Émotion représente la section où l'on regroupe le plus grand nombre d'items : 4 avant (C17) et 4 après (C13). Pour la section Socio-économique, le cluster C21 regroupe le plus d'items dans la version après appareillage. Enfin, les items de la section Satisfaction qui se regroupent le mieux sont ceux qui ne sont pas concernés par l'aspect avant et après appareillage, à savoir les items 27 à 30.

Réponses avant appareillage auditif



Réponses après appareillage auditif

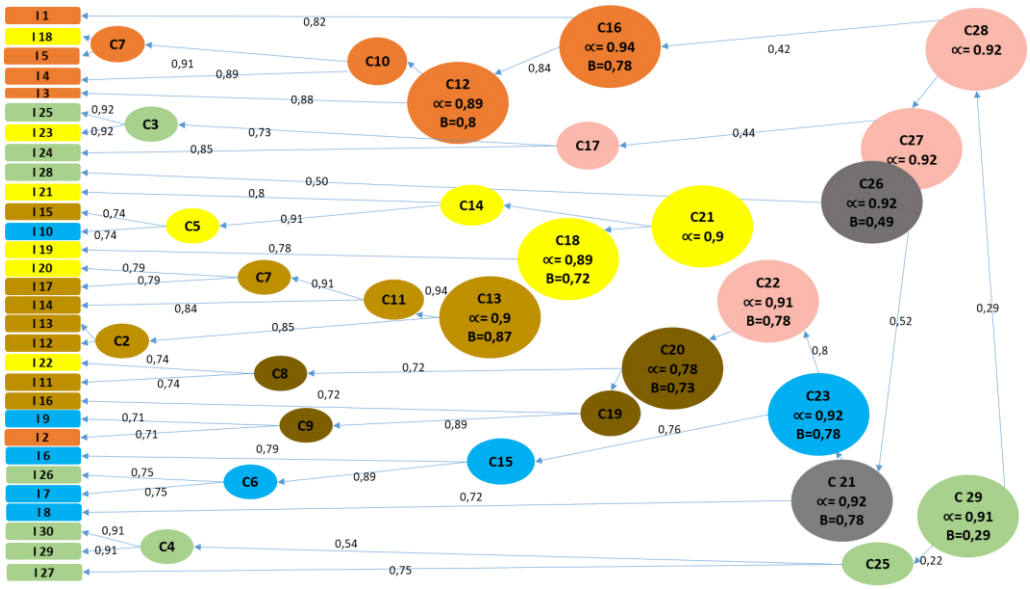


*Figure 21 : Analyse de cohérence interne des résultats au questionnaire loisir auditif par cluster (∝= coefficient de Cronbach **β**= coefficient bêta) avant appareillage (en haut) et après appareillage (en bas). 29 clusters sont identifiés (numérotés de C1 à C29). Les couleurs des étiquettes de chaque question correspondent au groupement par sections (5 sections différentes).*

c. Niveau d'expérience musical

Le niveau d'aptitude musicale de la population testée est représenté sur la figure 22. On remarque, pour l'ensemble des individus, une bonne expérience musicale. Le score moyen obtenu à la question 1 : « Je pense avoir (aucune/quelques/de très grandes) aptitudes musicales » étant de 4.2 (+/-2.71), avec un score de 0 correspondant à aucune aptitude et 10 correspondant à de très grandes aptitudes musicales. La moitié de l'effectif testé se déclare comme ayant au minimum quelques notions de musique. Le score moyen de la question 2 : « Lorsque j'étais enfant (avant 12 ans), on écoutait de la musique autour de moi (jamais/souvent/toujours) ? » de 4.63 (+/-3.08) s'inscrit aussi dans le sens d'une bonne expérience musicale, avec un quart de la population testée déclarant avoir souvent écouté de la musique dans l'enfance. À l'inverse, pour les 3 autres items s'intéressant à la pratique académique (Solfège, cours de musique et instrumentale), on obtient une moyenne de 1.94 (+/-2.38) pour ces items laissant supposer d'une faible pratique musicale et instrumentale dans la population testée avec 58 % de la population ne se déclarant pas musicien(ne).

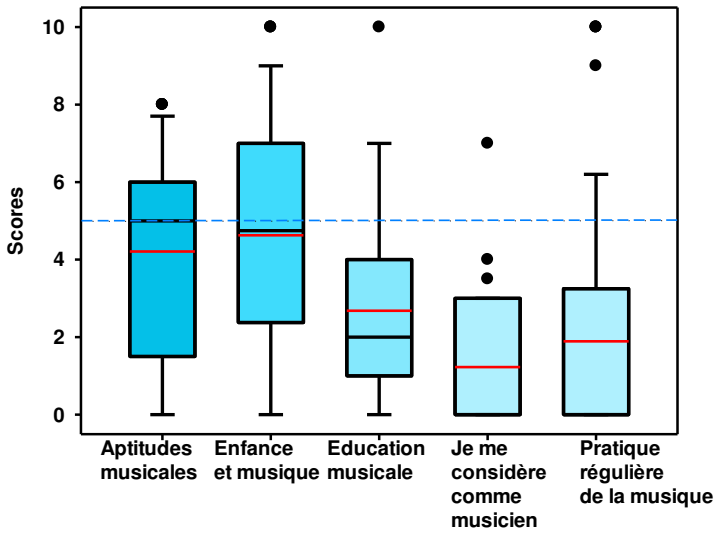


Figure 22 : Scores de la section Aptitude musicale pour les 5 questions qui la compose. La ligne rouge représente la moyenne. La ligne de partage (Score = 5) au-delà de laquelle les aptitudes musicales peuvent être considérées comme importantes est représentée en bleu.

d. Scores

Les scores avant et après appareillage pour les différentes sections (sauf aptitude musicale) sont présentés figure 23. Le niveau d'engagement musical mesuré par le questionnaire est important avec un score total moyen avant appareillage de : 5.72 (+/- 1.75) avant appareillage et de 5.84 (+/- 1.79) après appareillage. La section Satisfaction représente la section avec le score moyen le plus grand (6.69 (+/-1.39) comparativement le score moyen pour la section Quotidien est de 5.26 (+/-2.25), de 6.20 (+/-1.98) pour la section Emotion, de 5.21 (+/-1.86) pour la section Socio-économique. L'analyse de variance confirme cette différence significative $F(5,276)=5.45$; $p<0.001$) avec une mesure de taille d'effet par le d de Cohen de -0.76 ; p= 0.002 pour la section Quotidien et de = 0.92 ; p= 0.001 pour la section Socio-économique. En revanche, l'analyse ne permet pas d'obtenir de différence significative entre la section Satisfaction et la section Emotion (d de Cohen= -0.29 ; p= 0.77).

Que ce soit avant ou après appareillage, toutes les sections présentent des scores moyens supérieurs à 5. La plus grande différence entre avant et après appareillage, bien que non significative, concerne la section Émotion ($6.08_{\text{avant app}}$ (+/-1.97) et $6.32_{\text{ après app}}$ (+/-1.99) ; ANOVA à mesures répétées $F(1,47)=3.63$; $p=0.06$). On remarque aussi une tendance non significative à l'amélioration pour les sections : Quotidien ($5.19_{\text{avant app}}$ (+/-2.24) et $5.35_{\text{après app}}$ (+/-2.26) ; ANOVA à mesures répétées $F(1,47)=2.17$; $p=0.14$), et Satisfaction (6.65_{avant} (+/-1.38) et $6.72_{\text{aprèsapp}}$(+/-1.42) ; ANOVA à mesures répétées $F(1,47)=1.35$; $p=0.25$). En revanche, pour la section Socio-économique, aucune amélioration n'est retrouvée. (5.28 (+/-1.83)) avant appareillage, contre 5.17 (+/-1.89) après appareillage (ANOVA à mesures répétées $F(1,47)=0.297$; $p=0.58$).

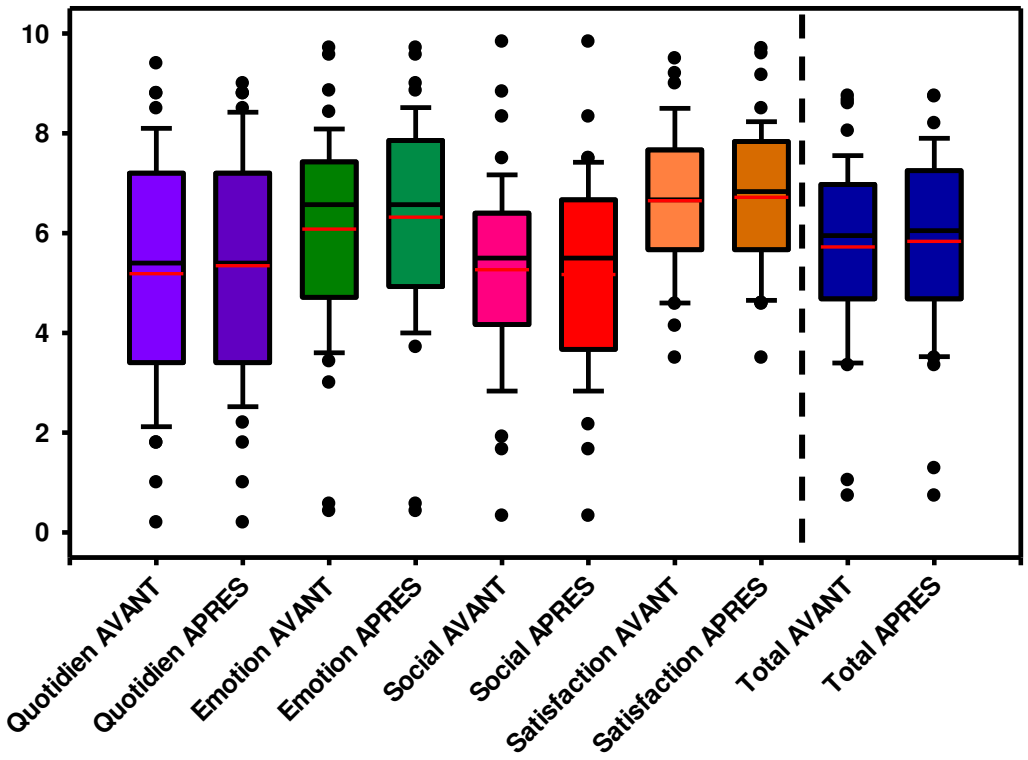


Figure 23 : Scores moyens dans chaque section concernée par les questions avant et après appareillage (Section musique au quotidien, section émotion de la musique, section socio-économique liée à l'écoute de la musique et section Satisfaction d'écoute de la musique) du questionnaire de loisir auditif (LoA).

e. Corrélation

La matrice de corrélation entre les différentes sections du questionnaire LoA et les paramètres de la population enregistrés est présentée en annexe et une version centrée sur les différentes sections du questionnaire est présentée tableau 8. On retrouve une grande corrélation entre les différentes sections du questionnaire LoA excepté pour la section Satisfaction (où la section Émotion étant la seule à être hautement corrélée ($p<0.001$)).

L'âge et l'ancienneté de l'aide auditive actuelle sont les seuls paramètres pour lesquels on observe une corrélation avec le questionnaire LoA. L'engagement musical diminue significativement avec l'âge ($r=-0.39$; $p<0.001$ avant appareillage et $r=-0.41$; $p<0.001$ après appareillage). Les aptitudes musicales diminuent aussi avec l'âge ($r=-0.36$; $p<0.05$) tout comme les émotions perçues par la musique ($r=-0.36$; $p<0.05$ avant appareillage et $r=-0.34$; $p<0.05$ après appareillage) et l'investissement socio-économique fourni ($r=-0.35$; $p<0.05$ avant appareillage et $r=-0.39$; $p<0.01$ après appareillage). Étonnamment, l'ancienneté de l'aide auditive semble aussi influencer négativement l'émotion à l'écoute de la musique ($r=-0.33$; $p<0.05$).

*p < 0;05 **p < 0.01 ***p < 0.001	LoA total avant	LoA total après	LoA Aptitudes	LoA Quotidien avant	LoA Quotidien après	LoA Emotion avant	LoA Emotion après	LoA SocioEco avant	LoA SocioEco après	LoA Satisfaction avant	LoA Satisfaction après
LoA total avant											
LoA total après	0.92***										
LoA Aptitudes	0.70***	0.601***									
LoA Quotidien avant	0.70***	0.61***	0.43**								
LoA Quotidien après	0.84***	0.79***	0.40**	0.94***							
LoA Emotion avant	0.80***	0.86***	0.42**	0.67***	0.64***						
LoA Emotion après	0.84***	0.79***	0.31*	0.62***	0.70***	0.91***					
LoA SocioEco avant	0.75***	0.86***	0.57***	0.68***	0.63***	0.70***	0.56***				
LoA SocioEco après	0.85***	0.73***	0.42**	0.64***	0.72***	0.69***	0.76***	0.78***			
LoA Satisfaction avant	0.78***	0.88***	0.21	0.30*	0.37*	0.38**	0.48***	0.28*	0.50***		
LoA Satisfaction après	0.52***	0.62***	0.12	0.24	0.34*	0.31*	0.46**	0.18	0.46**	0.96***	
Age	0.42**	0.58***	-0.36*	-0.16	-0.18	-0.37*	-0.34*	-0.40*	-0.39**	-0.27	-0.28
Age des aides auditives actuelles	-0.39**	-0.41**	-0.26	-0.21	-0.2	-0.40**	-0.33*	-0.29	-0.26	-0.03	0.04

Tableau 8 : Matrice de corrélation entre les scores obtenus pour les différentes sections du questionnaire « loisirs auditifs » et certains paramètres (âge des personnes et âge des aides auditives actuelles) d'une population de 47 patients malentendants appareillés.

Discussion

Le questionnaire LoA présente une bonne cohérence interne qui devra être confirmée par une analyse factorielle sur un grand échantillon de population. L'analyse de corrélation des scores de chaque item, par rapport au score total, a par ailleurs mis en évidence une absence de corrélation de l'item 27 (« Lorsque j'écoute de la musique, je porte mes appareils auditifs : Jamais/la moitié du temps/toujours »). La formulation choisie pour cet item peut expliquer cette différence, la question faisant référence plus spécifiquement au temps de port des aides auditives. Les variations de corrélation constatées entre les items 24, 25, 26 et le score total mesuré avant et après appareillage font de la section Satisfaction la section la plus variable dans les réponses obtenues. Cette variation est probablement à l'origine du manque de corrélation observé, pour cette section, avec le reste du questionnaire. Ceci est confirmé par l'analyse en clusters qui ne permet pas de regrouper clairement ces items. Par ailleurs, l'analyse de cluster ne permet pas de retrouver l'organisation des différentes sections du questionnaire LoA. Donc, une nouvelle version du questionnaire, avec des items remaniés, devra être envisagée pour améliorer la cohérence interne du questionnaire. Cependant, les items de la section Émotion présentent déjà une cohérence interne intéressante, autant avant (cluster C19) qu'après appareillage (cluster C13) et pourront être conservés dans une version ultérieure.

Les scores significativement supérieurs retrouvés pour la section Satisfaction restent donc discutables au vu du manque de cohérence interne de cette partie du questionnaire. Cependant les scores moyens retrouvés pour l'ensemble des items du questionnaire : 5.72 (+/- 1.75) avant appareillage et de 5.84 (+/- 1.79) après appareillage illustrent l'important engagement musical

retrouvé chez les patients appareillés. Sans être dans une démarche musicale active (58 % de la population se déclarant non musicien), les patients examinés n'en restent pas moins attachés à la musique et la mise en place de l'aide auditive ne semble pas avoir altéré cet engagement musical. Sans pouvoir conclure clairement, les scores mesurés après appareillage auditif tendent à s'améliorer par rapport aux scores avant appareillage. Cependant, la taille de l'effectif testé et le mode de passation choisi pour cette étude préliminaire ne permettent pas de conclure sur l'implication de l'aide auditive dans les habitudes musicales des patients testés. En effet, les questionnaires ont été administrés à des patients déjà appareillés au moment du test et, pour certains d'entre eux depuis plusieurs années. Pour ceux-ci, s'auto évaluer sur une situation du passé (assez lointaine pour certains), représente une source de variabilité supplémentaire qui sera sans doute atténuée lors d'une passation ultérieure sur une population d'individus intégrés au début de leur appareillage.

Le manque de corrélation entre les résultats au questionnaire LoA et les paramètres externes liés à l'appareillage et la perte auditive laisse supposer d'une faible implication des phénomènes perceptifs dans l'engagement musical évalué par les patients appareillés.

L'effet négatif de l'âge observé sur les scores au questionnaire LoA laissent supposer une plus grande implication des processus cognitifs sur l'engagement musical mesuré. Cette hypothèse devra être confirmée par le biais de tests cognitifs complémentaires dans une prochaine étude. Par ailleurs, la disharmonie retrouvée chez les personnes âgées (Alain et al., 2001) et le phénomène d'altérations du spectre auditif liés à la presbyacousie (Burns and Turner, 1986; Colin, 2016, p. 2016) devront aussi être pris en compte afin de mieux cerner le lien entre perte d'audition et engagement musical.

Conclusion

Cette première version du questionnaire de loisirs auditifs constitue une première étape dans l'exploration des habitudes musicales des patients appareillés. Les scores moyens obtenus dans cette étude préliminaire révèlent un grand engagement musical chez les patients appareillés. Pour comprendre leurs attentes, il s'avère primordial de mieux cerner la notion de plaisir auditif chez le déficient auditif. Le développement d'un outil de mesure de l'engagement musical au sens large, chez les patients appareillés, pourra permettre de mieux comprendre l'implication de la musique sur les capacités cognitives du patient presbyacousique et d'explorer les effets bénéfiques éventuels de l'écoute de la musique et de la pratique de loisirs auditifs, sur les capacités cognitives du patient âgé en déclin cognitif (Gómez Gallego and Gómez García, 2017; Klimova et al., 2017; Moreno-Morales et al., 2020).

v. *Audition du malentendant : questionnaire d'habiletés auditives (SSQ et intérêt d'une forme courte.*

Pour recenser les difficultés auditives du malentendant appareillé ou non, le questionnaire habiletés auditives SSQ (Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale) (Gatehouse and Noble, 2004a) est considéré aujourd'hui comme un « gold standard ». Cependant, sa forme longue originale de 49 questions peut être parfois fastidieuse à compléter pour les malentendants notamment pour les personnes âgées. Pour répondre à cette problématique en complément d'une version française traduite et validée (Moulin et al., 2015a), il existe aujourd'hui une forme courte plus pratique et rapide à mettre en place (Moulin et al., 2019a).

Le questionnaire d'effort d'écoute étant par ailleurs largement inspiré du questionnaire d'habiletés auditives SSQ, nous proposons ci-dessous une présentation plus détaillée de ce questionnaire SSQ et de son utilisation. Nous détaillerons aussi la création de la forme courte à 15 items ainsi que son intérêt auprès des populations malentendantes appareillées.

Utilisation du questionnaire d'habiletés auditives « Parole, audition spatiale et qualité d'audition » (« Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale) (SSQ) en audioprothèse

Pour quantifier les résultats prothétiques obtenus lors de l'adaptation de prothèses auditives, l'audioprothésiste dispose de nombreux outils bien connus de la profession : entretiens sous forme d'interviews avec le patient, mesures des seuils prothétiques tonaux et vocaux en champ libre, mesures acoustiques dans le conduit auditif ou au coupleur 2cc. Le questionnaire, par sa simplicité d'utilisation et de mise en place, est un outil intéressant mis à la disposition de l'audioprothésiste, mais il est encore peu utilisé en pratique clinique. Une enquête sur l'utilisation du questionnaire, menée chez 250 audioprothésistes fréquentant l'Enseignement Post Universitaire annuel, a montré que 26 % des audioprothésistes rapportaient avoir intégré les questionnaires à leur pratique(Axelle, 2013).

Cependant, avec l'arrivée de la réforme 100 % santé et les nouvelles règlementations qui l'accompagnent, l'intérêt pour cet outil est grandissant. Par ailleurs, un sondage récent, réalisé en collaboration avec le Syndicat des Audioprothésistes (SDA) et l'organisme de formation « Audioformea » ("Audiologie Demain,"

2021) sur les besoins en formation chez les audioprothésistes, montre que l'aspect « contrôle d'efficacité prothétique par mesure gain fonctionnel » ressort comme le thème le plus demandé à parts égales avec le thème des acouphènes.

Afin de favoriser l'utilisation des questionnaires chez l'audioprothésiste, nous proposons ici la présentation du questionnaire auditif « Parole, audition spatiale et qualité d'audition », Speech, Spatial and Qualities of hearing scale (SSQ) de Gatehouse and Noble, 2004 et son utilisation en pratique dans sa forme courte de 15 items, validée en français(Moulin et al., 2019a).

1. Origine de la SSQ et utilisation internationale

Le questionnaire SSQ (Gatehouse and Noble, 2004a) est un questionnaire d'auto-évaluation de la « déficience auditive ». Il est composé, dans sa version originale, de 49 questions (figure 24) illustrant diverses situations auditives du monde réel, pour lesquelles le patient est amené à évaluer ses capacités auditives sur une échelle visuelle analogique allant de 0 à 10 (où 10 correspond au score où le sujet est tout à fait à l'aise dans la situation d'écoute évoquée).

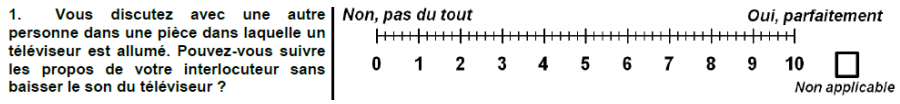


Figure 24 : Exemple de question provenant de la version française du questionnaire SSQ, échelle « parole ». (Moulin et al., 2015).

Les items sont groupés en trois sous-échelles : perception de la parole, audition spatiale et qualité d'audition. Un score global est calculé en faisant la moyenne de chaque réponse et un score, pour chacune des 3 sous-échelles, est attribué en faisant la moyenne des scores des questions correspondantes. Le questionnaire SSQ est aujourd'hui utilisé dans de nombreuses études(Ahlstrom et al., 2014; Anderson et al., 2013; Erdem and Çiprut, 2019; House et al., 2010; Killan et al., 2020; Noble et al., 2008; Pennini and Almeida, 2021).

La version française du SSQ a été réalisée en respectant les pratiques codifiées internationales (Acquadro et al., 2008; Epstein et al., 2015; Guillemin et al., 1993; Hall et al., 2018; Herdman et al., 1998) de traduction et de validation de questionnaire. La procédure, résumée ici, a consisté en plusieurs traductions indépendantes du questionnaire, puis une première version établie par un comité de traduction et de spécialistes en audiologie et audioprothèse. Cette première version a ensuite été soumise à un petit groupe de patients (« focus group ») et les impressions et

difficultés de chaque participant ont été compilées afin d'affiner la traduction initiale. Cette version a ensuite été validée dans des populations de plusieurs centaines de personnes : sujets normo-entendants, et patients malentendants non appareillés et appareillés. Les résultats de l'étude de validation de la version française ont ensuite été comparés avec les données de la littérature internationale, impliquant plusieurs versions dans des langues différentes, et montrant la cohérence, sur le plan international, des différentes versions linguistiques du SSQ (Moulin et al. 2015).

2. La forme courte en 15 questions (15iSSQ)

a. Nécessité d'une forme courte

Le questionnaire SSQ est un outil très pertinent pour tous les professionnels de l'audition qui s'intéressent aux ressentis auditifs de leurs patients. Par ailleurs, les thèmes explorés par le questionnaire (écoute de la parole, audition spatiale et qualité auditive) sont pertinents pour la pratique clinique audioprothétique et les scores du SSQ sont donc susceptibles d'être modulés par l'adaptation prothétique, d'où l'intérêt grandissant de l'utilisation de ce questionnaire en audioprothèse.

Cependant, la version initiale de 49 items s'avère être difficile à mettre en œuvre en pratique, tant sur le plan du temps de remplissage que de la charge cognitive nécessaire pour compléter un si long questionnaire, comprenant plus de 1000 mots à lire. Le temps de remplissage, mesuré sur une population de patients âgés malentendants (Moulin et al., 2015), peut ainsi varier de 10 min à 1 h pour les plus longs, avec un temps médian de passation de 17 minutes et de plus de 25 minutes pour 25 % de la population testée. Un questionnaire plus court, qui conserverait les mêmes propriétés psychométriques, et en particulier le respect des 3 sous-échelles qui permettent l'exploration d'aspects différents de l'audition, permettrait une meilleure acceptation du questionnaire par les patients et une mise en place simplifiée dans les laboratoires d'audioprothèse. C'est dans cet esprit que la forme courte en 15 questions du SSQ est née (Moulin et al., 2019).

b. Les formes courtes préexistantes

Plusieurs formes courtes ont été créées et sont résumées en annexe :

- Le SSQ5 (Demeester et al., 2012a)

C'est une version abrégée en 5 items créée à partir de la version néerlandaise du SSQ, à des fins de dépistage auditif sur une population de 127 normoentendants âgés de 18 à 24 ans et 109 patients presbyacousiques, âgés de 55 à 65 ans. Par le biais d'une analyse de cluster et de régression logistique, les réponses aux 49 items de la version originale du SSQ utilisée ont permis de réduire à 5 items : item 8 (sous échelle parole), items 3 et 9 (sous échelle spatiale) et items 9 et 14 de la sous-échelle qualité du SSQ. Une seconde étude d'application de la version courte SSQ5 sur différents types de population (normoentendants, patients sourds et patients en cours d'appareillage) a montré une bonne corrélation entre les scores du SSQ original et les scores du SSQ5 (89,6 %).

- Le SSQ12(Noble et al., 2013a)

Il s'agit d'une version courte de 12 items (SSQ12) provenant de la version britannique du SSQ validée sur une grande étude multicentrique. Les items de cette forme n'ont pas été choisis par une procédure codifiée, mais par leur proximité avec certains items de l'échelle du handicap auditif : HHQ (Gatehouse and Noble, 2004a) et par le choix de plusieurs praticiens. La corrélation entre le SSQ12 et le SSQ est excellente, mais la relation entre les scores au SSQ12 et les scores au SSQ n'est pas linéaire (Noble et al., 2013). Cette version ne respecte pas l'organisation en 3 sous-échelles.

- *Le SSQ15 et SSQ17 allemand* (Kießling et al., 2011)

Cette forme a été suggérée par une étude allemande qui visait la validation d'une traduction du SSQ et du SADL en allemand, sur une population de 256 patients appareillés. En utilisant les résultats d'une analyse factorielle sur un nombre limité de patients, Kiessling a proposé 5 items par sous-échelle, permettant une forme courte en 15 items, avec 2 items additionnels conservés pour leur intérêt clinique, donnant ainsi une forme à 17 items.

Cependant, aucune de ces formes courtes n'ont été construites selon les procédures codifiées de création des formes courtes de questionnaire (Putnam and Rothbart, 2006; Widaman et al., 2011) et n'ont été basées que sur l'analyse d'un seul échantillon. Cette approche aurait tendance à surestimer la fiabilité des résultats attendus sur la forme abrégée (Putnam and Rothbart, 2006). De plus, les corrélations entre forme courte et forme longue n'ont été établies que sur les mêmes questionnaires, reprenant les résultats d'un sous-groupe d'items, ce qui amène à une

surestimation des corrélations. Le développement des études internationales utilisant le SSQ a permis de disposer de scores de SSQ portant sur plusieurs populations de plusieurs pays, ouvrant la voie vers la possibilité de créer une forme courte en se basant sur plusieurs sets de données. Ainsi, la version du SSQ appelée 15ISSQ (pour la distinguer du SSQ15 allemand) a été créée, en utilisant une procédure basée sur les données internationales du SSQ, et en respectant la structure interne du SSQ en 3 sous-échelles.

c. *Principes de la réalisation de la forme courte : 15iSSQ.*

Comme pour la création d'un nouveau questionnaire, la réalisation d'une forme courte d'un questionnaire existant obéit à une méthodologie précise, afin de conserver au mieux les propriétés du questionnaire original. L'intégrité factorielle du questionnaire, c'est-à-dire sa construction en différentes sous-échelles de mesure, doit être préservée (Widaman et al., 2011) et plusieurs critères de qualité concernant les items doivent être respectés(Stanton et al., 2002) :

- Une qualité externe : l'interaction des items avec des variables externes au questionnaire (exemple : perte d'audition, asymétrie auditive) doit être préservée.
- Une qualité subjective : les difficultés perçues sur chaque item et le nombre de réponses manquantes doivent guider la sélection dans la création de la forme courte.
- Une qualité interne : la structure interne du questionnaire original doit pouvoir être préservée.

Dans la création de la forme courte française du questionnaire SSQ (Moulin et al., 2019), plusieurs étapes, conformes aux pratiques recommandées de la littérature internationale, ont été effectuées.

La première étape fut de repérer les items du SSQ qui présentaient le plus de réponses manquantes, dans plusieurs études internationales, ainsi que dans une grande population de patients français. La comparaison du nombre de réponses manquantes, par items, retrouvées dans une population française (Moulin et al., 2015) avec plusieurs études de la littérature, montre que les items présentant le plus de réponses manquantes sont similaires entre les différentes études : ainsi, l'item 2 de la sous-échelle Parole, l'item 14, 15, 16 de la sous-échelle Ecoute spatiale et les items 11, 16, 17, 18, 19 de la sous-échelle Qualité n'obtiennent souvent pas de réponse des patients.

Après cette première sélection, une analyse de corrélation des résultats de chaque items en fonction de la perte auditive, de l'asymétrie auditive, du niveau d'éducation et de l'âge du patient a été réalisée. Les items avec moins de 20 % de variance expliquée par les 4 facteurs ont été écartés et les items les plus sensibles à la perte auditive, et à l'asymétrie auditive ont été conservés. Les items présentant des corrélations avec des facteurs indésirables, par exemple, avec le niveau d'étude des patients, ont été éliminés. Enfin, les items présentant le plus de variabilité et les scores les plus faibles dans une population normo-entendante ont aussi été écartés.

La forme courte résultante est composée de 15 items (au lieu des 49 de la version originale) avec 5 items pour chacune des sous-échelles.

Afin de vérifier les propriétés psychométriques de cette nouvelle version courte et de la comparer avec la forme longue du SSQ, une nouvelle étude de validation a été effectuée.

d. *Validation de la forme courte*

i. Population et méthodes

L'étude de validation a été réalisée sur deux populations : un premier groupe (groupe A) (Moulin and Richard, 2016a) composé de 98 sujets normoentendants d'âge moyen 20,8 ans (+/— 2,2 ans) et 196 sujets atteints de surdité d'âge moyen 53,4 ans (+/- 17,1 ans) et un deuxième groupe (groupe B) indépendant du groupe A composé de 35 sujets normoentendants d'âge moyen 21,6 ans (+/— 2,7 ans) et 88 patients d'âge moyen 73,6 ans (+/- 16,2 ans) appareillés depuis 3,4 ans en moyenne (+/— 3,7 ans) avec un temps de port moyen des aides auditives de 10,4 heures par jour (+/- 5,1 heures).

Les sujets du groupe B ont complété la version originale du SSQ et la version abrégée à deux moments différents (séparés au minimum par 2 heures jusqu'à quelques jours). La forme courte du questionnaire a été présentée aléatoirement en premier à la moitié des sujets et en second à l'autre moitié. Enfin, les patients appareillés étaient chargés de remplir les questionnaires en se projetant dans la situation sonore décrite avec les aides auditives. Les résultats pour les deux groupes, sujets normoentendant et sujets avec une perte auditive, sont présentés et comparés aux autres formes du SSQ (figure 25).

ii. Résultats :

- Structure interne

Les analyses de structure interne de questionnaire, par analyse de cluster et par analyse en composantes principales, ont confirmé la structure en 3 sous-échelles, avec 5 items par sous-échelle, montrant donc une répartition identique à la forme originale. Le coefficient alpha de Cronbach, indice d'homogénéité d'un questionnaire, est supérieur à 0,92 pour les sous-échelles Parole et Écoute spatiale et compris entre 0,85 et 0,91 pour la sous-échelle Qualité.

- Relations entre formes courtes et forme longue :

Les corrélations entre les résultats entre les deux formes de questionnaire pour les deux groupes testés sont excellentes ($r=0.98$; $p<0.001$), avec une relation de linéarité entre les deux formes du questionnaire qui se traduit par les formules suivantes :

• ***15iSSQs = 0,931 × SSQ + 0.492*** (soit *par exemple pour* ***Score SSQ = 7,5*** *->* ***Score 15iSSQs= 0,931 x 7.5 +0,492= 7,47)***

- ***SSQ = 1 074 × 15iSSQs - 0,529*** (soit par exemple pour ***Score 15iSSQs= 4*** *->* ***Score SSQ = 1 074 × 4 - 0,529= 3,76***).

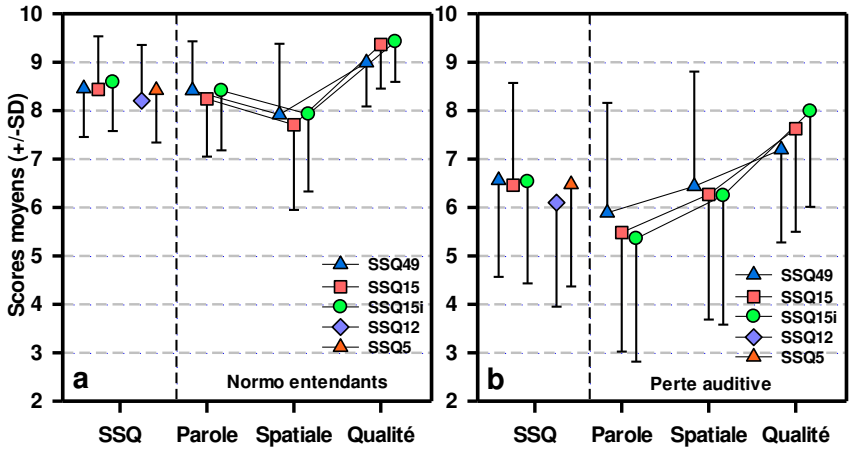


Figure 25 : Scores des différentes formes de Speech Spatial and Quality of Hearing Scale (SSQ) chez des sujets normoentendants (a) et des sujets avec perte auditive, non appareillés (b).

- Comparaisons entre formes courtes et forme longue :

Quelle que soit la forme (longue ou abrégée) du SSQ, les sujets normoentendants présentent de meilleurs scores par rapport aux sujets atteints de perte auditive. Cependant, l'écart des scores, entre ces 2 populations, varie selon la forme du SSQ. Ainsi, que ce soit chez les normoentendants ou les malentendants, les scores du SSQ12 sont systématiquement en deçà des scores du SSQ, alors que les autres formes courtes sont proches des scores du SSQ.

En revanche, les scores par sous-échelles diffèrent entre formes longues et formes courtes : pour les sujets normo entendant, aucune différence significative n'a été obtenue entre la forme complète et les formes abrégées pour les sous échelles Parole et Ecoute spatiale. En revanche, la sous-échelle Qualité a montré de meilleurs scores pour les formes courtes. Pour les malentendants, l'analyse de variance de Friedman n'a montré aucune différence significative pour la sous-échelle Spatiale ($\chi 2 = 10$, $df = 5$, $p = 0,07$), mais, pour la sous-échelle Parole, les formes courtes présentent des scores significativement plus bas que la version longue ($\chi 2 = 81,5$, $df = 5$, $p < 0,00001$), et donc un meilleur contraste entre normo et malentendants.

- Relations entre scores au SSQ et perte auditive

On retrouve des corrélations comparables, pour le SSQ15i et la forme longue, entre l'asymétrie auditive et les scores à la sous-échelle Audition spatiale (avec un coefficient de corrélation r=-0.34, p<0.001 pour la forme longue et r= -0,38, p<0.001 pour la forme courte).

Pour la perte auditive, la forme courte présente une sensibilité à la perte auditive supérieure à celle de la forme longue (Figure 26) : pour la même population, chaque augmentation de la perte auditive de 10 dB s'accompagne d'une baisse de score au SSQ de 0,6 point pour la forme longue et de 0,7 point pour la forme courte.

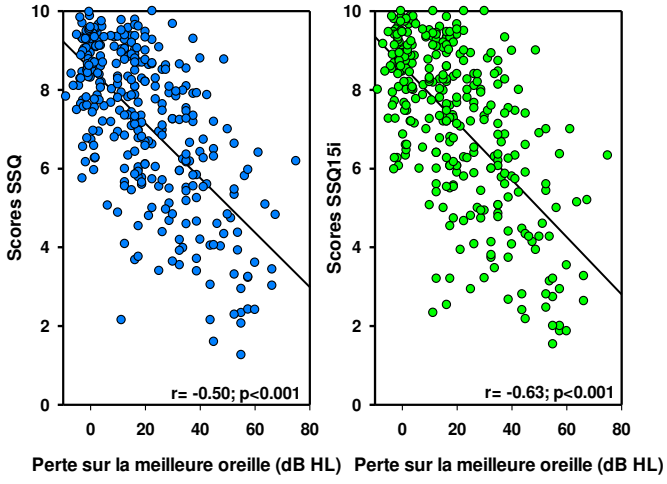


Figure 26 : Scores obtenus pour la forme courte SSQ15i (panneau droit) et la forme longue SSQ (panneau gauche) en fonction de la perte auditive sur la meilleure oreille (moyenne des fréquences 500, 1000, 2000, 4000 Hz) sur population de 314 personnes, non appareillées.

3. Intérêt de la forme courte 15iSSQ et quelques valeurs normatives

Au-delà d'une version existante et utilisable en français, l'utilisation de la forme courte 15iSSQ présentée ici peut s'avérer plus pertinente pour plusieurs raisons. Tout comme la version courte allemande (Kießling et al., 2011), elle présente une structure identique à la version originale du SSQ en 3 sous-échelles. Cette conservation de l'organisation en 3 sous-échelles permet au 15iSSQ de conserver au mieux les propriétés psychométriques du SSQ. De plus, il existe une relation de linéarité entre les scores du 15iSSQ et les scores du SSQ, qui permet de transposer un résultat obtenu avec la forme courte en un score équivalent pour la forme longue. Cette relation de linéarité entre forme longue et forme courte n'existe pas avec le SSQ12 (il s'agit d'une relation plus complexe).

Par ailleurs, lors de l'étude de validation de la forme courte 15iSSQ (Moulin et al., 2019) la modélisation des scores obtenus en fonction des caractéristiques auditives de la population testée a mis en évidence une influence nettement significative de deux facteurs : le niveau de perte d'audition et le degré d'asymétrie auditive, mesuré (spécifiquement pour la sous-échelle audition spatiale) avec la version 15iSSQ par rapport aux autres formes courtes déjà existantes. L'analyse des courbes de sensibilité/spécificité (receiver operating characteristic curve ou courbes ROC) a mis en évidence un contraste plus grand dans les résultats au 15iSSQ (par rapport au SSQ version longue) entre les sujets normoentendants et les sujets malentendants. Ainsi, le retentissement fonctionnel mesuré par le biais de cette forme courte du SSQ s'avère être plus corrélé aux capacités auditives du patient (avec une baisse de 0,72 point par 10 dB HL de perte auditive ; (Moulin et al., 2019)) que pour les autres formes courtes existantes (avec une baisse de 0,56 point pour le SSQ5 et de 0,70 point le SSQ12 par 10 dB HL de perte auditive). Dans le cadre d'une utilisation en centre d'audioprothèse, cette plus grande spécificité et sensibilité concernant la perte auditive est indispensable pour cerner aux mieux les difficultés auditives du patient appareillé.

4. Le point de vue de l'audioprothésiste

Bien qu'étant un outil pratique et simple à mettre en place, le questionnaire n'est pas toujours réalisable chez tous les patients. Le temps de concentration requis pour compléter le questionnaire peut être parfois difficile à tenir, notamment pour des sujets âgés présentant des troubles de la mémoire et/ou de l'attention. Par ailleurs, l'exercice d'auto-évaluation nécessite un questionnement sur son ressenti et s'avère parfois difficile à réaliser pour certains patients qui décident d'abandonner très rapidement le remplissage

du questionnaire. En effet, le format du questionnaire, composé de situations sonores décrites (comme le SSQ ou l'APHAB(Cox, 1995) par exemple) et sur lesquelles le patient doit s'autoévaluer, génère, pour certains , de grandes difficultés à répondre si la scène sonore décrite ne correspond pas exactement à leur vécu. Enfin, le questionnaire faisant appel à des situations du quotidien, il peut aussi déclencher, chez celui qui le complète, des réactions de frustration ou de tristesse, en lui rappelant des scènes de vie du passé qu'il ne rencontre plus dans son quotidien (sorties au restaurant par exemple). Il est donc important, également, de réduire le nombre d'items des questionnaires aux plus pertinents.

Par sa simplicité d'utilisation et sa rapidité de mise en œuvre, le questionnaire 15iSSQ s'avère être un outil très pertinent et efficace pour mieux explorer le ressenti de nos patients vis-à-vis de leur appareillage auditif, tant sur l'aspect du suivi prothétique que lors de l'adaptation. En fournissant rapidement (temps de remplissage entre 5 à 10 min) une mesure fiable et reproductible dans le temps, il représente pour l'audioprothésiste un support d'échange concret avec son patient sur son ressenti avec l'appareillage et sur l'évolution des résultats dans le temps. Après plusieurs mois d'appareillage, il est en effet difficile pour le patient de s'autoévaluer sur l'évolution de ses performances. Par l'intermédiaire du questionnaire (en complément des mesures de gain prothétique tonal et vocal), il peut à tout moment comparer ses résultats actuels avec ses scores précédents et constater plus concrètement ses progrès. De par son principe d'auto-évaluation, le questionnaire SSQ15 génère aussi une meilleure confiance du patient concernant les résultats obtenus. En évaluant lui-même ses performances, dans des situations proches de celles rencontrées dans sa vie quotidienne, le patient appareillé s'affranchit plus facilement de l'influence de l'audioprothésiste (beaucoup plus présente dans le cadre de l'entretien avec le patient par exemple). Enfin, la forme courte 15iSSQ en réduisant le questionnaire original de 49 à 15 items, permet un gain de temps non négligeable dans la mise en œuvre du questionnaire en centre d'audioprothèse, sans pour autant perdre en précision, dans la mesure où la sensibilité du questionnaire abrégé s'est avérée supérieure à celle mesurée avec la forme originale du SSQ.

3. Le cas particulier de l'effort d'écoute

a. Le questionnaire d'effort d'écoute (EAS)

Comme évoqué précédemment, du dépistage auditif à la satisfaction en passant par l'écoute spatiale ou la qualité auditive, il existe déjà plusieurs questionnaires utilisables en français pour quantifier au mieux les problèmes auditifs du sujet malentendant. Cependant, aucun ne s'intéresse vraiment à l'effort d'écoute. Dans le questionnaire SSQ détaillé plus haut, plusieurs items s'intéressent à l'effort d'écoute perçu (items 14, 16, 18, 19), mais le questionnaire ne constitue pas en soi un questionnaire dédié à l'effort d'écoute. En se basant sur ces items, un premier questionnaire spécifique à l'effort d'écoute a été créé : L'Effort Assessment Scale (EAS) (Alhanbali et al., 2017a).

Il s'agit d'une échelle composée de 6 questions relatives à l'effort d'écoute, fourni dans différentes situations sonores du quotidien (Figure27). Dans les détails, trois questions sont issues du SSQ (Gatehouse and Noble, 2004a) les items 1,2 et 6 de l'EEAS correspondant respectivement aux items 13 de la sous échelle Parole et 14, 15 de la sous échelle Qualité d'audition, les trois autres questions sont tirées d'un article de thèse, non publié (Alkhamra, 2010). Les réponses du sujet sont indiquées sous forme d'une échelle visuelle analogique allant de 0 à 10. Pour chaque situation d'écoute décrite, le patient attribue une note sur l'effort d'écoute ressenti, 0 correspondant à l'absence d'effort et 10 à un effort d'écoute intense. Le score total sur 60 est obtenu en additionnant chaque score des 6 questions.

1. Do you have to put in a lot of effort to hear what is being said in conversation with others?
2. How much do you have to concentrate when listening to someone?
3. How easily can you ignore other sounds when trying to listen to something?
4. Do you have to put in a lot of effort to follow discussion in a class, a meeting, or a lecture?
5. Do you have to put in a lot of effort to follow the conversation in a noisy environment (e.g., in a restaurant, at family gatherings)?
6. Do you have to put in a lot of effort to listen on the telephone?

EAS, effort assessment scale.

Figure 27 : Présentation des 6 items du questionnaire EAS (Alhanbali et al., 2017a).

Pertinent dans son approche de l'effort d'écoute au quotidien, le questionnaire EAS ne s'intéresse cependant que très succinctement à l'écoute dans le bruit (1 seule question relative au bruit) or le bruit représente souvent pour les sujets malentendants une situation sonore difficile qui nécessite de grandes ressources en terme d'effort d'écoute. Par ailleurs, la notion de réverbération, qui est aussi traitée par d'autres

questionnaires tels que l'APHAB (Cox, 1995) ou le SSQ (Gatehouse and Noble, 2004a), n'est pas du tout abordée dans les questions de l'EAS. Afin d'améliorer la précision du questionnaire EAS, nous proposons la création d'une version étendue : l'EEAS (Extend Effort Assessment Scale).

b. ÉTUDE 3 : Une nouvelle version étendue du questionnaire d'effort d'écoute (EEAS) et relations avec les habiletés auditives mesurées avec le SSQ.

Pour la création du questionnaire EEAS (Extended Effort Assessment Scale), les 6 questions de l'EAS ont été reprises, mais pour les 3 questions issues du questionnaire SSQ, chaque item a été divisé en deux conditions, une condition d'écoute dans le silence et une condition d'écoute dans le bruit. Enfin, une dernière question relative à l'effort d'écoute perçu dans une situation de réverbération a aussi été intégrée. La présentation des réponses sous forme d'une échelle visuelle analogique allant de 0 à 10 a été préservée et une case « non applicable » a été ajoutée dans le cas où le sujet ne se serait jamais retrouvé confronté à la situation sonore décrite (Figure 28).

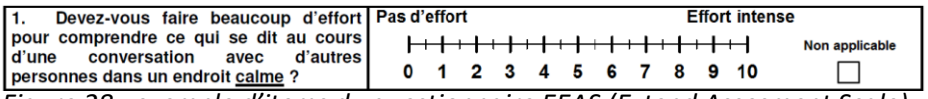


Figure 28 : exemple d'items du questionnaire EEAS (Extend Assesment Scale)

i.i.1.1. Version pilote évaluée par un groupe d'experts

Une première version pilote du questionnaire a été évaluée par un groupe d'experts dans le but d'harmoniser l'intitulé des questions et d'évaluer le format de réponse. Le groupes de testeur était constitué d'étudiants en audiologie, d'audioprothésistes, de chercheurs bilingues habitués aux traductions et aux adaptations de questionnaires. Une réunion de mise en commun des résultats a ensuite été réalisée afin de bâtir une version commune finale de l'EEAS.

i.i.1.2. Version finale du EEAS

Le questionnaire EEAS est composé de 10 questions relatives à des situations d'écoutes dans le bruit, dans le silence, dans les milieux réverbérants. Le score est présenté sous forme d'une échelle globale et de deux sous échelles (effort en milieu bruyant et effort en milieu silencieux). Le score global est calculé en faisant la moyenne des réponses aux 10 questions et les scores des deux sous échelles en faisant la moyenne des réponses aux questions numéro 2, 4, 9 pour la sous-échelle bruit et la moyenne des réponses aux questions 1, 3, 8 pour la sous échelle calme.

i.i.1.3. Validation sur une population de normoentendants

Population

La population est composée de 62 sujets normoentendants ; 38 femmes, 24 hommes ; d'âge moyen 24 ans (+/- 7,22 ans). Pour participer à l'étude, les sujets ne devaient pas présenter de troubles d'auditions, de problèmes praxiques ou cognitifs limitant leur capacité à répondre aux questionnaires.

Afin de vérifier leurs capacités auditives, tous les sujets intégrés à l'étude ont passé une audiométrie tonale avant de compléter les questionnaires et leurs seuils d'audition sont présentés figure 29**.** Une stricte sélection des sujets normoentendants a ensuite été effectuée en retenant un âge de 35 ans maximum ainsi qu'une moyenne des seuils auditifs sur les fréquences 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Hz inférieur à 20 dB sur les deux oreilles et une moyenne inférieur à 15 dB sur la plus mauvaise oreille.

Chaque sujet a ensuite été invité à compléter les questionnaires étendus EEAS. Enfin le questionnaire EEAS étant construit à partir des questions du SSQ, les sujets ont aussi été amenés à compléter le questionnaire SSQ, mais dans sa forme abrégée de 15 questions 15iSSQ (Moulin et al., 2015a).

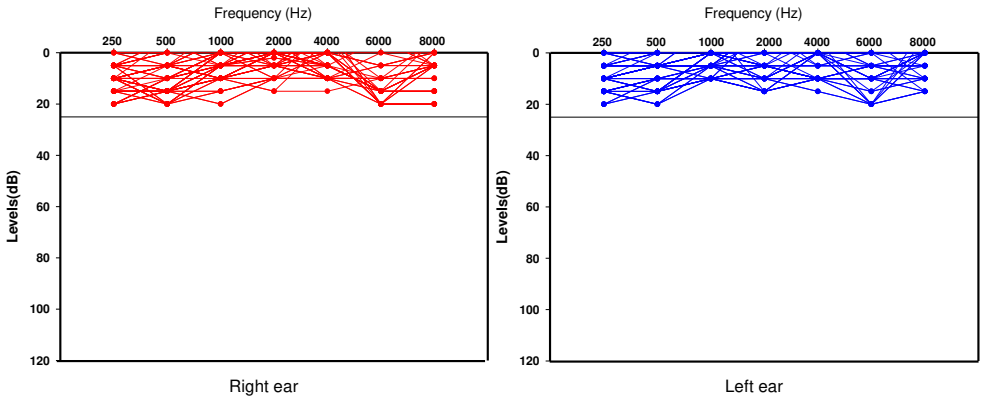


Figure 29 : Seuils d'audition des sujets du groupe des normo-entendants (n=62)

Passation des questionnaires et recueil des données

Les questionnaires ont été établis sous format papier. Tous les sujets testés ont complété les deux questionnaires directement au laboratoire de recherche en présence de l'examinateur afin de pouvoir recueillir les interrogations ou incompréhensions éventuelles sur chaque question. Afin de respecter les règles de protection de données, les réponses des sujets étaient recueillies en prenant soin de protéger leur identité par un code d'identification sans rapport avec leur nom, prénom ou date de naissance.

i.i.2. Validation sur une population de patients appareillés

Population

La population de patients appareillés (tableau 9) est composée de 481 sujets d'âge moyen 74 ans (+/- 11,4 ans), dont 56 % de femmes. Les patients intégrés dans l'étude provenant tous d'un centre de prothèse auditive, une audiométrie tonale en conduction aérienne et en conduction osseuse a été réalisée pour chaque oreille (avec masquage controlatéral si nécessaire) ainsi qu'une audiométrie vocale au casque oreilles séparées en utilisant les listes dissyllabiques de Fournier. Afin de mesurer l'apport des aides auditives, une mesure du seuil prothétique tonal et vocal avec les mêmes listes a été réalisée en champ libre avec des haut-parleurs. Tous ces tests ont été réalisés dans une cabine audiométrique insonorisée, les seuils en conduction aérienne dans chaque oreille ont été mesurés pour les fréquences 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 6000 et 8000 Hz avec un casque TDH 39. La conduction osseuse, quant à elle, a été réalisée sur les fréquences 250 à 4000 Hz avec un casque vibrateur placé sur la mastoïde. Un audiomètre calibré (Astera Otometrics) a permis d'effectuer les mesures et tous les seuils ont été mesurés en décibels Hearing Level (dB HL).

La perte d'audition présentée figure 30 est en moyenne de 48 dB sur la meilleure oreille (+/- 13,6 dB). Pour participer à l'étude, les patients devaient être appareillés depuis au minimum 1 mois et ne devaient pas présenter de troubles praxiques ou cognitifs limitant leur capacité à répondre aux questionnaires. Sur tous les patients testés, 87 % étaient appareillés avec un système RIC (Receiver-In-Canal), 4 % avec un système intra-auriculaire (INTRA) et 10 % avec un système BTE (Behind The Ear), 92 % des patients étaient appareillés des deux oreilles, 4 % uniquement de l'oreille droite, 4 % uniquement de l'oreille gauche.

Tout comme pour les normoentendants, les malentendants ont été invités à compléter les questionnaires étendus EEAS et la version abrégée du questionnaire SSQ, le 15iSSQ. Enfin, 69 patients issus de ce groupe ont été amenés à compléter de nouveau les questionnaires au bout d'un mois afin d'analyser la reproductibilité du questionnaire EEAS.

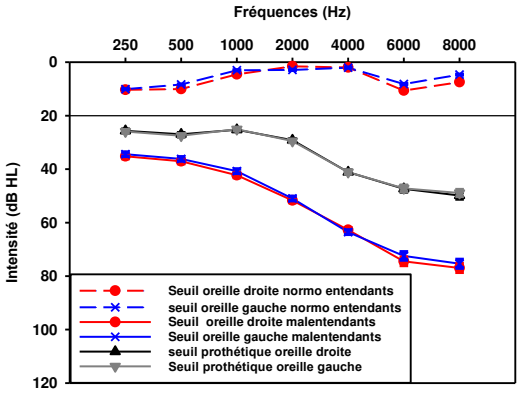


Figure 30 : Seuils auditifs avec et sans aides auditives de la population de sujets appareillés et comparaison avec la population normoentendante.

Nombre participants	481	
Age (en année)	**moyen**	74(± 11.4)
	Minimum	28
	Maximum	98
Répartition homme / femme (en %)	**Femme**	56
	Homme	44
Perte auditive moyenne sur la meilleure oreille (moyenne des seuils 500,1000,2000,4000 Hz en dB HL)	48 (± 13.6)	
Asymétrie moyenne avec appareils dB HL	5.6 (± 10.4)	
Répartition des appareillages (en %)	**Binaural**	92
	monaural droit	4
	monaural gauche	4
Différents type d'appareils (en %)	**RIC**	87
	INTRA	4
	BTE	10
Différentes gammes d'appareils (en %)	**Gamme 1**	27
	Gamme 2	26
	Gamme 3	36
	Gamme 4	11
	Gamme 5	1
Ancienneté moyenne appareillage (année)	4.67 (± 5.4)	
Ancienneté moyenne appareillage actuel (année)	0.5 (± 0.02)	
Temps de port moyen (heures/jour)	10.8 (± 4.6)	

Tableau 9 : Caractéristiques de la population de malentendants testée (N=481).

Passation du questionnaire

Tout comme pour les normoentendants, les questionnaires ont été établis sous format papier. Tous les sujets testés ont complété les deux questionnaires (EEAS et SSQ15), les questionnaires étaient distribués aux patients avec une enveloppe retour timbrée afin qu'ils puissent remplir le questionnaire chez eux et le retourner par voie postale. Certains patients ont préféré remplir directement les questionnaires au laboratoire d'audioprothèse, en bénéficiant ainsi de la présence de l'examinateur pour répondre aux interrogations éventuelles. Afin de respecter les règles de protection de données, les réponses des sujets étaient recueillies en prenant soin de protéger leur identité par un code d'identification sans rapport avec leur nom, prénom ou date de naissance. Par ailleurs, les patients du laboratoire ayant tous signés le règlement de protection des données du laboratoire (RGPD), l'ensemble des questionnaires récoltés par le laboratoire d'audioprothèse sont conservés au laboratoire dans un endroit sécurisé afin de protéger les données des patients.

i.i.3. Recueille des paramètres de la population (audiométrie, âge, étiologie, data log, type aca…)

Afin d'analyser les interactions entre les caractéristiques auditives des patients appareillés et leurs réponses aux deux questionnaires, plusieurs informations relatives à leur audition ont été collectées.

- L'audiométrie tonale avec et sans appareillage pour quantifier leur perte d'audition et le niveau de correction fourni par l'aide auditive.
- L'âge des patients ainsi que l'âge de leur perte d'audition et son étiologie afin de cerner leur perte auditive.
- L'âge de leurs aides auditives actuelles, la date du premier appareillage, le type d'appareillage (monaural ou binaural), le niveau technologique des aides auditives actuelles ainsi que le temps de port mesuré dans les aides auditives.

i.i.4. Analyse

Une analyse du taux de remplissage ainsi qu'une comparaison des scores pour chaque items des deux questionnaires a d'abord été effectuée. Par la suite, une comparaison des scores des différentes sous échelles a aussi été réalisée. La structure interne et la cohérence du questionnaire EEAS et du 15iSSQ ont été évaluées par des analyses factorielles exploratoires et des méthodes de classification hiérarchique. Des analyses de régression multiple ont été utilisées pour identifier les facteurs prédictifs les plus importants de chaque échelle et sous-échelle, parmi l'âge, les seuils d'audition avec aide auditive et sans aide auditive, l'asymétrie de l'oreille avec aide auditive et sans aide auditive,

l'expérience totale des appareils auditifs, l'âge actuel de l'aide auditive et son utilisation quotidienne.

i.i.5. Résultats

Les résultats de cette étude ayant fait l'objet d'une publication soumise dans une revue à comité de lecture, nous présenterons ci-dessous un résumé des principaux résultats. L'article, rédigé selon les instructions aux auteurs de « *Ear and Hearing* », journal international à comité de lecture, est présenté en intégralité. La version en Français de l'EEAS est présentée dans les « *cahiers de l'audition »* (Ferschneider et al., 2022).

Les objectifs de cette étude sont triples :

1. Étendre l'Échelle d'évaluation de l'effort d'écoute (EAS) de (Alhanbali et al., 2017) pour prendre en compte l'effort d'écoute quotidien dans des environnements calmes et bruyants.

2. Explorer les caractéristiques de cette nouvelle version de l'EAS (EEAS) chez des participants normoentendants et chez des patients malentendants appareillés.

3. Comparer l'effort d'écoute mesuré par le questionnaire EEAS, avec les capacités auditives mesurées par une forme abrégée du questionnaire d'habiletés auditives, le Speech Spatial Qualities de (Gatehouse et Noble (2004) : le 15iSSQ.

Matériel et Méthode

La population étudiée est composée de 62 sujets adultes normoentendants de moins de 35 ans (NH) et de 481 malentendants porteurs d'appareils auditifs (HIHA) avec un âge moyen de 74 ans (+/- 11,4 ans). Les deux groupes ont complété le 15iSSQ et l'EEAS, construit à partir de l'EAS et complété par plusieurs items afin d'obtenir un score d'effort d'écoute quotidien dans des environnements calmes et bruyants, en utilisant une échelle visuoanalogique graduée de 0 (aucun effort) à 10 (effort maximal).

La structure interne et la cohérence du questionnaire EEAS et du 15iSSQ ont été évaluées par des analyses factorielles exploratoires et des méthodes de classification hiérarchique par clusters. Des analyses de régression multiple ont été utilisées pour identifier les facteurs prédictifs les plus importants de chaque échelle et sous-échelle, parmi l'âge, les seuils d'audition avec aide auditive et sans aide auditive, l'asymétrie de l'oreille avec aide auditive et sans aide auditive, l'expérience totale des appareils auditifs, l'âge actuel de l'aide auditive et sa durée d'utilisation quotidienne.

Résultats

Les scores obtenus au questionnaire EEAS étaient très proches des scores EAS originaux, avec une corrélation de ($r=0,99$, $p<0,0001$) et une bonne cohérence interne.

L'analyse factorielle exploratoire réalisée conjointement sur l'EEAS et le 15iSSQ a identifié 2 constructions distinctes correspondant aux échelles EEAS et 15iSSQ, elles-mêmes composées de 2 sous-échelles pour l'EEAS relatives à l'effort d'écoute dans le calme (EEAS silence) et l'effort d'écoute dans le bruit (EEAS bruit) et de 3 sous-échelles pour le 15iSSQ (15iSSQ parole, 15iSSQ spatiale et 15iSSQ qualité).

Pour les patients appareillés, le score au 15iSSQ a diminué de 0,66 point pour chaque point d'augmentation de l'EEAS ($r=-0,61$, $p<0,0001$). La relation la plus étroite entre les deux échelles a été retrouvée entre la sous échelle 15iSSQ parole et la sous échelle EEAS bruit ($r=-0,63$) et s'est avérée plus forte dans le groupe des normoentendants.

Les scores EEAS étaient significativement plus élevés dans le groupe de patients appareillés (5,1, SD = 2,05) que chez les normoentendants (2,52, SD = 1,6), $t = 9,4$, $p < 10\text{-}17$ avec un d de Cohen à 1,27. Aucune différence statistiquement significative n'a été obtenue pour le score différentiel EEAS bruit-silence entre les deux groupes : $F(1, 540)=2$, $p=0,16$, avec 3,3 (SD=1,9) pour le groupe des normoentendants versus 3,7 (DS=2,1) pour le groupe des malentendants.

Pour le 15iSSQ, comme prévu, les scores totaux étaient significativement plus bas pour le groupe de patients appareillés (6,51, SD=1,92) que pour celui de normoentendants (8,5, SD=1,13) ($F (1, 523)=58$, $p < 2,6 \times 10\text{-}13$, $\eta 2 =0,097$).

Le pourcentage de patients appareillés dans la plage « pathologique », correspondant à un effort d'écoute excessif, était significativement plus élevé pour la sous-échelle EEAS silence que pour la sous échelle EEAS bruit ($\chi 2=5,7$, (1), $p<0,02$) avec une différence significative entre l'EEAS et EEAS silence ($\chi 2=4,4$, (1), $p<0,04$). Pour le 15iSSQ, le pourcentage de patients dans la plage « pathologique » différait significativement entre 15iSSQ et EEAS ($\chi 2=31,5$, (1), $p<0,0001$). Les pourcentages de scores « pathologiques » du 15iSSQ spatiale étaient significativement inférieurs aux pourcentages obtenus avec le 15iSSQparole ($\chi 2=54,7$, (1), $p<0,0001$) et ceux obtenus avec le 15iSSQ qualité ($\chi 2=44$, (1), $p< 0,0001$).

L'analyse de régression multiple a identifié des facteurs prédictifs différents pour les deux échelles : les scores aux 15iSSQ étaient fortement prédits par le seuil d'audition sur la meilleure oreille et, dans une moindre mesure, par la durée d''utilisation quotidienne de l'aide auditive et l'expérience avec l'aide auditive. L'âge et l'asymétrie des seuils auditifs oreilles appareillées étaient également des prédicteurs significatifs. À l'inverse, les scores obtenus avec l'échelle EEAS étaient faiblement

prédits par le seuil auditif sur la meilleure oreille, mais fortement prédits par l'expérience du patient avec l'aide auditive. La sous échelle EEAS Silence est expliquée par le seuil auditif, de manière équivalente à l'expérience avec l'appareillage auditif, alors que la sous échelle EEAS Bruit était principalement expliquée par l'expérience de l'appareillage auditif. Les scores EEAS ont augmenté de manière significative avec l'âge de l'aide auditive actuelle, sans aucune relation avec l'âge, ni avec le temps de port quotidien de l'aide auditive. En revanche, l'âge et le temps de port quotidien de l'aide auditive retrouvent une relation avec les scores 15iSSQ.

Conclusion

Bien que les échelles 15iSSQ et EEAS partagent des situations d'écoute communes et un format de réponse identique par le biais d'une échelle visuoanalogique, elles explorent des aspects différents de la perte auditive. Les scores 15iSSQ proches des variables audiométriques étaient associés à la durée d''utilisation quotidienne de l'aide auditive, tandis que les scores de l'EEAS dépendent principalement des facteurs liés à l'aide auditive, en particulier l'expérience du patient avec l'aide auditive. L'effort d'écoute quotidien, tel qu'évalué par l'EEAS, saisit des dimensions complémentaires aux dimensions explorées par le 15iSSQ. Ces nouvelles informations fournies par l'EEAS seront très utiles dans le cadre de l'adaptation prothétique des aides auditives.

Listening effort and hearing abilities in hearing-aided hearing-impaired patients: two sides of the same coin.

Mathieu Ferschneider[1,2,3], Annie Moulin[1,2]

Affiliations, 1. Lyon Neuroscience Research Center, Perception, Attention and Memory (PAM), Inserm U1028, CNRS UMR 5292, University of Lyon, F-69000 Lyon, France, 2. Université C. Bernard Lyon 1, Lyon, France, 3. Audition Conseil, Lyon, France,

ABSTRACT

Listening effort and hearing abilities in hearing-aided hearing-impaired patients: two sides of the same coin.

Objectives

To extend the Effort Assessment Scale (EAS) to take into account daily listening effort in quiet and in noisy environments.

To explore the characteristics of this extended EAS (EEAS) in normally hearing participants and in hearing-aid wearers.

To compare the listening effort measured by the EEAS, with hearing-abilities measured by a short-form of the Speech, Spatial and hearing Qualities scale (15iSSQ).

Design

The population involved was composed of 62 adult normally hearing subjects under 35 years old (NH) and 481 hearing-impaired, hearing-aid (HA) wearers (HIHA) with an average age of 74 years (+/- 11.4 years). Both groups completed the 15iSSQ and the EEAS, which is built from the EAS and completed by several items in order to obtain a score of daily listening effort in quiet and in noisy environments, using a visuo-analogue scale graded from 0 (no effort) to 10 (maximum effort).

Internal structure and consistency of both EEAS and 15iSSQ were assessed by exploratory factor analyses and hierarchical clustering methods. Multiple regression analyses were used to identify the most important predictors of each scale and subscale, amongst age, aided and unaided hearing thresholds, aided and unaided ear asymmetry, total hearing-aid experience, current HA's age and daily HA use.

Results

EEAS scores were very close to the original EAS scores, with a correlation of ($r=0.99$, $p<0.0001$) and good consistency. The EFA on both EEAS and 15iSSQ combined, identified 2 separate constructs corresponding to the EEAS and the 15iSSQ, themselves composed of 2 subscales for the EEAS, pertaining to listening effort in quiet (EEAS*quiet*) and listening effort in noise (EEAS*noise*) and the expected 3 subscales for the 15iSSQ (15iSSQ*speech*, 15iSSQ*spatial* and 15iSSQ*qualities*).

For HIHA, 15iSSQ decreased by 0.66 point for each point of EEAS increase ($r=-0.61$, $p<0.0001$). The closest relationship between both scales was between 15iSSQ*speech* and EEAS*noise* ($r=-0.63$), and was stronger in NH than in HIHA. Both scales differed by several predictors: 15iSSQ was strongly predicted by better ear hearing threshold, and to a lesser degree, by daily HA use and total HA experience. Age and aided ear asymmetry were also significant predictors. Conversely, EEAS was weakly predicted by better ear hearing

threshold, but strongly predicted by total HA experience. EEAS*quiet* was predicted by better ear hearing threshold on par with total HA experience, whereas EEAS*noise* was mostly predicted by total HA experience. EEAS scores increased significantly with current HA's age, without any relationship with age, nor with daily HA use, which showed relationship with 15iSSQ scores.

Conclusions

Although both the 15iSSQ and EEAS scales share common listening situations and similar visuo-analog scale, they explore different constructs. The 15iSSQ scores is close to the audiometric variables and was associated with the daily HA use, whereas the EEAS is mostly dependent on HA related factors, especially to the total HA experience. Daily listening effort, as assessed by the EEAS, captures dimensions that are complementary to what is explored by the 15iSSQ, which would be useful as an outcome measure of hearing rehabilitation.

Abbreviations List

CFA: Confirmatory factor analysis

dB HL: decibel Hearing Level

EAS: Effort Assessment Scale

EEAS: Extended Effort Assessment Scale

EEASnoise: Noise subscale of the EEAS

EEASquiet: Quiet subscale of the EEAS

EEASnoise3: Noise subscale of the EEAS made up of items #EAS_2, #EAS_4 and #EAS_9

EEAS*noise-quiet:* differential score of noise and quiet subscale of the EEAS.

EFA: Exploratory Factor Analysis

HIHA: Hearing-Impaired, Hearing-Aid wearers

HI: Hearing-Impaired patients

LSEQ: listening self-efficacy questionnaire

NH: Normally Hearing people

HA: Hearing-Aid

HL: Hearing level

M_Anova: Mixed Analysis of Variance

15ISSQ: 15 items short-form of the Speech Spatial Qualities of hearing scale

SSQ: Speech Spatial Qualities of hearing scale

15iSSQspeech: Speech subscale of the 15iSSQ

15iSSQspatial: Spatial subscale of the 15iSSQ

15iSSQqualities: Spatial subscale of the 15iSSQ

RMSEA: root mean squared error of approximation

RMSR: root mean square of residuals

TLI: Tucker-Lewis index,

CFI: Comparative fit index

INTRODUCTION

Compensating for hearing impairment involves much more than simply enhancing a degraded peripheral signal, as bottom up and top down mechanisms are intertwined. Indeed, the links between hearing and cognitive abilities are well established (Arlinger et al., 2009b; Lin et al., 2013a; Pichora-Fuller et al., 2016b; Rönnberg et al., 2013a). To compensate for the degradation in peripheral neuro-sensory information, hearing-impaired patients have to use and rely on their cognitive resources. Acoustic compensation provided by hearing-aids (HA) involves an increase in the amount of information to be processed by the patient, involving a period of acclimatization (Gatehouse, 1992; Munro and Lutman, 2003; Wright and Gagné, 2020), underpinned by auditory plasticity (Dawes et al., 2014a; Dawes and Munro, 2017a; Giroud et al., 2017; Megha and Maruthy, 2019), hence increasing the cognitive involvement and mental effort. Thus, to better understand the difficulties perceived by the hearing aid wearers, it is essential to take a better account of this additional cognitive load and how it is felt by the listener, in terms of effort and fatigue.

Listening effort has been defined by McGarrigle et al. (2014) as the "*mental effort required to listen to and understand an auditory message*" or, by (Pichora-Fuller et al., 2016b) as "*the mental load required to overcome the obstacles associated with listening to an auditory scene*". It involves several cognitive functions such as attention, (Dawes and Munro, 2017b; Kahneman, 1973b), inhibitory control (Stenbäck et al., 2021), working memory (Gordon-Salant and Cole, 2016a; Rönnberg et al., 2008; Smith et al., 2016a) and is linked to the patient's age, independently of his hearing threshold (Degeest et al., 2015b; Stenbäck et al., 2021; Ward et al., 2017b). Self-assessment of listening effort is also influenced by perceived fatigue and motivation to perform the task. In the Framework for Understanding Effortful Listening model (FUEL) (Pichora-Fuller et al., 2016), motivation and the positive feedback received during the performance during a listening task, represent the main factors influencing the perceived effort. Listening effort hence results from the combination of the task difficulty, cognitive ability and motivation to perform the task. This multidimensional aspect of listening effort makes individual's measurements of listening effort quite dependent on the method used.

Several types of listening effort measures have already been used: measures of physiological responses during speech perception tasks, such as electroencephalography (EEG) (Bernarding et al., 2017; Giroud et al., 2017; Miles et al., 2017), functional Near-Infrared spectroscopy (fNIRS)(Lawrence et al., 2018b; Rovetti et al., 2019b), electrodermal conduction (Giuliani et al., 2020; Holube et al., 2016) or pupillometry (Naylor et al., 2018; Wagner et al., 2019; Winn et al., 2018; Zekveld and Kramer, 2014). Behavioural measures include reaction times (Giuliani et al., 2020), with or without the dual-task paradigm (Desjardins and Doherty, 2014; Sommers and Phelps, 2016) and self-report measures through visual analog scales (Bräcker et al., 2019) or through questionnaires such as the NASA task load index (Hart and Staveland, 1988). Comparing a number of those different measures in a large sample of 116 hearing-impaired patients, (Alhanbali et al., 2019b) obtained only a weak correlations between them, suggesting that each measurement method explores a different dimension of listening effort which depends on the nature of the task and patient's engagement in the task.

In the case of challenging listening situations, increased listening effort is a requirement to understand the auditory message and to compensate, at least partly, the hearing handicap (Hornsby, 2013; Zekveld et al., 2011). However, a prolonged listening effort is likely to generate cognitive fatigue and lapses in directed auditory attention (Bess and Hornsby, 2014; Hornsby et al., 2016; Kramer et al., 2006b). On a daily basis, a prolonged listening effort asked from hearing-impaired people can also impact their social behaviour, with avoidance of challenging situations (Hétu et al., 1993), and their quality of life (Gopinath et al., 2012). It can also increase general fatigue (Nachtegaal et al., 2009). Although some studies have evidenced a link between hearing-aids and decreased listening effort (Gatehouse and Noble, 2004b; Hornsby, 2013; Oates et al., 2002), there is no consensus on reduction of listening effort by hearing aids (Ohlenforst et al., 2017). The lack of standardisation between the different measurement methods used, and the importance of motivation related to the listening task may explain such differences. In addition, to better understand the listening effort of the HA wearer, it is necessary to measure the listening effort in a more ecological way, i.e., by measuring the mental effort felt in daily life (Timmer et al., 2018b). Hence, a self-assessment scale, based on the listening effort perceived in daily life, would appear to be useful, especially by its simplicity of use and ease of implementation.

Indeed, many different questionnaires have been developed for assessing hearing-impaired patients at large. A recent review of existing questionnaires in otology (Viergever et al., 2021b) counted more than 155 different forms of validated questionnaires, with 84 forms specific to hearing loss. In current practice, the self-assessment scales are mostly used to measure the level of hearing impairment, its impact on daily activities and the benefit perceived by HA wearers. For the latter, the most reported scales include the APHAB scale (The Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit) (Cox and Alexander, 1995) which is composed of 24 items, grouped in 4 subscales (Ease of communication, background noise, reverberation, aversiveness), and allows to assess the sound quality with and without HA in different listening situations. The GHABP (Glasgow Hearing Aid Benefit Profile) (Gatehouse, 1999), is aimed at measuring the handicap level of hearing loss and the effect of hearing aids, using items related to everyday situations (e.g., watching television with family or friends, having a conversation with another person…). More recently, Gatehouse and Noble (2004) designed the Speech Spatial and Qualities of hearing scale (SSQ), with the aim of enriching and enlarging the different everyday communication situations hearing-impaired patients are asked to report about, to assess hearing disabilities in a world as close as possible to the real world in which patients live. This self-report scale, composed of 49 items grouped in 3 subscales (Speech, Spatial, and Qualities of hearing), consist, for the patient, to self-assess his ability, on a visuo-analog scale graded from 0 to 10, to perform the tasks described, tasks that reflect daily life situations (e.g., to follow a conversation amongst several talkers). The SSQ can thus be perceived as a hearing abilities scale. With its numerous validated translations (Demeester et al., 2012b; Gonsalez et al., 2015; Kießling et al., n.d.; Lotfi et al., 2016; Moulin et al., 2015a; Tufatulin and Artyushkin, 2016) and studies (more than 140 counted using a quick keyword search), and several short-forms (Dawes et al., 2014b; Moulin et al., 2019b; Noble et al., 2013b), the SSQ can be considered to be an international gold standard. However, the SSQ is not designed to assess listening effort: indeed, very few items address that aspect : only 3

items relative to perceived listening effort appear in the qualities subscale of the SSQ. In addition, as the psychometric properties of those items were not the most relevant, nor the most sensitive to hearing-impairment, they were not retained in the short-forms. The SSQ focuses mainly on the hearing abilities of patients, with the great majority of items asking how well they are able to perform the task depicted. Many patients can choose a score close to 10, (i.e., they are able to do the task) even though they can achieve the task only at the cost of an increased mental effort. Often patients report that that they cannot sustain some of the situations depicted for very long and that it tires them, suggesting therefore another dimension, beyond hearing ability: the extra-effort they need to deploy, that is not necessarily captured by the SSQ. In order to fill this gap, i.e., to quantify the listening effort perceived on a daily basis, the Effort Assessment Scale (EAS) was designed (Alhanbali et al., 2017a) and used to explore the relationship between listening effort and fatigue, assessed by the Fatigue Assessment Scale (Michielsen et al., 2004). Factor analysis showed a clear separation between the EAS and the FAS, suggesting that the two scales explore different dimensions in hearing impaired people, with a weak positive correlation observed between EAS and FAS. Alhanbali's EAS represents thus the first questionnaire-type tool aimed specifically at measuring listening effort in the situations met daily by hearing-impaired patients. It is composed of 6 items, each depicting daily life situations close to the ones depicted by the SSQ, for which the patient needs to evaluate his listening effort on a visual analogue scale graduated from 0 (no effort) to 10 (maximum effort).

The EAS showed greater listening effort in 3 groups of 50 hearing-impaired patients (HIHA, single sided deafness and cochlear implantees) compared to an age-matched control group, but no significant differences according to type and importance of hearing-loss were obtained (Alhanbali et al., 2017b). The cochlear implant group showed the highest proportion of intense listening effort (as defined by being above the 95^{th} percentile of listening effort obtained in the control normally-hearing group) experienced: 54% versus 52% for the Single Side Deafness group and 46% for the conventional HA group. In a later study involving 84 HI patients, most of them HA wearers, a strong correlation (r=0.74) was observed between EAS scores and the hearing handicap inventory for elderly (HHIE) scores and Alhanbali et al. concluded on the potential of the EAS as an outcome measure. The weak but significant correlation between EAS and FAS, and the absence of relation between EAS and hearing threshold was confirmed (Alhanbali et al., 2018b). Although no significant correlations were obtained between hearing threshold and listening effort, significantly greater EAS listening effort scores were associated with poorer performances in a speech in noise task (Alhanbali et al., 2018b). However, although some items of the EAS scale are issued from the SSQ, the listening effort perceived specifically in noisy environments is not specifically addressed by the EAS. In fact, only #EAS5 ("*Do you have to put in a lot of effort to follow the conversation in a noisy environment?*") refers to it, the other items, although possibly applicable to noisy situations, do not state clearly the presence of noise in the situation depicted. for instance, item #EAS6, " Do you have to put in a lot of effort to listen on the telephone?", implies more an environment with no background noise than a noisy one. Actually, our first pilot tries of the EAS yielded a frequent query by the patients, stating that their answer would be different whether the situations depicted were in noisy environment or not. As being able to understand speech in everyday

situation is of paramount importance for hearing-impaired patients, and as noisy environments are far more common in daily life than completely quiet ones, it seemed relevant to address listening effort specifically in quiet and noisy environments. Indeed, the difference in listening effort in quiet and noisy environments could give some clues as to the patients' hearing abilities and the potential hearing benefit provided by a HA : we would expect a greater (and earlier in life) increase in listening effort in noise than in quiet situation. Therefore, we proposed here to extend the EAS, creating an extended version, the Extended Effort Assessment Scale (EEAS), in order to take into account listening effort in quiet and in noisy situations.

The EEAS was first translated into French language using the recognized translation and validation methods already used for cultural adaptation of the SSQ (Moulin et al., 2015a). This EEAS was then validated in a large hearing-impaired hearing-aided (HIHA) population of 481 patients. The internal validity was assessed by internal structure analysis (exploratory factor analysis, cluster analysis and consistency measures), and external validity indexes, such as correlations between EEAS scores with patients' characteristics (such as age, hearing-impairment or history of hearing-aid use) were obtained. In addition, we aimed at comparing how patients rate their listening effort (via the EEAS) and how they rate their hearing abilities, via the 15iSSQ, which is a validated short-form of the SSQ (Moulin et al., 2019). This comparison allowed the characterization of the differences between what is perceived as "hearing abilities" and what is perceived as "listening effort". Indeed, the mode of query and situations depicted in both the EEAS and 15iSSQ are very similar, but differ in that the 15iSSQ asks the "ability" to perform a task, whereas the EEAS asks how much effort the patient needs to put to perform the task. This comparison allowed the description of the differences between EEAS and 15iSSQ, that acted as separate scales in the internal structure analysis and behaved differently in relation to patients's characteristics. Lastly, we were able to further assess the predictors of the 15iSSQ scores and the specificity of its subscales in a large hearing-impaired hearing-aided population, as the initial validation of the 15iSSQ was performed on a large population of hearing-impaired non HA wearer and a much smaller population of hearing-aided patients (Moulin et al. 2019).

Material and Methods

1. From the EAS to the Extended EAS (EEAS)

1.1 Translation and validation of a French language version of the EAS scale.

The cross-cultural adaptation and French language translation of the EAS followed the same procedures and guidelines as the ones adopted for the translation and validation of the French language SSQ (Moulin et al., 2015). We used a multistep translation procedure recommended by the European Regulatory Issues on Quality of Life Assessment group (Acquadro et al., 2008) involving several independent translations and a translation committee composed of 2 French native hearing-care professionals, two speech therapists all with a working knowledge of English, and a bilingual translator previously involved in the translation of the SSQ. The final

translation was then refined thanks to the remarks of a small focus group of 10 French native hearing-aid wearers.

1.2. Creation of the extended EAS

To take a better account of the listening effort observed in more challenging situations such as listening in noise, several items were added to the initial EAS: #EAS1, #EAS2 and #EAS6 from the original EAS scale were transformed into 2 items each, reflecting listening in a quiet and in a noisy environment, in a similar way as Smith et al. (2011) did for the listening self-efficacy questionnaire (LSEQ), with items in quiet and items in noise. A 10^{th} item, pertaining to the listening effort perceived in a reverberating environment (e.g. airport, churches, shopping malls) was added. This resulted in 3 items pertaining specifically to listening effort in quiet environments, whereas the remaining 7 items pertained to listening in noisy environments.

The extended EAS (EEAS) thus comprises 10 items, with the same visual analogue scale as the initial EAS. Similarly to the 15iSSQ, an option, in the form of a "not applicable" box, was added to each item, to take into account the situations in which the patient didn't want to answer that item, because either he/she didn't understand the question, or either he/she estimated not having met the specific situation described. The resulting EEAS scale, with the correspondence with the original EAS items, is provided, in an English translation, in figure 1.

		Item text		2 factors	3 factors	4 factors	5 factors
Extended Effort Assessment Scale (EEAS)	EAS1q	Do you have to put in a lot of effort to hear what is being said in conversation with others, in a quiet environment?	EEAS1	24% F2	21% F2	20% F2	8% F1
	EAS1n	Do you have to put in a lot of effort to hear what is being said in conversation with others, in a noisy environment?	EEAS2				
	EAS2q	How much do you have to concentrate when listening to someone, in a quiet environment?	EEAS3				
	EAS2n	How much do you have to concentrate when listening to someone, in a noisy environment?	EEAS4				17% F3
	EAS3	How easily can you ignore other sounds when trying to listen to something?	EEAS5				
	EAS4	Do you have to put in a lot of effort to follow discussion in a class, a meeting, or a lecture?	EEAS6				
	EAS5	Do you have to put in a lot of effort to follow the conversation in a noisy environment (e.g., in a restaurant, at family gatherings)?	EEAS7				
	EAS6q	Do you have to put in a lot of effort to listen on the telephone, in a quiet environment ?	EEAS8				
	EAS6n	Do you have to put in a lot of effort to listen on the telephone, in a noisy environment ?	EEAS9				
		Do you have to put in a lot of effort to understand annouvements made by loudspeakers, in train stations, airports, underground stations, stadium or a supermarket ?	EEAS10				
15iSSQ (Speech, Spatial & Qualities of hearing scale)	Speech	Talking with one person with TV on	15iSSQ1		14% F3	13% F3	14% F4
		Conversation 5 people noise with vision	15iSSQ2				
		Talking with one person in continuous noise	15iSSQ3				
		Conversation 5 people noise without vision	15iSSQ4				
		Follow one conversation when many people talking	15iSSQ5				
	Spatial	Locate speaker around a table	15iSSQ6	27% F1	25% F1	16% F1	15% F2
		Locate dog barking	15iSSQ7				
		Locate vehicle from footpath	15iSSQ8				
		Identify lateral movement (voice or footsteps)	15iSSQ9				
		Sounds in expected location	15iSSQ10				
	Qualities	Identify different people by voice	15iSSQ11			14% F4	13% F5
		Distinguish familiar music	15iSSQ12				
		Distinguish different sounds	15iSSQ13				
		Naturalness of music	15iSSQ14				
		Clarity of everyday sounds	15iSSQ15				
		cumulative variance explained	var	55%	60%	63%	67%
		Fit indexes	TLI	0.76	0.81	0.87	0.92
			CFI	0.8	0.86	0.91	0.95
			RMSR	0.07	0.06	0.04	0.02
			RMSEA	0.12	0.11	0.08	0.07
		communalities	min	0.29	0.3	0.33	0.38
			max	0.8	0.82	0.85	0.99
			mean	0.52	0.58	0.62	0.68

Figure 1: Presentation of both 15iSSQ and EEAS scales and outcomes of exploratory factor analysis, performed in a population of 481 hearing-aid wearers.

The left part shows the different 15iSSQ (yellow/orange) and EEAS items (blue/purple). The correspondence between the EEAS items and the original EAS items is given in the second columns: items EAS1, EAS3 and EAS8 have been duplicated, with one item in quiet (q) and one item in noise (n). The different colours correspond to the different subscales of the EEAS and 15iSSQ. The EEAS item texts and the abbreviated texts of the 15iSSQ items are mentioned in the third column. Item numbers for both questionnaires are mentioned in the 4th column. The different number of factors extracted (from 2 to 5) are presented, with the corresponding percentage of variance explained for each factor, and the fit indexes (RMSEA for root mean squared error of approximation, RMSR for The root mean square of residuals, TLI for Tucker-Lewis index, CFI for comparative fit index). The items on which the factors load are color-

coordinated. The 3, 4 and 5 factors solutions allowed to delineate the EEAS from the 15iSSQ. The final 5 factor solution identified the 2 EEAS subscales, and the 3 15iSSQ subscales.

2. Populations involved

This study was undertaken in agreement with the European General Data Protection Regulation rules and was approved by an ethics review board (CPP "comité de protection des personnes" of Grenoble Sud-Est V, France, ID-RCB 2019-A00629-48.). A written Informed consent was obtained from each participant.

2.1 Normal-hearing population

The population involved 62 normal-hearing subjects (NH) (38 women), average age 24 years (+/- 7.22 years) and a maximum age of 35 years, free from any hearing problems. The average pure tone threshold (measured at octave frequencies: 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Hz) ranged from 0 to 15 dB HL, with a hearing threshold less than 20 dB HL at any of the octave audiometric frequencies in both ears.

2.2 Hearing-impaired hearing-aided population

The patient population is composed of 481 hearing-impaired, hearing-aid wearers (HIHA) (56% were women), with an average age of 74 years (+/- 11.4 years), an average hearing threshold of 48 dB HL on the better ear (+/- 13.6 dB), an average gain on the worst ear with hearing aid of 19.3 dB HL (+/- 11.7 dB). The average aided ear asymmetry was 5.6 dB HL (+/- 11.4 dB) (figure 2).

Patients included in the study had to have been wearing a hearing aid (HA) for at least 6 months, and to be free of any cognitive disorders preventing them from being able to read or to understand the questionnaires. 92% of hearing aids wearers had binaural HA, with 4% with monaural right ear fitting and 4% with monaural left ear fitting. They had been fitted with hearing aids for 4.67 years (+/- 5.4 years) with an average age of the current hearing aid of 0.5 years (+/- 0.02 years). The average daily HA wearing time was 10.8 hours (+/- 4.6 hours).

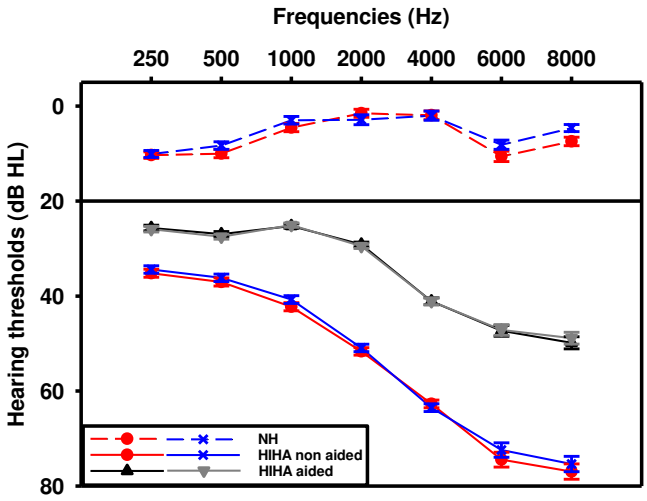


Figure 2: Hearing thresholds (dB HL, mean +/-SD) for the hearing-impaired hearing-aided (HIHA) population, with (grey lines, HIHA) and without hearing aids (red and blue lines, HI). The hearing thresholds of the normal-hearing population (NH) are mentioned as red dots for the right ear and blue dots for the left ear (mean +/- sem).

3. Experimental procedures and data collection

3.1. EEAS and 15iSSQ data

The questionnaires were drawn up in paper format, in large print to account for potential mild visual impairments. Patients were invited to complete both questionnaires during one of their usual clinical follow-up assessments, or were given the option to complete them at home and to return them later. Each scale has a first page detailing the procedure, with a sample question, that was used to explain the procedure orally to the patient. Patients were instructed to fill up the questionnaires, in the condition of wearing their hearing-aid, which is the most usual condition they meet in their daily life as most of them wear their HA for more than 10 hours a day.

3.2. Audiometric and hearing-aid related data.

Audiometric measures were all performed in a sound-proof booth. Pure-tone audiometry was performed at octave frequencies, for each ear, using an Astera, (Otometrics) audiometric equipment and TDH39 headphones. Aided hearing-threshold were measured using warble tones, in a free field, with two loudspeakers (Alfa 22, SIARE) placed on each side of the patient several pieces of information relating to their hearing were collected as part of the hearing aid monitoring. Several data pertaining to the aided-hearing were collected as part as the usual clinical follow-up: the period (in years) of aided hearing, the age of the current hearing aid, the type of fitting (monaural or binaural), the daily use of hearing-aids was collected directly from the data logging facility of the HA.

4. Statistical Analysis

4.1. Data collection and screening

The missing values from both questionnaires were handled differently in the internal structure analysis and in the other analysis. Patients showing no missing data (i.e. 344 patients), or a maximum of 3 missing items for the 15iSSQ, and/or 2 for the EEAS, were included in the internal structure analysis, i.e., 454 patients. Patients with more than 5 missing items (out of the 25 combined EEAS and 15iSSQ) were not included. This led to less than 1.7% of missing data in total.

Once the internal structure of both questionnaires was ascertained, isolated missing data of the EEAS and 15iSSQ were replaced by the average calculated within each subscale for a given patient, when at least 3 items out of 5 were present for the 5 items subscales, and at least 2 out of 3 were present for the 3 items subscales.

Most of the variables showed a deviation from normality, as shown by the Shapiro-Wilk test (Shapiro and Wilk, 1965). However, according to the central limit theorem, the means of large samples (i.e. samples greater than 50) will follow a normal distribution, whatever the distribution of the observations themselves. In such large data samples, small deviations from normality can be picked up by normality tests, even though those small deviations do not affect parametric tests results (Ghasemi and Zahediasl, 2012). As the skewness of the data ranged from -1.76 to 2.2, and kurtosis ranged from -1.2 to 6.2 (for an EEAS item), i.e., within the limits considered to be as acceptable (Brown, 2015), we used parametric tests, and checked the normality of residuals. The variables that were too far from those limits, such as the experience with HA and the current HA's age, were log transformed.

The better ear hearing threshold (unaided and aided) was calculated as the minimum hearing threshold of both ears (unaided and aided), averaged across 500 Hz, 1, 2 and 4 kHz.

The ear asymmetry (aided and unaided) was calculated as the absolute value of the difference between hearing thresholds of each ear (unaided and aided), averaged across 500 Hz, 1, 2 and 4 kHz.

4.2 Scales and subscale scores calculation

The scores for each of the three 15iSSQ subscales were calculated by averaging the scores of the 5 items, and the total score was obtained by the average of those 3 subscales.

Different EEAS scores were tested:

- A score for a "quiet" subscale *EEASquiet* (average of #EAS_1, #EAS_3 and #EAS_8).

- A score for a "noisy3" subscale *EEASnoise3* (average of #EAS_2, #EAS_4 and #EAS_9), corresponding to the same questions of the quiet scale, but put in a noisy situation.

- A difference score between those 2 subscales (*EEASnoisy–quiet*) was then calculated, in absolute value, as more than 97% of subjects reported a greater effort in noisy situations than in quiet situations.

- A score for a "noisy" subscale: *EEASnoise* (average of #EAS_2, #EAS_4 to #EAS_7 and #EAS_9, #EAS_10), corresponding to all the questions relative to a noisy environment.

- A score corresponding to the average of the same 6 items of the original EAS scale (with each of the 3 items that had been duplicated averaged between quiet and noisy situations): *EAS*. This score was calculated to be as close as possible to the original EAS.

- A total EEAS score corresponding to the average of the 10 EEAS items: *EEAS*.

4.3. Internal structure analyses

To see if the 15iSSQ and EEAS explore similar or different aspects of hearing, exploratory factor analysis (EFA) was conducted first on both questionnaires combined, i.e., on the 25 items, for all patients, similarly to what Alhanbali et al. (2017) did for their initial EAS and the fatigue assessment scale (Michielsen et al., 2004).

Then, an EFA was conducted on the EEAS scale for HIHA, to ascertain its internal structure. Finally, a confirmatory factor analysis (CFA) was conducted on the 15iSSQ data from the HIHA, as there is strong theoretical background for a 3 subscale structure of the 15iSSQ, as it was specifically designed (Moulin et al., 2019b) to have the same structure as the SSQ.

The procedures for EFA were similar, and similar to those already used for this type of scale (e.g. Akeroyd et al., 2014; Moulin et al., 2015), i.e., a factor extraction performed on a correlation matrix, with a maximum likelihood method, and an oblique rotation method (oblimin). The output of the EFA was compared to the results obtained by Revelles's cluster analysis (Revelle, 1978; W. Revelle, 1979). All statistics were performed using R statistical software R version 3.5.1 (2018-07-02) and Revelle's "psych" package for R, version 1.9.12.31 and the GPA rotation package for R.

As skewness and kurtosis were well within the limits considered for structural equation modelling (Brown, 2015) and as number of subjects to number of variables ratio was well above 10:1 (which is considered a requirement for a stable EFA (Leandre R. Fabrigar et al., 1999), we chose a parametric correlation matrix as the input to the EFA. The Kaiser-Meyer-Olkin measures of sampling adequacy obtained were greater than 0.80, which is considered to be "meritorious" (Kaiser, 1970). Bartlett's tests were highly statistically significant, confirming that correlations between individual items were sufficient. Correlation matrix analysis didn't show any correlation greater than 0.84, hence ruling out multicolinearity problems. The number of factors to be extracted was determined by the commonly used subjective Cattel's scree test, and by the more objective parallel analysis (Horn, 1965). As correlations between the different factors are to be expected, an oblique factor rotation method (direct oblimin) was used, similarly to previous studies of the SSQ internal structure (Akeroyd et al., 2014; Moulin et al., 2015a). The cross-loading of items on different factors are

mentioned only if greater than 0.20. The fit of the different models to the data was checked by RMSEA (root mean squared error of approximation), where a value below 0.05 is considered a good fit (Leandre R. Fabrigar et al., 1999), and by the comparative fit index (CFI) and the Tucker-Lewis indexes (TLI), that should be close to or greater than 0.95 (Hu and Bentler, 1999).

The internal structure was evaluated as well by Revelle's clustering method (Revelle 1978; 1979), that identifies first pairs of items with the greatest similarity, and builds by adding other items one by one only if the addition of that item improves internal consistency (measured by the α coefficient (Crohnbach's α), and homogeneity (explored by Revelle's β coefficient, which is the worst split-half reproducibility). This method has the advantage to better identify relationships between items and to be less sensitive to the sample size and the conditions to be met for a stable factor analysis (Cooksey and Soutar, 2006). This procedure, particularly adapted to scale construction, results in a graphical display of clusters, reflecting the internal structure of the scale, and has been used in complement to classical factor analysis for the SSQ (Moulin et al. 2015; Moulin et al. 2019) and SHQ (Moulin and Richard, 2016b).

Internal consistency was assessed by calculating both item- to total correlations and Cronbach's α (Cronbach, 1951b), for each subject group and for each factor, as determined by the outcome of internal structure analysis.

4.4 Scores comparisons

The EEAS (and 15iSSQ) scores were compared between both groups (NH and HIHA) using mixed analysis of variance (M_Anova), with group as the inter –subject variable and EEAS (and 15iSSQ) subscales as the intra-subject variable. In case of non-sphericity, Greenhouse-Geisser's correction was applied. Holm's correction was used for post-hoc tests, and effect size are given in the form of Cohen's d.

Similarly to Alhanbali et al. (2017), the 95th percentile of EEAS scores in NH was used as a cut-off value to identify participants with "pathological" listening effort. A cut-off value for the 15iSSQ was obtained from the 5th percentile of the 15iSSQ of the NH. The percentages of HIHA with "pathological" listening effort or "pathological" hearing abilities were determined for each scale and subscale, and compared using McNemar tests (McNemar, 1947).

4.5 Correlation analysis

Correlations between variables were assessed using Pearson' r coefficient, as the sample was larger than 300 participants, and correlation coefficients were compared using Fisher's z scores (Steiger, 1980).

Correlations were performed between 15iSSQ (and subscales) and EEAS (and subscales) for the 456 HIHA on one hand, and for the 62 NH on the other hand.

Correlations between EEAS and 15iSSQ self-report measures, and patients'characteristics (age, hearing threshold, ear asymmetry, aided hearing thresholds, aided ear asymmetry, daily HA use, age of current HA and age of aided hearing) have been performed on 330 HIHA patients, using list-wise deletion.

4.6 Multi-regression analysis

Multi-regression analysis was performed to determine the potential differential influences of several predictors on both 15iSSQ and EEAS scores. To be able to compare the relative importance of each predictor's influence on both scales, this analysis has been performed on patients who did not have any missing data on any of the predictors tested, using listwise deletion. Their 15iSSQ and EEAS scores were completed following the rules detailed above. This resulted in a group of 371 patients.

The analysis was performed in two steps, to better highlight the potential contribution of series of predictors. As the main predictors on SSQ scales scores reported in the literature are (1) better ear hearing threshold and (2) ear asymmetry (e.g.(Moulin & Richard 2016a; von Gablenz et al. 2018), step1 included those 2 predictors. In step 2, we introduced non-hearing predictors, such as age and gender, and predictors pertaining to patients's hearing-aid history and thresholds: Aided Better Ear Threshold, Aided Ear asymmetry, Period (in years) of aided hearing, Age of current HA (in years) and daily use of hearing-aids (in hours). As gender didn't show any statistically significant influence, nor did age of current HA, they were dropped from the list of predictors. Pearson correlation analysis was performed amongst all the independent variables to ascertain the absence of multicolinearity: the maximum correlation coefficient obtained was between un-aided and aided better ear threshold ($r= 0.68$, $p<0.0001$), which are well below the recommended cut-off value of 0.9. The variance inflation factor (VIF) remained under 2.3 for all regressions and predictors and Durbin-Watson test of auto-correlation remained non statistically significant. The normality of residuals was assessed using normal qq-plots and histograms of standardized residuals. For each multi-regression, outliers were identified using the standardized residuals greater than ±3 standard deviations cut-off value. As those outliers were not always the same for each multi-regression, and as we wanted to be able to compare the relative contribution of each predictor on the different scales and subscales, we excluded all the outliers (13 in total out of 371 patients) from each analysis, so that all the multi-regression have been performed in exactly the same population of 358 patients.

Results

1. Missing data analysis.

1.1. EEAS

The percentage of missing (or non-applicable) answers, across items, ranged from 0.21% (EEAS_1) to 12.89 % for EEAS_6, with an average of 3.14 % across the 10 EEAS items. EEAS_6 was, by far, the most "missed" item. 80.2% of patients (i.e., 386) didn't show any missing answers, 13.9% showed one missing answer, 3.1% 2 missing answers and 2.7 % showed 3 or more missing answers.

1.2. 15iSSQ

The percentage of missing (or non-applicable answers), per item, ranged from 1.25% to 6.44% for 15iSSQ_6, with an average of 2.9 % (across the 15iSSQ items). 15iSSQ_6 and 15iSSQ_9 were, by far, the most "missed" items. 82.3% of patients (i.e., 396) didn't show any missing answers, 8.3% only 1 missing answer, 3.5% had 2 missing answers and 5.8% had 3 or more missing answers.

1.3. EEAS and 15iSSQ comparison

71.5% (344) of patients didn't show any missing answers, 13.1% showed a single missing answer, whether on 15iSSQ or on EEAS, and less than 3% of the population showed more than 5 missing answers out of the combined 25 items.

No statistically significant difference was obtained in the rate of missing answers between both scales (paired $t=0.5$, $p=ns$) and a significant positive correlation was obtained ($r=0.29$, $p<0.0001$) between the two.

2. Internal structure

2.1 Both questionnaires (EEAS and 15iSSQ) combined.

The average skewness was -0.47, ranging from -1.76 to 0.87 and kurtosis ranged from 1.86 to 6.16 (with a mean at 2.86). The Kaiser-Meyer-Olkin measure of sampling adequacy was 0.93, which is considered to be "marvelous" (Kaiser 1970), with a minimum value of 0.84. Bartlett's test was highly statistically significant (chi-squared=9003, df=300, $p<10\text{-}60$). Correlation matrix analysis didn't show any correlation greater than 0.84, hence ruling out multicolinearity problems. The commonly used subjective Cattel's scree test gave a potential number of factors to be extracted of 3 and 5. The more objective parallel analysis (Horn 1965), gave 3 factors with an adjusted eigenvalue above 1, plus 2 factors with eigenvalues above 0.76. Extractions of different numbers of factors, ranging from 2 to 5, were then systematically tested, explaining 55% (2 factors) to 67% (5 factors) of the variance. As correlation between

the different factors are to be expected, an oblique factor rotation method (direct oblimin) was used.

The outcomes of the different numbers of factors extraction with the EFA are depicted in fig. 1. For each number of factors (2 to 5), the factors (F1 to F5) on which the items load, with the % of variance explained after factor rotation, are delineated by colors. For all factor solutions, the communalities of the EEAS tended to be lower than those of the 15iSSQ items, and for the 2, 3 and 4 factor solutions, #EAS5 and #EAS8 had the lowest communalities (generally lower than 0.40). Details of communalities and factor loadings are presented in supplemental table ST1.

The 2 factor solution of the EFA explained only 55% of the total variance of the data, and was clearly under-factoring with relatively poor fit indexes (TLI and CFI under 0.80, and too large RMSEA). Interestingly, all the EEAS items loaded on the same factor, on which the speech subscale of the 15iSSQ loaded as well (F1). The 10 SSQ items corresponding to the spatial and qualities subscales loaded clearly on the second factor (F2). #EAS3 and all the speech SSQ items showed a degree of cross loading on the two factors (with loads greater than 0.20).

The 3 factor solution clearly separated the EEAS from the 15iSSQ, that is itself separated into 2 subscales, 1 subscale being identified as the concatenation of the spatial and qualities subscales. In the 3 factor solution, EEAS items all loaded clearly on factor 2. #EAS1 and #EAS3 showed a small degree of cross-load on factor 1. For the 15iSSQ items, small degree of cross-load between factors 1 and 3 could be seen for #15iSSQ_15.

The 4 factor solution identified the EEAS on one hand, and the 3 subscales of the 15iSSQ on the other hand. In the 4 factor solution, EEAS items all loaded very clearly on factor 2, but #EAS3 and #EAS8 showed a small degree of cross-load on factor 4. #15iSSQ6 loaded on factors 1 and 3.

In its 5 factor solution, the EFA retrieved quite clearly an organisation into subscales, corresponding to two EEAS subscales and the three 15iSSQ subscales. That solution appeared to be the best, with 67% of variance explained and good fit indexes (TLI>0.92 and CFI > 0.95). In the 5 factor solution, EEAS items all loaded very clearly on factors 1 and 3, with #EAS1 and #EAS6 showing a small cross-load on both factors. #15iSSQ6 showed a small cross-load between factors 2 and 4. The lowest communalities were obtained for #EAS5 (<0.38). This 5 factor solution is clearly visible in the cluster analysis as well.

Hierarchical cluster analysis (figure 3) confirmed the different levels of details brought by the different numbers of factor extraction by the EFA: at the highest level, two main clusters are identified: C21, which groups both spatial and qualities SSQ subscales and C23, which groups the speech subscale (C15) and the EEAS scale (C22). The cluster C22 corresponds to the grouping of cluster C17, that corresponds to all the “quiet” EEAS items, and cluster C21, that deals with the “noisy” EEAS items. It is noteworthy to see that both EAS5 and EAS10 act as outliers, forming a small cluster on their own (C19). The grouping of the clusters C21 and C23 results in a cluster encompassing all the items, at the cost of homogeneity: the β coefficient decreases, and its difference with the α coefficient (0.95) is well above 0.10: The 25 items combined cannot be considered as unidimensional. When the cluster analysis is forced to

identify 5 clusters, each cluster corresponds to each one of the 5 factors identified by EFA, with a cluster fit of 0.96, a pattern fit at 0.96 with RMSR at 0.04 (Supplemental figure SF1).

2.2. EEAS 's internal structure

An EFA was performed on the EEAS data from 448 patients. The skewness ranged from -0.68 to 0.89 and kurtosis ranged from 1.9 to 2.9 (with a mean at 2.3). The Kaiser-Meyer-Olkin measure of sampling adequacy was 0.87, which is considered to be "meritorius" (Kaiser 1970), with the minimum value of 0.75 (#EEAS3). Bartlett's test was highly statistically significant (chi-squared=3270, df=45, $p<10^{-20}$) and correlation matrix analysis didn't show any correlation greater than 0.85.

Cattel's scree test gave a potential number of factors to be extracted of 2 and Horn's parallel analysis (Horn 1965), gave 2 factors with eigenvalues at 5.87 and 1.13. The 2 factors extraction explained 65% of the total variance (36 % and 29% respectively). Communalities ranged from 0.4 (#EEAS5 and #EEAS10) to 0.99, with a mean at 0.65. The model fit indexes were inconsistent, with a good CFI at 0.93, good RMSR at 0.04, but poor TLI at 0.87 and RMSEA at 0.15. After oblique rotation, #EEAS1, #EEAS3 and #EEAS8 loaded on factor 2 (20% of variance explained), with cross-load of #EEAS8 on both factors (supplemental table ST2). All the other items loaded on factor 2 (44% of variance explained), with cross-loads for #EEAS6. The lowest loading was observed for #EEAS5. A 3 factors extraction (explaining 63% of variance) was attempted, but yielded a third factor involving only EAS8, with cross-loads from #EEAS9, #EEAS10. Correlation between both factors was 0.55.

Cluster analysis (figure 3) showed 2 homogeneous sub-clusters: one made of #EEAS1, #EEAS3 and #EEAS8 (the "quiet" factor, with α at 0.84, and β at 0.77), and the other grouping items #EEAS2, #EEAS4 and #EEAS6, #EEAS7 and, #EEAS9 (the "noise" factor, with α at 0.93 and β at 0.82). However, the addition of #EEAS5 and #EEAS10 to the latter induced a loss of homogeneity (α at 0.92, β at 0.77). The cluster fit index was 0.95, with a pattern fit at 0.99 and RMSR at 0.05. Cluster analysis showed, as well, that the EEAS involved more than one dimension, as the grouping of both the "quiet" and "noise" factor within the same cluster gave a low β coefficient at 0.78 (with α at 0.92).

As #EEAS6 and #EEAS10 tended to behave as outliers, an EFA was attempted without those items. The 2 factors solution explained 69% of the variance, with communalities ranging from 0.39 (for #EEAS5) to 0.99, with an average at 0.69. The model fit was poorer, with CFI at 0.94, TLI was 0.88, RMSEA at 0.16 and RMSR at 0.04. The same 2 factors were obtained as previously, with some cross-loading with #EEAS8, and the lowest load for #EEAS5. Cluster analysis yielded the same 2 clusters, but the addition of #EEAS5 clearly decreased the homogeneity of the "noise" factor. The 2 factors solution without #EEAS5, #EEAS6 and #EEAS10 explained 74% of the variance, yielded the same 2 factors, but the fit indexes were poor. Hence, a 2 factor structure was retained for the EEAS, with 2 sub-scales: EEAS*quiet* and EEAS*noise*.

The consistency indexes were good for the EEAS, with Item to total correlations ranging from 0.62 (#EEAS5) to 0.82, with a mean at 0.71. Crohnbach's α was at 0.92 for the EEAS, and 0.83 for EEAS*quiet*, 0.91 for EEAS*noise3* and 0.92 for EEAS*noise*. (supplemental table ST3)

2.3. 15iSSQ confirmatory factor analysis

As the 15iSSQ structure has already been established, i.e., being composed of 3 subscales that correlate with each other, confirmatory analysis (CFA) was used, on the same sample of 438 patients as used for exploratory factor analyses.

Different models were tested: the 3 factors structure with correlating subscales, a 3 factor structure with orthogonal subscales, a single factor composed of the 15 items, a 2 factor structure, composed of the speech subscale, and a second factor composed of the spatial and qualities subscales, as the speech subscale was shown to have a somewhat closer relationship with EEAS scale than the other subscales. The different fit indexes for each model are summarized in supplemental table ST4.

The 3 factor model with correlating factors was the only one with good fit indexes, with CFI at 0.95, TLI at 0.94 and RMSEA at 0.086. This model was significantly different from the others (Chi2 difference=522.47, df=3, $p< 2.2e^{-16}$). Each item loaded well with each corresponding factor, with standardized coefficients ranging from 0.74 (#15iSSQ6) to 0.93 (#15iSSQ10). The contribution of each subscale to the total 15iSSQ score is 0.66 for the speech subscale, 0.91 for the spatial subscale and 0.86 for the qualities subscale. Factor loading on the different factors are detailed in supplemental table ST3b.

Revelle's cluster analysis (supplemental figure SF3) showed that the 15iSSQ was not unidimensional. Items organised themselves into 3 sub-clusters, corresponding each to a subscale. Items 1 to 5 were grouped in a very homogenous cluster (cluster C10, α=0.91, β=0.88), corresponding to the speech subscale. Items 11 to 15 regrouped, as well, in a sub-cluster corresponding to the qualities subscale (cluster C11; α=0.93, β=0.88). However, the spatial subscale showed more heterogeneity: a first sub-cluster regrouped the four items 7 to 10, but the addition of item 6 induced a decrease in the β coefficient (from 0.93 to 0.82), showing that this item (*"locate speaker around a table"*) acts differently from the other items within the spatial subscale. It can be noted that the spatial and qualities subscales are grouped within one big cluster, showing their better similarities with one another, than with the speech subscale. Lastly, the 3 subscales acted as 3 different dimensions, as the attempt to regroup the 3 sub-clusters within a single cluster induced a substantial loss in the β coefficient (from 0.85 to 0.73).

The 15iSSQ showed good consistency in the HIHA population (supplemental table ST5), with item to total correlations ranging from 0.61 (#15iSSQ4) to 0.81 (mean at 0.72), with the speech scale showing the lower correlations compared to the other subscales. Crohnbach 's α remained high throughout the subscales, with 0.94 for the 15iSSQ, 0.91 for 15iSSQ*speech*, 0.94 for 15iSSQ*spatial* and 0.93 for 15iSSQ*qualities*.

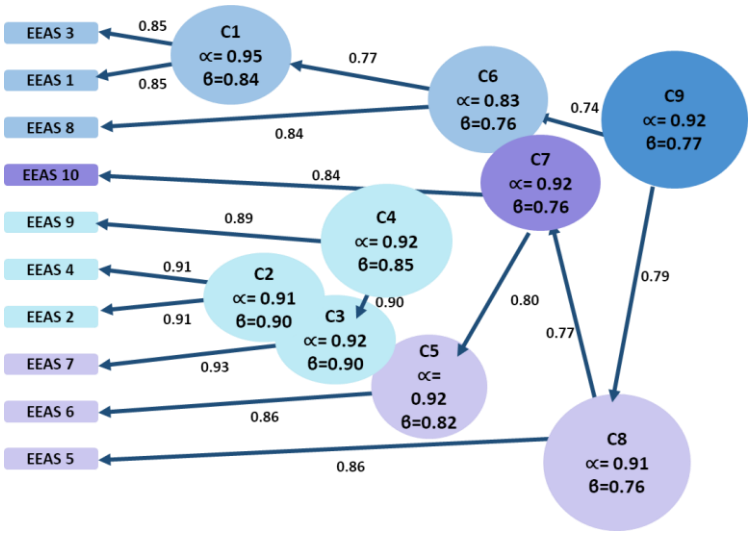


Figure 3: Hierarchical cluster analysis performed on the 10 items of the EEAS, on a population of 454 hearing-impaired hearing-aided (HIHA) participants. The most similar items are combined first, and items are added to the most resembling cluster, so that clusters grow from left to right. For each cluster, the alpha and Revelle's beta coefficient are given, and represent indexes of consistency and homogeneity.

Here, sub-cluster C6 represents the "quiet" subscale, whereas C4 represents the noise3 subscale. Items 5, 6 and 10 are behaving differently from the others, but still are grouped in cluster C8, representing the EEAS*noise* subscale.

3. Scores

3.1. EEAS scores

EEAS scores were significantly greater in HIHA (5.1, SD=2.05) than in NH (2.52, SD=1.6), t=9.4, $p<10^{-17}$ with Cohen's d at 1.27. The EAS scores were similar to the EEAS scores and correlation between EAS and EEAS scores was r=0.987, p<0.0001.

All EEAS items scores in HIHA were significantly greater than in the NH (Mixed Anova (group x items) F(1, 532)=89,54, p<0.001, η2=0.079) with a weak but statistically significant interaction between group x items (F(6.42, 3414)=5.6, p<0.001, η2=0.004) (figure 4). For each item, the effect-size (measured by Cohen's d) ranged from 0.62 (#EEAS9), 0.82 (#EEAS10) to 1.27 (#EEAS7). The mean of both groups showed a similar pattern across items (figure 4), with a strong correlation between the 2 patterns (r=0.94, p<0.001). However, there was no significant relationship between the variabilities across the 10 items between the two groups (r=0.55, p=ns).

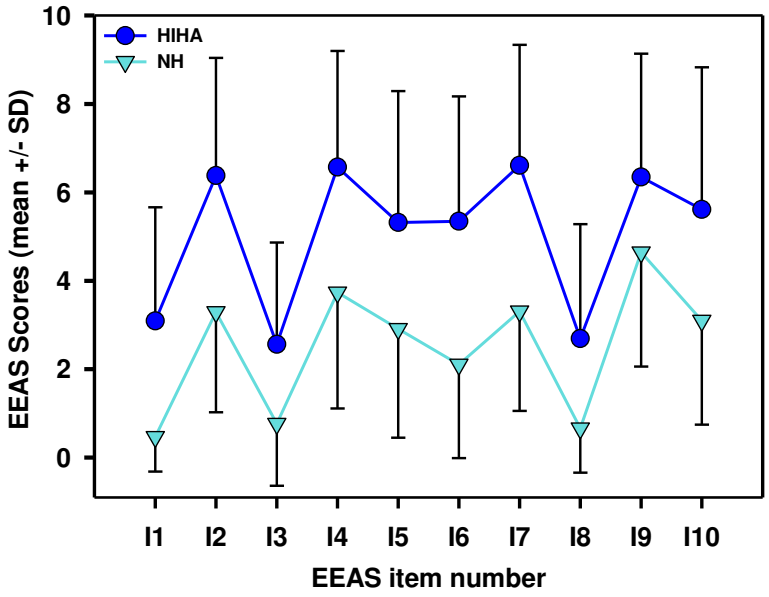


Figure 4: Scores (mean + SD) of each item of the EEAS for a group of 62 normally hearing subjects (NH, squares) and 481 Hearing-impaired hearing-aided participants (HIHA).

Analysis per subscale is shown in figure 5a. Whether on the total EEAS scores (5.07, SD=2.14; $F(1,532)=88.54$, $p<0.001$, $\eta2=0.143$) or for the EEASNoise scores (6.03, SD = 2.38, $F(1, 532)=82.52$, $p<0.001$, $\eta2=0.134$) and EEASQuiet scores (2.78, SD = 2.15; $F(1, 540)=60.41$, $p<0.001$, $\eta2=0.101$)), the listening effort measured by the EEAS was always significantly greater in HIHA than in NH with Cohen's d at 1.27, 1.23, and 1.05 for the total, EEAS*noise* and EEAS*quiet* scores respectively. Mixed Anova (group x EEAS*quiet* & EEAS*noise* subscales) showed a significant group effect ($F(1, 523)=75.87$, $p<0.001$, $\eta2=0.077$) and a tendency towards an interaction ($F(1.003, 533.506)=5.373$, $p<0.021$) with a very weak effect size ($\eta2=0.001$). When calculated with the EEAS*noise3* subscale, this interaction was not statistically significant. No significant differences were obtained between the two EEAS noise subscales. No statistically significant difference was obtained in the differential score EEAS*noisy–quiet* between both groups $F(1, 540)=2$, $p=0.16$, with 3.3 (SD=1.9) for the NH group versus 3.7 (DS=2.1) for the HA group.

3.2 15iSSQ scores

As expected, the 15iSSQ total scores were highly significantly lower for the HIHA (6.51, SD=1.92) than the NH (8.5, SD=1.13) ($F(1, 523)=58$, $p < 2.6 \times 10^{-13}$, $\eta2=0.097$). A mixed Anova (group x subscale) confirmed highly significantly lower scores for the HIHA than for the NH $F(1, 523)=56$, $p < 2.6 \times 10^{-13}$, $\eta2=0.068$) with a significant interaction between groups and type of 15iSSQ subscale ($F(1.85, 967)=19$, $p<2.5*10^{-8}$, $\eta2=0.009$): for NH, no significant differences were obtained between 15iSSQspeech and 15iSSQspatial subscales (mean difference of 0.09),

whereas spatial scores were significantly greater than speech sores (and significantly lower than qualities) for HIHA (fig. 5b). The effect-size (measured by Cohen's d) ranged from 0.63, p<0.001 for the spatial subscale, -0.71, p<0.001 for the 15iSSQ*qualities* and 1.027, p<0.001 for the 15iSSQ*speech*.

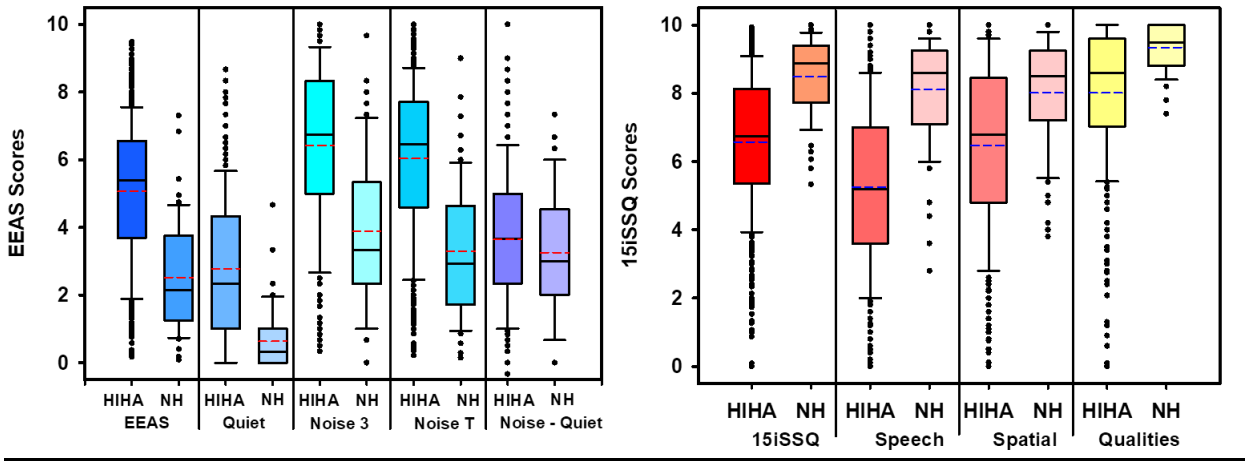


Figure 5a: Box and whiskers plots of the total scores and sub-scale scores of the EEAS for 62 Normal Hearing subjects (NH) and 481 Hearing-impaired hearing –aided patients (HIHA). The mean is represented by the red lines, and median by the black lines. The colors of the boxes correspond to the colors of the items in figures 1, 3 and 4.

Figure 5b: Boxplot of Total and sub-scale scores of the 15iSSQ for 62 Normal Hearing subjects (NH) and 481 Hearing-impaired hearing –aided patients (HIHA). The mean is represented by the dashed lines, and median by the continuous lines. The colors of the boxes correspond to the colors of the items and subscales in figure 1.

3.3. Correlations between EEAS & SSQ

For 456 HIHA patients (table 1), as well as for the 62 NH participants (supplemental table ST6), EEAS scores increased significantly as SSQ scores decreased (rNH=-0.76, p<0.0001; rHIHA=-0.61, p<0.0001) (table 1), with 1.1 points of SSQ decrease (se=0.12) for each point of increased effort for NH, and 0.658 points of SSQ decrease (se=0.04) per point of EEAS increase for HIHA.

The EEAS was significantly more correlated to the 15iSSQ*speech* (r = -0.63) than to the 15iSSQ*spatial* (r = -0.47) or 15iSSQ*qualities* (z = 4.5, p < 0.0001). The 15iSSQ*speech* correlated significantly more with the EEAS*noise* (r = -0.63) than the EEAS*quiet* (r = - 0.47), z = 4.7, p < 0.0001. Conversely, the 15iSSQ*qualities* correlated more with the EEAS*quiet* (r = - 0.46) than with the EEAS*noise3* (r = - 0.36), z = 2.5, p < 0.02). Such differences in correlations strength were observed for the NH as well.

For HIHA, EEAS*noise-quiet* score depended significantly more on EEAS*noise* (r=0.56, p<0.0001) than on EEAS*quiet* (r=-0.36, p<.0001) (z= 5.3, p<0.0001) and didn't show any statistically

significant correlations with 15iSSQ or with 15iSSQ*spatial*, nor with 15iSSQ*qualities*. However, it decreased significantly with increasing 15iSSQ*speech* scores (r=-0.19, p<0.0001).

For NH, the stronger dependence of EEAS*noise-quiet* on EEAS*noise* (r=0.92, p<0.0001) than on EEAS*quiet* (r=0.21, p=ns), z>10, p<0.0001) is even greater than for the HIHA. In addition, significant correlations were obtained between EEAS*noise-quiet* and 15iSSQ (r = -0.55, p<0.0001) and its subscales: 15iSSQ*speech* (r=-0.62, p<0.0001) and 15iSSQ*spatial* (r=-0.44, p<0.003): the differential score EEAS*noise-quiet* decreased as the 15iSSQ scores increased.

Pearson's r	EEAS	EEAS quiet	EEAS noise3	EEAS noise	EEASnoise-quiet	15iSSQ	15iSSQ Speech	15iSSQ spatial
EEASquiet	**0.806**	—						
EEASnoise3	**0.913**	**0.572**	—					
EEASnoise	**0.968**	**0.635**	**0.936**	—				
EEASnoise-quiet	**0.220**	**-0.365**	**0.555**	**0.422**	—			
15iSSQ	**-0.612**	**-0.534**	**-0.515**	**-0.580**	-0.043	—		
15iSSQ Speech	**-0.630**	**-0.476**	**-0.585**	**-0.624**	**-0.181**	**0.820**	—	
15iSSQ spatial	**-0.480**	**-0.447**	**-0.384**	**-0.446**	0.017	**0.896**	**0.563**	—
15iSSQ qualities	**-0.468**	**-0.461**	**-0.353**	**-0.423**	0.064	**0.857**	**0.532**	**0.720**

Table 1: Pearson's correlation coefficients between the EEAS (and subscales) and 15iSSQ (and subscales), obtained in 456 hearing-impaired hearing –aided patients. All coefficients in bold are statistically significant with p<0.001.

3.4. Cut-off scores

The cut-off scores were obtained from the 95th percentile of the EEAS score and from the 5th percentile of the 15iSSQ scores on the NH population (supplemental table ST7). From there, percentage of HIHA in the "pathological" range were calculated (table 2). Percentages of excess effort was significantly greater for the EEAS*quiet* than for the EEAS*noise3* ((χ^2=17.5, (1), p<0.0001) and for the EEAS*noise* (χ^2=5.7, (1), p<0.02). There was a weak but significant difference between EEAS and EEAS*quiet* (χ^2=4.4, (1), p<0.04). Percentage of HIHA in the "pathological" range differed significantly between 15iSSQ and EEAS (χ^2=31.5, (1), p<0.0001). The percentage of "pathological" scores from the 15iSSQ*spatial* were significantly lower than

the percentages obtained with the 15iSSQ*speech* (χ^2=54.7, (1), p<0.0001) and those obtained with the 15iSSQ*qualities* (χ^2=44, (1), p<0.0001).

Table 2: Percentage of hearing-impaired hearing-aided patients (out of 456) with 15iSSQ scores lower than the 5th percentile, or/and a EEAS score greater than the 95th percentile of

scale/subscale	percent < 5th	scale/subscale	percent > 95th
15iSSQ	42.8	EEAS	57.2
15iSSQspeech	44.1	EAS	57.7
15iSSQspatial	25.2	EEASquiet	52.9
15iSSQqualities	39.9	EEASnoise3	41.9
		EEASnoise	46.7

normative values obtained in 62 normally-hearing subjects.

4. External validity

4.1. Self-report measures and patients'characteristics

Correlations performed between self-report measures and patients'characteristics for 330 HIHA, are displayed in table 3, and show differences of patterns between EEAS and 15iSSQ.

EEAS scores increased significantly as better ear hearing threshold (r=0.22, p<0.0002), aided better ear hearing threshold (r=0.16, p<0.001) and ear asymmetry increased (r=0.13, p<0.02). EEAS scores (and EEASquiet, EEASnoise) increased significantly with increasing HA experience (r=0.29, p<0.0001) and current HA's age (r=0.21, p<0.0002), with a tendency for a stronger correlation with HA experience (z=1.7, p<0.09 for EEAS; Z=2.2, p<0.03 for EEASnoise). There was no significant correlation between EEAS and age, not between EEAS and daily HA use. EEASquiet increased significantly with both ear asymmetry (r=0.18, p<0.01) and aided ear asymmetry (r=0.15, p<0.05), and in a significantly stronger manner than EEASnoise did (r=0.05, p=ns; z=1.97, p<0.05).

15iSSQ scores showed a different pattern: a strong decrease of 15iSSQ with increasing hearing threshold (r=-0.35, p<0.0001) and aided hearing threshold (r=-0.19, p<0.0005) (z=3.9, p<0.0001), without any significant correlation with ear asymmetry. 15iSSQ scores increased significantly with HA daily use (r=0.19, p<0.0002), as did all the 15iSSQ subscales. As age increased, 15iSSQ (r=-0.17, p<0.01), 15iSSQqualities (r=-0.14, p<0.01) and especially 15iSSQspeech strongly decreased (r=-0.24, p<0.0001; with a significantly stronger correlation than with the other 15iSSQsubscales, z=1.9, p=0.05). Lastly, 15iSSQspatial decreased as both ear asymmetry (r=-0.11, p<0.05) and aided ear asymmetry (r=-0.16, p<0.01) decreased.

	EEAS			15iSSQ				Patient's characteristics			Aided hearing			
	EEAS	EEASquiet	EEASnoise	15iSSQ	15iSSQ speech	15iSSQ spatial	15iSSQ qualities	Better ear threshold	Ear asymmetry	age	Aided Better ear threshold	Aided Ear asymmetry	HA daily use	Current HA age
Better ear threshold	**0.223**	**0.215**	**0.206**	**-0.345**	**-0.270**	**-0.287**	**-0.324**	—						
Ear asymmetry	**0.134**	**0.175**	0.105	-0.063	0.001	**-0.112**	-0.044	-0.064	—					
age	0.101	0.084	0.099	**-0.174**	**-0.239**	-0.063	**-0.136**	**0.347**	0.039	—				
Aided Better ear threshold	**0.161**	**0.119**	**0.163**	**-0.186**	**-0.212**	**-0.105**	**-0.151**	**0.703**	-0.049	**0.382**	—			
Aided Ear asymmetry	0.088	**0.146**	0.054	-0.083	-0.009	**-0.162**	-0.022	0.073	**0.599**	0.027	0.005	—		
HA daily use	-0.031	-0.031	-0.025	**0.188**	**0.170**	**0.150**	**0.154**	0.113	0.035	-0.024	0.021	0.033	—	
Current HA age	**0.211**	**0.192**	**0.194**	**-0.132**	**-0.147**	-0.094	-0.086	0.040	0.055	-0.014	-0.037	0.012	-0.022	—
HA experience	**0.294**	**0.236**	**0.287**	**-0.209**	**-0.171**	**-0.181**	**-0.174**	**0.199**	0.087	-0.087	0.035	0.039	0.072	**0.595**
	p<0.001	**p<0.01**	**p<0.05**											

Table 3: Pearson correlation coefficients between self-reported measures (EAS and 15iSSQ) and patients' characteristics (age in years, unaided and aided hearing thresholds and hearing asymmetry, current hearing-aid ‘s age, total hearing aid experience), obtained in 330 hearing-impaired hearing-aided patients. Bold : p<0.05; Bold on light grey background: p<0.01; Bold on grey background : p<0.001. Hearing thresholds are the average of 0.5, 1, 2 and 4 kHz audiometric frequencies.

4.2. Predicting EEAS and 15iSSQ scores

Multiple regression analyses were run to identify the most important predictors of each scale and subscale scores, including hearing threshold measures with and without HA, age and history and characteristics of aided hearing. All the models built, using the same 7 predictors (Aided Better Ear Threshold, Aided Ear Asymmetry, Ear Asymmetry, Better Ear Threshold, age, daily HA use and HA experience), statistically significantly predicted the SSQ and EEAS scores, and their subscale scores. Furthermore, each one of the two steps lead to statistically significant models, with the variables pertaining to hearing-aid history and characteristics having a significant influence and an important contribution to the overall models (supplement material, table ST7). Two predictors, ear asymmetry and aided better ear hearing thresholds, didn’t show any statistically significant influence, whatever the scale or subscale analysed. As current HA age never reached statistical significance for any EEAS nor 15iSSQ scales or subscale, it was dropped from the list of predictors.

The best fit models were obtained for the 15iSSQ (and its subscales), with 23.5% variance explained, and correlation coefficients all above 0.40 (with the minimum R adjusted value at 0.145), $F(7, 357)=15.4$, $p< 10^{-16}$. The second set of predictors, pertaining to hearing-aids, accounted for almost 10% of variance explained for the 15iSSQ. The same model, used for EEAS, explained less variance, with a maximum at 14% for the total EEAS score ($r=0.375$, $F(7, 357)=8.2$, $p<10^{-8}$). However, the relative importance of each predictor differed between the 15iSSQ and the EEAS, and between the different subscales. The different β coefficients, reflecting the relative importance of each predictor, are mentioned in supplemental table ST8.

For the EEAS, the main predictors were mainly the HA experience (β = 0.273) and, to a lesser degree, the better ear threshold (β=0.16). The effort reported by the patients increased by 1.16 points (se=0.22) as the HA experience increased by 10 years. A similar pattern was achieved by the EEAS and the EEAS quiet subscale, with the HA experience being the main predictor, with the better ear hearing threshold. However, a different pattern emerged for the EEAS noise subscales: the only significant predictor obtained was the HA experience (β=0.265), with the EEASnoise score increasing by 1.3 points every 10 years of HA wear. There was no statistically significant contribution of the hearing thresholds, measured with or without hearing-aids, when all the different factors were entered in the equation. The difference EEAS scores (EEASnoise-quiet) didn't give any statistically significant model.

The 15iSSQ scores were significantly predicted by 5 factors, amongst which better ear hearing-thresholds was the main contributor (β=-0.36), with a decrease of 0.66 points of score for an increase in 10 dB in the hearing threshold. The other predictors were the number of daily hours of HA wear, with an increase in scores as the number of daily hours increased (β=0.20), and the number of years of aided-hearing (β=-0.19). The last predictors included the age (β=-0.13) and the aided ear asymmetry (β=-0.13). The 15iSSQspeech showed a clearly different pattern from the two other 15iSSQ subscales: the main predictor was age (β=-0.213), with a decrease of 0.46 points per 10 years of age, closely followed by better ear hearing threshold (β=-0.20). Both daily HA use (β=0.155) and HA experience (β=-0.188) were strong predictors, with aided ear asymmetry being significant (β=-0.143).

Both 15iSSQ spatial and qualities subscales showed a similar pattern: a strong dependency on hearing thresholds (β=-0.35 and -0.38 respectively), a decrease of scores with the age of aided-hearing (β=-0.15 and β=-0.22) and an increase of scores with daily use (β=0.17 and 0.20 respectively).

Looking at predictors contribution: ear asymmetry and aided hearing threshold didn't contribute significantly to the scores. The better ear hearing threshold (without HA) was the best predictor, completed by the HA experience. The daily HA use was a significant predictor of the 15iSSQ scores only, but not of the EEAS scores.

Discussion

This study compared self-report measures, taken in the context of daily listening situations, of both listening effort and hearing abilities (using the 15iSSQ) in a large sample of HIHA patients. To this aim, we built upon Alhanbali's EAS, which is, as stated by the authors themselves, the first validated scale purposely designed to self-assess listening effort in daily life of hearing-impaired patients. The same 6 items of the EAS have been completed by 4 other items, leading to the extended version of the EAS (the EEAS), that is able to clearly separate listening effort reported by patients in quiet situations and in noisy situations. Our large sample allowed us a detailed analysis of the internal structure of the EEAS, to check the relevance of the two intended subscales (EEAS*quiet* and EEAS*noise*), and to assess the relative contribution of each EEAS item, and therefore of each 6 EAS item.

EEAS internal structure

Exploratory factor analysis identified 2 factors, corresponding to the 2 intended subscales: EEAS*quiet* (with #EEAS1, #EEAS3 and #EEAS8) and EEAS*noise*, with the other 7 items. Those subscales corresponded each to a clearly identified sub-cluster on the cluster analysis. However, some items were underperforming: #EEAS5 and #EEAS10 showed both the lowest communalities at the EFA, the lowest loadings on the EEASnoise, and were outliers in the cluster analysis, giving a loss of homogeneity when they are added to the EEASnoise. #EEAS5, that corresponds to #EAS3 *"How easily can you ignore other sounds when trying to listen to something?"*, is actually referring more to an ability, than asking the amount of effort needed to perform the task depicted. It reflects components such as auditory attention and ability to focus, and is the only item which has ear asymmetry, both unaided and aided, as significant (but weak) predictors. #EEAS10 had been added to take into account listening effort in reverberating environments. Its predictors are identical to the predictors of the EEASnoise, but it showed one of the lowest correlations with the total scale (0.63). #EEAS6 (corresponding to #EAS4 ("*Do you have to put in a lot of effort to follow discussion in a class, a meeting, or a lecture?")* showed low communalities, low loadings on EEAS*noise*, and some cross-loadings on EEASquiet. Cluster analysis added #EEAS6 to the sub-cluster of #EEAS2, #EEAS4, #EEAS7, and #EEAS9 that form a close-knit cluster. #EEAS6 was the item with the greatest number of missing answers, perhaps because the situation depicted is further away from the situations daily met by our patient population. Lastly, it is the only EEASnoise item whose predictors included the better ear threshold to a high degree (β=0.21), comparatively to its second predictor, the HA experience (β=0.18). Attempts at an EFA after elimination of those 3 items didn't yield a good fit model. Lastly, #EEAS8 (#EAS6, "*listening on the telephone*") showed some cross-loading between EEAS*noise* and EEAS*quiet*, with low communalities, but had the same predictors as the EEAS*quiet*. Perhaps, the rewording of some items, and/or perhaps increasing the number of items pertaining to effort in sound localization, attention and focus, would allow to regroup them in a specific subscale. Even with those items that showed a certain degree of departure from the others, the EEAS showed a good consistency, as assessed by Cronbach's alpha and inter-item correlations which are very close to Alhanbali's figures for the EAS.

Comparisons between EAS and EEAS

As one of our aim was to establish normative values for the EEAS, we chose a strictly controlled NH group (i.e., age below 35 and maximum worse ear hearing threshold below 15 dB HL), which is different from Alhanbali et al. (2017) whose control group was of similar age as their HI group, hence with a less strict hearing-threshold criteria. We obtained very similar scores: the median EEAS score was 2.17 (2.1 for the EAS), i.e. very close to Alhanbali's control group score (around 2.0), and the interquartile range was 1.2 to 3.6, which is reduced when compared to Alhanbali's NH group (around 1 to 4). The reduced range obtained here can be easily explained by the more homogeneous NH group we tested. Alhanbali et al. didn't observe any significant difference in EAS scores between their 3 groups of HI (with HA, with cochlear implant, or with single sided deafness), with an interquartile range of their EAS scores of about 5 to 8.5, which is greater than the ones obtained here in our HIHA group (3.7 to 6.6).

Both samples are difficult to compare as there is likely to be a difference in hearing-losses and patient's characteristics between the two (hearing threshold range of 40 to 100 dB HL in Alhanbali et al. 2017). The 3 EEAS*quiet* items, with lower scores, can, as well, contribute to lower our EEAS total score, but even the EEAS*noise* interquartile range (4.6 to 7.7, median at 6.5) appears to be lower than Alhanbali's EAS scores. Alhanbali et al. (2017) warned about a potential bias towards higher scores on the EAS, linked to the fact that they investigated both a listening effort and a fatigue assessment scales, making their patients aware of the comparative nature of their study. To see the impact of our transformations of the EAS into the EEAS, a specific score (EAS score) was calculated from only the items pertaining to the EAS. No significant differences between those EAS scores and our EEAS scores was established, whether in NH or in our HIHA populations. The behaviour of this EAS score, concerning the correlations with the 15iSSQ, and correlations with the different predictors tested, was similar to the EEAS score. Finally, coefficient correlation of 0.99 was observed between both scores, hence sharing almost 98% of variance. This strongly suggests that the results of the EEAS presented here can be compared to Alhanbali's EAS results.

Hearing-thresholds and hearing-aid factors

Correlations between hearing thresholds and listening effort measured by EAS appeared to be weak: Alhanbali et al. (2017) didn't observe any significant correlations between hearing levels and EAS scores within their 50 HIHA patients group, but, although they report a lack of significance between hearing threshold and EAS scores in a larger sample (84 patients, of whom 50 were bilaterally aided), their data (Alhanbali et al. 2018, fig.1) actually shows a tendency for a correlation between EAS and hearing threshold (Spearman 's rho reported at 0.24, which barely reaches significance (p=0.03) in a population of 84). In the present study, EEAS scores significantly increased with better ear hearing thresholds (r=0.22) and ear asymmetry, especially for EEAS*quiet*. In the 2 predictors model, EEAS scores were significantly dependent on better ear hearing thresholds, with a 0.55 point of listening effort increase on the EEAS for every 10dB increase in the better ear hearing threshold. However, this model explained less than 7% of the variance of EEAS scores. Therefore, the difference in results with Alhanbali et al.'s can be easily attributed to substantial difference in patients's characteristics and sample size between their study and ours. In addition, when predictors pertaining to HA were taken into account, better ear hearing threshold 's influence became non (EEAS*noise3*) or barely (EEAS*noise*) statistically significant for the subscales dealing with listening effort in noise. Those subscales (EEAS*noise*) are likely to be closer to EAS than would EEAS*quiet*, as there are no specific items pertaining to "listen in quiet" in the original EAS.

When predictors linked to HA were taken into account, more than 14% of EEAS variance could be explained (in a model significantly different than the model involving only better ear hearing thresholds and ear asymmetry), with the most significant predictors becoming the total HA experience ($\beta = 0.27$) and, to a lesser degree, the better ear hearing threshold ($\beta = 0.16$). Basically, each decade of aided hearing increased the EEAS score by 1.2 points and each 10 dB hearing loss on the better ear increased the EEAS score by 0.35 point. None of the other predictors entered were statistically significant (age, aided and non-aided ear asymmetry, aided better ear threshold). The significant predictors of the total EEAS scores are a mixture

of the predictors obtained for each EEAS subscale, which behaved differently. Indeed, the EAS*quiet* scores strongly depended on better ear hearing threshold (β = 0.20) and, to a lesser degree, to HA experience (β = 0.18), with less than 10% of the variance explained, whereas for both EEAS*noise3* and EEAS*noise* scores, the most important predictor was the HA experience (β=0.27), and to a much lesser degree, better ear hearing threshold (β=0.14), barely reaching statistical significant for EEAS*noise*, and not even reaching it for EEAS*noise3*. For the EEAS*noise* subscale, an increase of more than 1.3 point of listening effort per 10 years of aided hearing was found.

Although our patient population has worn their HA for more than 6 months, most of them were relatively young HA wearers, so that the HA experience showed strong correlation with the current HA's age (r=0.59). That would explain the lack of statistical correlation between current HA's age and EEAS when all HA related variables are taken into account. However, pairwise correlations showed a statistically significant effect of current HA's age on EEAS scores, and on both EEAS subscales. This current HA age effect was stronger for EEAS than for 15iSSQ, where it was significant only for the 15iSSQ*speech*. This result of increased effort with the total HA experience is consistent with the increase of self-reported dissatisfaction with HA for current HA use of more than 2 years, observed in a large population of HA wearers (Bertoli et al., 2009). The same study observed, as well, an increased dissatisfaction with the total HA experience, confirming earlier results obtained with the Satisfaction with Amplification in Daily Life (SADL) outcome measure (Hosford-Dunn and Halpern', n.d.). Patients with the longest HA experience are the ones that have been seeking help the earliest in their lifetime, with greater hearing-losses associated with a greater self-assessed hearing disability, and a lower satisfaction with HA. The association between HA experience and increased hearing-loss observed in the present data (r=0.2), could explain the observed increase in listening effort with increasing HA experience. However, no such relationship was observed between current HA's age and hearing loss and still, the EEAS score increased significantly with the current HA's age. The specific relationship between increased listening effort as a function of the life of the current HA could be attributed to either the ageing of the HA device itself, or to patients socio-psychological factors influencing self-report measures. As the present population is regularly followed up, it is unlikely that our sample is concerned with a longer than usual HA lifespan, as our HIHA patients had, at least 6 months HA wear, with a median at 1.9 years, and a 95th percentile at 5 years. Most HA manufacturers announce HA lifespan as being between 3 and 7 years. Furthermore, as most patients follow a strict follow-up every 3 to 6 months, we cannot attribute this increase in reported listening effort to a lack of HA maintenance or malfunction, especially as data logging reveals heavy daily use of HA in our sample (median at 11.9 hours per day, and 95% of HIHA with more than 5 hours a day of HA use). However, it is possible that it could be due to minor and slow deterioration of signal quality with electronics aging of the HA. Indeed, HA are susceptible to both environmental relative humidity and moisture due to the wearer, which can both lead to corrosion of electronics that could affect the performance (Nelson et al., 2017). The other factor that could explain this increased listening effort with the current HA over time, could be due to socio-psychological factors, for instance patients modifying their expectation of HA benefit over time. Indeed, social interactions and communication needs evolve with age,

hearing-impairment and hearing-aid benefit. After an initial satisfaction over the first 6 months of HA fitting, it is likely that difficulties in hearing in noise, that are rarely completely compensated, become more obvious to the HA user who had high initial expectations.

Age effects

As age affects not only peripheral hearing, but also the efficiency of top-down cognitive processes, we would expect an increase in EEAS scores with age. Indeed, the effect of age on listening effort measured in a dual task paradigm whose primary task was a speech in noise recognition test, was shown, after partialing out hearing thresholds, in a group of 60 normally-hearing participants aged from 20 to 77 years (Degeest et al., 2015b). Similar increased listening effort with age was observed in various populations of hearing-impaired patients, using dual task paradigms (Desjardins and Doherty, 2013; Gosselin and Gagné, 2011; Tun et al., 2009). We would expect that a heightened listening effort recorded in a task involving speech perception in different noisy backgrounds would be related to the self-reported effort met in daily listening situation, and therefore, we would expect an increase in EEAS score with age. This was not the case and age never appeared as a significant factor linked to the EEAS scale, all hearing-threshold and hearing-aid related factors being equal. In the same population, age was a weak significant factor for the 15iSSQ global score, but this can be attributed to the relatively strong influence of age on the 15iSSQ*speech* (β =-0.21), on par with the hearing-threshold on the better ear (β = -0.21). Several previous studies have observed a stronger link of age with the SSQ*speech* than the other subscales, in a hearing-impaired population of non HA wearers (Moulin and Richard, 2016c) or a mildly hearing-impaired population (Singh and Kathleen Pichora-Fuller, 2010), with a decrease of scores as age increases. However, using the German short-form of the SSQ, (von Gablenz et al., 2018) observed an inconsistent effect of age, in an unaided mostly normally - hearing population, with counter-intuitive effects, such an increase of SSQ scores with age, especially on their eldest groups. They interpreted those inconsistent results as more linked to psychosocial factors than physiological ones (von Gablenz et al., 2018). The difference in populations (HIHA versus unaided mostly normally hearing population) could explain as well the difference of results between both studies.

Hearing abilities and listening effort: 2 sides of the same coin ?

As the EAS (and thus the EEAS) were heavily inspired by the SSQ, it was important to ascertain whether those two scales are assessing two different constructs. Exploratory factor analysis involving both scales together, in the best fit solution which was a 4 factor solution, clearly identified the EEAS as a separate construct from the 3 different 15iSSQ subscales. Interestingly, the 2 factor solutions, which was a clearly under-factoring solution, grouped the 15iSSQ*speech* with the EEAS, rather than with the other 15iSSQ subscales, showing, that the 3 15iSSQ subscales are each a separate construct, which agrees with the 15iSSQ validation study (Moulin et al., 2019b). The closeness between the 15iSSQ*speech* and the EEAS is also apparent on the cluster analysis, with the cluster formed by the 10 EEAS items forming a big cluster with a cluster corresponding to the 5 15iSSQ*speech* items, at the cost of homogeneity though. This relative closeness of the EEAS with the 15iSSQ*speech* is also visible in the correlation analysis, with the strongest correlation being obtained between the 15iSSQ*speech*

and the EEAS, in both NH (60% of variance explained) and HIHA (40% of variance explained). Among the EEAS subscales, EEAS*noise* is significantly more related to the 15iSSQ*speech* than EEAS*quiet*, and it is significantly more related to 15iSSQ*speech* than to any other 15iSSQ subscale. Those stronger correlations can be attributed to the similarities between the communication situations depicted in both EEAS and 15iSSQ*speech*, i.e., speech perception in different background noises. Other similarities between EEAS and 15iSSQ*speech* include the significant decrease of 15iSSQ scores with the current HA 's age, which is consistent with the increased listening effort obtained with the EEAS. However, the similarities between 15iSSQ and EEAS end here, with clearly different constructs and different predictors for each self-report measure.

It is important to note that 15iSSQ scores were more strongly linked to the set of predictors tested than the EEAS, as 23.5% of the variance in 15iSSQ scores were explained (versus 14% for the EEAS), the major predictor being the better ear threshold ($\beta = 0.37$) and, to a lesser degree, the HA daily use ($\beta = -0.20$), on par with HA experience ($\beta = 0.19$). Age and ear asymmetry form the 2 last predictors of the 15iSSQ. The dependency of 15iSSQ scores (and of SSQ scores in general) on the better ear hearing threshold has long been shown, but the link with potential hearing-aid factors has yet rarely been investigated. Yet, the 15iSSQ is significantly related to HA daily use, with good 15iSSQ scores associated with large daily HA use, whereas HA daily use doesn't have any significant relationship with EEAS. Yet, total HA experience is strongly associated with an increase in listening effort on the EEAS, especially in noisy situations, even more so than the better ear hearing threshold, whereas total HA experience remains one of the weakest predictors of the 15iSSQ. The SSQ consists in asking patients how well they can do a task, hence assessing their abilities to perform a task, whereas the EEAS goes beyond that: it asks how much effort patients need to put in the different daily situations depicted, and, in a way, how much effort they are willing to put in those listening situations, encompassing the aspect of motivation, which is a major part of the listening effort modelled in the FUEL framework (Pichora-Fuller et al., 2016b). The weakness of the relationship between EEAS and hearing thresholds contrasts with the 15iSSQ, that is closely related to both hearing thresholds, and, to a lesser degree, ear asymmetry. Although the population studied is HIHA patients, with a generally heavy use of their HA, and who have been instructed to answer the self-report measures in the condition of them wearing their HA, the most relevant predictor of the hearing abilities scores is the hearing threshold, rather than the aided hearing threshold. Even when audibility is restored by the HA, self-assessed hearing abilities relate more to the unaided auditory system 's functional status. This is true for pure tone hearing thresholds, but not for ear asymmetry. Indeed, for the 15iSSQ, and especially for the 15iSSQ*speech* and 15iSSQ*spatial*, aided ear asymmetry were significant predictors, with an improvement of scores as aided ear asymmetry was decreasing, whereas no significant relationship was obtained with unaided ear asymmetry, in the models taking into account the HA related variables. When looking at the extreme values, 57% of HIHA experienced extreme listening effort whereas only 43% experienced extremely low hearing abilities (15iSSQ scores). This stresses the importance of taking into account listening effort, and not only hearing abilities to assess HA benefit. A strong correlation was observed between self-report hearing handicap (HHIE) and EAS scores ($r=0.73$) in a population of hearing-impaired patients

(Alhanbali et al., 2018a). The fact that EEAS and 15iSSQ scores were much more related to each other in NH than in HIHA, and the fact that EEAS scores depended strongly on total HA experience in HIHA, suggests that the EEAS captures a dimension of listening effort in the hearing-aided population that is different from what could be obtained from a non- hearing-aided population, or a NH population.

Conversely to the EAS, the EEAS addresses listening effort both in quiet and noisy situations. Indeed, due to the specific link between speech in noise and listening effort (e.g. (Eckert et al., 2017), it seems relevant to explore both aspects, using the same items in both situations, in a similar way as was done for the LSEQ (Smith et al., 2011). The EEAS*quiet* subscale was more related to better ear threshold (and to a lesser degree, ear asymmetry) than the EEAS*noise* was, and both EEAS*noise* and EEAS*quiet* were clearly elevated in HIHA compared to NH. As the complaints of difficulties in understanding speech in noisy situations are commonplace in HIHA populations, and as the benefit of HA are well recognised in quiet situation but very often reported as insufficient in noisy environments, we would have expected greater difference between listening effort in noise and listening effort in quiet in HIHA compared to NH, especially as our NH group is quite homogenous in terms of age and hearing-threshold. This was not the case, as equivalent EEAS*noise-quiet* scores were obtained in HIHA and in NH group. Looking at the correlations, this differential score depended almost exclusively on the EEAS*noise* in NH, whereas for HIHA, it depended on both EEAS*quiet* and EEAS*noise*, with a similar increase in effort in both situations. This shows the variability in effort in listening in noise in a carefully screened and young NH group. Actually, the percentage of "extreme" listening effort in our HIHA population (based on the 95th percentile of the NH group), is 53% based on the EEAS*quiet* scale, versus only 42% based on the corresponding EEAS*noise3* due to greater variability in NH group. This discrepancy between daily listening effort self-evaluated in quiet situations and daily listening effort evaluated in noisy environments, stresses the importance of taking into account those different situations. The multidimensionality of listening effort is often stressed out, with weak correlations between different types of measures being reported (e.g. (Alhanbali et al., 2019b; Strand et al., 2018). Here, the difference takes place within the same measure, amongst 2 subscales of the same questionnaire, whose items differ by only a few words, emphasizing the need for detailed specification of what is meant by "listening effort", as recently stated by Strand et al. (2020).

Conclusion

Thanks to a large sample of hearing-impaired hearing-aided patients, his study provided a detailed analysis, at the item level, of the internal structure of an extended version of Alhanbali's EAS, which is the first scale devoted to the assessment of daily listening effort in hearing-impaired populations.

The extended version has the advantage of exploring two separate constructs: listening in quiet situations and listening in noise situations. Those 2 constructs behaved differently, the listening effort in quiet situations depending more on better ear hearing threshold, whereas listening effort in noise situation depended mainly on total HA experience. Unexpectedly, the differential score EEAS*noise-quiet* was not different between the group of NH and the group of HIHA.

The daily listening effort self-reported by the HIHA was compared to their self-reported hearing abilities, measured by a short-form of the SSQ. Although both the SSQ and EEAS scales share common listening situations and similar visuo-analog scale, they explore quite different constructs, as ascertained by exploratory factor analysis and cluster analysis. Furthermore, each scale showed different sets of predictors. The SSQ was strongly predicted by audiometric variables, including daily HA use, whereas EEAS scores were significantly more related to hearing-aid history than to hearing thresholds, and were generally only weakly predicted by the usual set of predictors. The results suggest that the EEAS captures dimensions that are complementary to what is explored by the 15iSSQ, and more closely related to hearing-aids, and could thus be very useful as an outcome measure in hearing rehabilitation.

Bibliography

Acquadro, C., Conway, K., Hareendran, A., Aaronson, N., 2008. Literature Review of Methods to Translate Health-Related Quality of Life Questionnaires for Use in Multinational Clinical Trials. Value in Health 11, 509–521. https://doi.org/10.1111/j.1524-4733.2007.00292.x

Adrait, A., Perrot, X., Nguyen, M.-F., Gueugnon, M., Petitot, C., Collet, L., Roux, A., Bonnefoy, M., ADPHA study group, 2017. Do Hearing Aids Influence Behavioral and Psychological Symptoms of Dementia and Quality of Life in Hearing Impaired Alzheimer's Disease Patients and Their Caregivers? J. Alzheimers Dis. 58, 109–121. https://doi.org/10.3233/JAD-160792

Aggarwal, A., Kean, E., 2010. Comparison of the Folstein Mini Mental State Examination (MMSE) to the Montreal Cognitive Assessment (MoCA) as a Cognitive Screening Tool in an Inpatient Rehabilitation Setting. NM 01, 39–42. https://doi.org/10.4236/nm.2010.12006

Ahlstrom, J.B., Horwitz, A.R., Dubno, J.R., 2014. Spatial separation benefit for unaided and aided listening. Ear Hear 35, 72–85. https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e3182a02274

Akeroyd, M.A., 2008. Are individual differences in speech reception related to individual differences in cognitive ability? A survey of twenty experimental studies with normal and hearing-impaired adults. Int J Audiol 47 Suppl 2, S53-71. https://doi.org/10.1080/14992020802301142

Akeroyd, M.A., Guy, F.H., Harrison, D.L., Suller, S.L., 2014. A factor analysis of the SSQ (Speech, Spatial, and Qualities of Hearing Scale). Int J Audiol 53, 101–114. https://doi.org/10.3109/14992027.2013.824115

Alain, C., Arnott, S.R., Picton, T.W., 2001. Bottom–up and top–down influences on auditory scene analysis: Evidence from event-related brain potentials. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance 27, 1072–1089. https://doi.org/10.1037/0096-1523.27.5.1072

Alain, C., Dyson, B.J., Snyder, J.S., 2006. Aging and the Perceptual Organization of Sounds: A Change of Scene?, in: Handbook of Models for Human Aging. Elsevier, pp. 759–769. https://doi.org/10.1016/B978-012369391-4/50065-5

Alain, C., Zendel, B.R., Hutka, S., Bidelman, G.M., 2014. Turning down the noise: The benefit of musical training on the aging auditory brain. Hearing Research 308, 162–173. https://doi.org/10.1016/j.heares.2013.06.008

Alhanbali, S., Dawes, P., Lloyd, S., Munro, K., 2018a. Hearing handicap and speech recognition correlate with self-reported listening effort and fatigue. Ear and hearing 39, 470–474. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000515

Alhanbali, S., Dawes, P., Lloyd, S., Munro, K.J., 2018b. Hearing Handicap and Speech Recognition Correlate With Self-Reported Listening Effort and Fatigue. Ear Hear 39, 470–474. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000515

Alhanbali, S., Dawes, P., Lloyd, S., Munro, K.J., 2018c. Hearing Handicap and Speech Recognition Correlate With Self-Reported Listening Effort and Fatigue. Ear & Hearing 39, 470–474. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000515

Alhanbali, S., Dawes, P., Lloyd, S., Munro, K.J., 2017a. Self-Reported Listening-Related Effort and Fatigue in Hearing-Impaired Adults: Ear and Hearing 38, e39–e48. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000361

Alhanbali, S., Dawes, P., Lloyd, S., Munro, K.J., 2017b. Self-Reported Listening-Related Effort and Fatigue in Hearing-Impaired Adults. Ear Hear 38, e39–e48. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000361

Alhanbali, S., Dawes, P., Millman, R.E., Munro, K.J., 2019a. Measures of Listening Effort Are Multidimensional 14.

Alhanbali, S., Dawes, P., Millman, R.E., Munro, K.J., 2019b. Measures of Listening Effort Are Multidimensional: Ear and Hearing 40, 1084–1097. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000697

Alkhamra, R.A., 2010. Cognitive effort and perception of speech by postlingually deafened adult user of cochlear implants - ProQuest [WWW Document]. URL https://search.proquest.com/openview/437b0807900f85037e365a7c7c675f5a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y (accessed 12.3.20).

Al-Yawer, F., Pichora-Fuller, M.K., Phillips, N.A., 2019. The Montreal Cognitive Assessment After Omission of Hearing-Dependent Subtests: Psychometrics and Clinical Recommendations. J Am Geriatr Soc 67, 1689–1694. https://doi.org/10.1111/jgs.15940

Ambert-Dahan, E., Laouénan, C., Lebredonchel, M., Borel, S., Carillo, C., Bouccara, D., Sterkers, O., Ferrary, E., Mosnier, I., 2018. Évaluation du retentissement de la surdité chez l'adulte : validation d'un questionnaire de qualité de vie. Annales françaises d'Oto-rhino-laryngologie et de Pathologie Cervico-faciale 135, 29–35. https://doi.org/10.1016/j.aforl.2017.05.002

Amieva, H., Le Goff, M., STOYKOVA, R., Lafont, S., Ritchie, K., Tzourio, C., Fabrigoule, C., Dartigues, J.-F., 2009. Trail Making Test A et B - version sans correction des erreurs : normes en population chez des sujets âgés, issues de l'étude des trois Cités. Revue de Neuropsychologie 3, 210–220. https://doi.org/10.1684/nrp.2009.0031

Amieva, H., Ouvrard, C., Meillon, C., Rullier, L., Dartigues, J.-F., 2018. Death, Depression, Disability, and Dementia Associated With Self-reported Hearing Problems: A 25-Year Study. The Journals of Gerontology: Series A. https://doi.org/10.1093/gerona/glx250

Andéol, G., Suied, C., Scannella, S., Dehais, F., 2017. The Spatial Release of Cognitive Load in Cocktail Party Is Determined by the Relative Levels of the Talkers. JARO 18, 457–464. https://doi.org/10.1007/s10162-016-0611-7

Anderson, S., Parbery-Clark, A., White-Schwoch, T., Kraus, N., 2013. Auditory brainstem response to complex sounds predicts self-reported speech-in-noise performance. J Speech Lang Hear Res 56, 31–43. https://doi.org/10.1044/1092-4388(2012/12-0043)

Arehart, K.H., Souza, P., Baca, R., Kates, J.M., 2013. Working Memory, Age, and Hearing Loss: Susceptibility to Hearing Aid Distortion 34, 10.

Arlinger, S., Lunner, T., Lyxell, B., Kathleen Pichora-Fuller, M., 2009a. The emergence of Cognitive Hearing Science. Scandinavian Journal of Psychology 50, 371–384. https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.2009.00753.x

Arlinger, S., Lunner, T., Lyxell, B., Pichora-Fuller, M.K., 2009b. The emergence of cognitive hearing science. Scand J Psychol 50, 371–384. https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.2009.00753.x

Atlas des juniors [WWW Document], 2005. URL https://sites.google.com/site/pathossaf/le-diagnostique-clinique/les-anomalies-du-systeme-nerveux (accessed 8.6.21).

Axelle, V., 2013. Enquête Nationale auprès des audioprothésistes sur la prise en charge des patients acouphéniques 137.

Baddeley, A.D., Hitch, G., 1974. Working Memory, in: Bower, G.H. (Ed.), Psychology of Learning and Motivation. Academic Press, pp. 47–89. https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1

Baillargeon, J., 2003. L'analyse factorielle exploratoire. Uqtr, cours Afe.

Beaton, D.E., Bombardier, C., Guillemin, F., Ferraz, M.B., 2000. Guidelines for the Process of Cross-Cultural Adaptation of Self-Report Measures: Spine 25, 3186–3191. https://doi.org/10.1097/00007632-200012150-00014

Benichov, J., Cox, L.C., Tun, P.A., Wingfield, A., 2012. Word recognition within a linguistic context: effects of age, hearing acuity, verbal ability, and cognitive function. Ear Hear 33, 250–256. https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31822f680f

Bennett, R.J., Kosovich, E.M., Stegeman, I., Ebrahimi-Madiseh, A., Tegg-Quinn, S., Eikelboom, R.H., 2020. Investigating the prevalence and impact of device-related problems associated with hearing aid use. Int J Audiol 59, 615–623. https://doi.org/10.1080/14992027.2020.1731615

Bernarding, C., Strauss, D.J., Hannemann, R., Seidler, H., Corona-Strauss, F.I., 2017. Neurodynamic evaluation of hearing aid features using EEG correlates of listening effort. Cognitive Neurodynamics. https://doi.org/10.1007/s11571-017-9425-5

Bertoli, S., Staehelin, K., Zemp, E., Schindler, C., Bodmer, D., Probst, R., 2009. Survey on hearing aid use and satisfaction in Switzerland and their determinants. Int J Audiol 48, 183–195. https://doi.org/10.1080/14992020802572627

Bess, F.H., Hornsby, B.W.Y., 2014. Commentary: listening can be exhausting--fatigue in children and adults with hearing loss. Ear Hear 35, 592–599. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000099

Bilger, R.C., Nuetzel, J.M., Rabinowitz, W.M., Rzeczkowski, C., 1984. Standardization of a test of Speech Perception in Noise. Journal of Speech & Hearing Research 27, 32–48. https://doi.org/10.1044/jshr.2701.32

Boebinger, D., Evans, S., Rosen, S., Lima, C.F., Manly, T., Scott, S.K., 2015. Musicians and non-musicians are equally adept at perceiving masked speech. The Journal of the Acoustical Society of America 137, 378–387. https://doi.org/10.1121/1.4904537

Boothroyd, A., Nittrouer, S., 1988. Mathematical treatment of context effects in phoneme and word recognition. J Acoust Soc Am 84, 101–114. https://doi.org/10.1121/1.396976

Bopp, K.L., Verhaeghen, P., 2005. Aging and Verbal Memory Span: A Meta-Analysis. The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences 60, P223–P233. https://doi.org/10.1093/geronb/60.5.P223

Bouletreau, A., Chouaniere, D., Wild, P., Fontana, J.M., 1999. Concevoir, traduire et valider un questionnaire. A propos d'un exemple, EUROQUEST. 50.

Bräcker, T., Hellmiss, S., Batsoulis, C., Petzold, T., Gabel, L., Möltner, A., Stöver, T., Mlynski, R., Lenarz, T., Büchner, A., 2019. Introducing real-life listening features into the clinical test environment: Part II: Measuring the hearing performance and evaluating the listening effort of individuals with a hearing implant. Cochlear Implants Int 20, 165–175. https://doi.org/10.1080/14670100.2019.1579980

Brown, T.A., 2015. Confirmatory Factor Analysis for Applied Research, Second Edition, $ {number}nd édition. ed. Guilford Press, New York ; London.

Brysbaert, M., Buchmeier, M., Conrad, M., Jacobs, A.M., Bölte, J., Böhl, A., 2011. The word frequency effect: a review of recent developments and implications for the choice of frequency estimates in German. Exp Psychol 58, 412–424. https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000123

Burns, E.M., Turner, C., 1986. Pure-tone pitch anomalies. II. Pitch-intensity effects and diplacusis in impaired ears. J Acoust Soc Am 79, 1530–1540. https://doi.org/10.1121/1.393679

Caclin, A., Tillmann, B., 2018. Musical and verbal short-term memory: insights from neurodevelopmental and neurological disorders: Musical and verbal short-term memory. Annals of the New York Academy of Sciences 1423, 155–165. https://doi.org/10.1111/nyas.13733

Carroll, R., Warzybok, A., Kollmeier, B., Ruigendijk, E., 2016a. Age-Related Differences in Lexical Access Relate to Speech Recognition in Noise. Frontiers in Psychology 7. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00990

Carroll, R., Warzybok, A., Kollmeier, B., Ruigendijk, E., 2016b. Age-Related Differences in Lexical Access Relate to Speech Recognition in Noise. Front. Psychol. 7. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00990

Chin, T., Rickard, N.S., 2012. The Music USE (MUSE) Questionnaire: An Instrument to Measure Engagement in Music. Music Perception 29, 429–446. https://doi.org/10.1525/mp.2012.29.4.429

Churchill, G.A., 1979. A Paradigm for Developing Better Measures of Marketing Constructs. Journal of Marketing Research 16, 64–73. https://doi.org/10.2307/3150876

Ciesielska, N., Sokołowski, R., Mazur, E., Podhorecka, M., Polak-Szabela, A., Kędziora-Kornatowska, K., 2016. Is the Montreal Cognitive Assessment (MoCA) test better suited than the Mini-Mental State Examination (MMSE) in mild cognitive impairment (MCI) detection among people aged over 60? Meta-analysis. Psychiatr Pol 50, 1039–1052. https://doi.org/10.12740/PP/45368

Coffey, E.B.J., Mogilever, N.B., Zatorre, R.J., 2017. Speech-in-noise perception in musicians: A review. Hear Res 352, 49–69. https://doi.org/10.1016/j.heares.2017.02.006

Colin, D., 2016. Influence de la surdité neurosensorielle sur la perception de la hauteur tonale 200.
Cooksey, R.W., Soutar, G.N., 2006. Coefficient Beta and Hierarchical Item Clustering An Analytical Procedure for Establishing and Displaying the Dimensionality and Homogeneity of Summated Scales. Organizational Research Methods 9, 78–98. https://doi.org/10.1177/1094428105283939
Corsi, P.M., 1972. MEMORY AND THE MEDIAL TEMPORAL REGION OF THE BRAIN 85.
Coste, J., Fermanian, J., Venot, A., 1995. Methodological and statistical problems in the construction of composite measurement scales: a survey of six medical and epidemiological journals. Stat Med 14, 331–345. https://doi.org/10.1002/sim.4780140402
Cottraux, J., 1985. Méthodes et échelles d'évaluation des comportements. EAP.
Cowan, N., 2008. Chapter 20 What are the differences between long-term, short-term, and working memory?, in: Progress in Brain Research. Elsevier, pp. 323–338. https://doi.org/10.1016/S0079-6123(07)00020-9
Cowan, N., 1988. Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information-processing system. Psychol Bull 104, 163–191. https://doi.org/10.1037/0033-2909.104.2.163
Cox, R.M., 1995. The Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit: Ear and Hearing 16, 176–186. https://doi.org/10.1097/00003446-199504000-00005
Cox, R.M., Alexander, G.C., 2002. The International Outcome Inventory for Hearing Aids (IOI-HA): psychometric properties of the English version. Int J Audiol 41, 30–35.
Cox, R.M., Alexander, G.C., 2001. Validation of the SADL questionnaire. Ear Hear 22, 151–160.
Cox, R.M., Alexander, G.C., 1999. Measuring Satisfaction with Amplification in Daily Life: the SADL scale. Ear Hear 20, 306–320.
Cox, R.M., Alexander, G.C., 1995. The Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit: Ear and Hearing 16, 176–186. https://doi.org/10.1097/00003446-199504000-00005
Cronbach, L.J., 1951a. Coefficient alpha and the internal structure of tests. Psychometrika 16, 297–334. https://doi.org/10.1007/BF02310555
Cronbach, L.J., 1951b. Coefficient alpha and the internal structure of tests. Psychometrika 16, 297–334. https://doi.org/10.1007/BF02310555
Daneman, M., Carpenter, P.A., 1980. Individual differences in working memory and reading. Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior 19, 450–466. https://doi.org/10.1016/S0022-5371(80)90312-6
Davis, R.I., Ahroon, W.A., Hamernik, R.P., 1989. The relation among hearing loss, sensory cell loss and tuning characteristics in the chinchilla. Hear Res 41, 1–14. https://doi.org/10.1016/0378-5955(89)90173-1
Dawes, P., 2019. Hearing interventions to prevent dementia. HNO 67, 165–171. https://doi.org/10.1007/s00106-019-0617-7
Dawes, P., Emsley, R., Cruickshanks, K.J., Moore, D.R., Fortnum, H., Edmondson-Jones, M., McCormack, A., Munro, K.J., 2015. Hearing Loss and Cognition: The Role of Hearing Aids, Social Isolation and Depression. PLOS ONE 10, e0119616. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119616
Dawes, P., Munro, K.J., 2017a. Auditory Distraction and Acclimatization to Hearing Aids. Ear & Hearing 38, 174–183. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000366
Dawes, P., Munro, K.J., 2017b. Auditory Distraction and Acclimatization to Hearing Aids. Ear Hear 38, 174–183. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000366
Dawes, P., Munro, K.J., Kalluri, S., Edwards, B., 2014a. Auditory acclimatization and hearing aids: late auditory evoked potentials and speech recognition following unilateral and bilateral amplification. J Acoust Soc Am 135, 3560–3569. https://doi.org/10.1121/1.4874629
Dawes, P., Munro, K.J., Kalluri, S., Edwards, B., 2014b. Acclimatization to hearing aids. Ear Hear 35, 203–212. https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e3182a8eda4
Dawes, P., Munro, K.J., Kalluri, S., Edwards, B., 2013. Acclimatization to Hearing Aids 35, 10.

Degeest, S., Keppler, H., Corthals, P., 2015a. The Effect of Age on Listening Effort. J Speech Lang Hear Res 58, 1592–1600. https://doi.org/10.1044/2015_JSLHR-H-14-0288
Degeest, S., Keppler, H., Corthals, P., 2015b. The Effect of Age on Listening Effort. J Speech Lang Hear Res 58, 1592–1600. https://doi.org/10.1044/2015_JSLHR-H-14-0288
Deltour, J., 1998. Echelle de vocabulaire de Mill-Hill (traduction française). Éditions et Applications Psychologiques.
Deltour, J.-J., 2007. Échelle de vocabulaire Mill Hill.
Demeester, K., Topsakal, V., Hendrickx, J.-J., Fransen, E., van Laer, L., Van Camp, G., Van de Heyning, P., van Wieringen, A., 2012a. Hearing Disability Measured by the Speech, Spatial, and Qualities of Hearing Scale in Clinically Normal-Hearing and Hearing-Impaired Middle-Aged Persons, and Disability Screening by Means of a Reduced SSQ (the SSQ5). Ear & Hearing 33, 615–616. https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31824e0ba7
Demeester, K., Topsakal, V., Hendrickx, J.-J., Fransen, E., van Laer, L., Van Camp, G., Van de Heyning, P., van Wieringen, A., 2012b. Hearing disability measured by the speech, spatial, and qualities of hearing scale in clinically normal-hearing and hearing-impaired middle-aged persons, and disability screening by means of a reduced SSQ (the SSQ5). Ear Hear 33, 615–616. https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31824e0ba7
Desjardins, J.L., Doherty, K.A., 2014. The Effect of Hearing Aid Noise Reduction on Listening Effort in Hearing-Impaired Adults: Ear and Hearing 35, 600–610. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000028
Desjardins, J.L., Doherty, K.A., 2013. Age-related changes in listening effort for various types of masker noises. Ear Hear 34, 261–272. https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31826d0ba4
Desmette, D., Hupet, M., Schelstraete, M.-A., Van der Linden, M., 1995. Adaptation en langue française du « Reading Span Test » de Daneman et Carpenter (1980). L'Année psychologique 95, 459–482. https://doi.org/10.3406/psy.1995.28842
DeVellis, R.F., 2003. Scale development : theory and applications / [WWW Document].
Dong, Y., Sharma, V.K., Chan, B.P.-L., Venketasubramanian, N., Teoh, H.L., Seet, R.C.S., Tanicala, S., Chan, Y.H., Chen, C., 2010. The Montreal Cognitive Assessment (MoCA) is superior to the Mini-Mental State Examination (MMSE) for the detection of vascular cognitive impairment after acute stroke. J Neurol Sci 299, 15–18. https://doi.org/10.1016/j.jns.2010.08.051
Duchêne, J., 2020. Validation et évaluation de la version française du questionnaire de dépistage du handicap auditif HHIE-S (Hearing Handicap Inventory for the Elderly-Screening) chez l'adulte de plus de 60 ans nnales françaises d'otorhino-laryngologie et de pathologie cervico-faciale., 102.
Dupuis, K., Pichora-Fuller, M.K., Chasteen, A.L., Marchuk, V., Singh, G., Smith, S.L., 2015. Effects of hearing and vision impairments on the Montreal Cognitive Assessment. Aging, Neuropsychology, and Cognition 22, 413–437. https://doi.org/10.1080/13825585.2014.968084
Duquesnoy, A.J., Plomp, R., 1983. The effect of a hearing aid on the speech-reception threshold of hearing-impaired listeners in quiet and in noise. J Acoust Soc Am 73, 2166–2173. https://doi.org/10.1121/1.389540
Eckert, M.A., Matthews, L.J., Dubno, J.R., 2017. Self-Assessed Hearing Handicap in Older Adults With Poorer-Than-Predicted Speech Recognition in Noise. Journal of Speech, Language, and Hearing Research 60, 251–262. https://doi.org/10.1044/2016_JSLHR-H-16-0011
Eggermont, J.J., 1977. Electrocochleography and recruitment. Ann Otol Rhinol Laryngol 86, 138–149. https://doi.org/10.1177/000348947708600202
Eignor, D.R., 2001. Standards for the development and use of tests: The Standards for Educational and Psychological Testing. European Journal of Psychological Assessment 17, 157–163. https://doi.org/10.1027/1015-5759.17.3.157
Epstein, J., Osborne, R.H., Elsworth, G.R., Beaton, D.E., Guillemin, F., 2015. Cross-cultural adaptation of the Health Education Impact Questionnaire: experimental study showed expert

committee, not back-translation, added value. J Clin Epidemiol 68, 360–369. https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2013.07.013
Erdem, B.K., Çiprut, A., 2019. Evaluation of Speech, Spatial Perception and Hearing Quality in Unilateral, Bimodal and Bilateral Cochlear Implant Users. Turk Arch Otorhinolaryngol 57, 149–153. https://doi.org/10.5152/tao.2019.4105
Eustache, F., 2019. Mémoire · Inserm, La science pour la santé [WWW Document]. Inserm. URL https://www.inserm.fr/dossier/memoire/ (accessed 9.26.21).
Fabrigar, Leandre R, Wegener, D.T., MacCallum, R.C., Strahan, E.J., 1999. Evaluating the Use of Exploratory Factor Analysis in Psychological Research 28.
Fabrigar, Leandre R., Wegener, D.T., MacCallum, R.C., Strahan, E.J., 1999. Evaluating the use of exploratory factor analysis in psychological research. Psychological Methods 4, 272–299. https://doi.org/10.1037/1082-989X.4.3.272
Fang, T.-Y., Chang, H.-J., Wan, T.-K., Wang, P.-C., Chen, Y.-H., 2013. Validation of the Chinese version "satisfaction with amplification in daily life (SADL)" survey for hearing-aid users. International Journal of Audiology 52, 478–484. https://doi.org/10.3109/14992027.2013.773406
Fermanian, (J.), 1996. Evaluer correctement la validité d'une échelle : les nombreux pièges à éviter. Evaluer correctement la validité d'une échelle : les nombreux pièges à éviter.
Fermanian, J., 1984. [Measurement of agreement between 2 judges. Qualitative cases]. Rev Epidemiol Sante Publique 32, 140–147.
Ferschneider, M., Gallego, S., Moulin, A., 2022. Utilisation du Questionnaire d'habiletés auditives `` Parole, audition spatiale et qualité d'audition ' ' (`` Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale) (SSQ) en audioprothèse. les cahiers de l'audition 38–43.
Foddy, W.H., 1993. Constructing questions for interviews and questionnaires: Theory and practice in social research, Constructing questions for interviews and questionnaires: Theory and practice in social research. Cambridge University Press, New York, NY, US. https://doi.org/10.1017/CBO9780511518201
Fok, C.C.T., Henry, D., 2015. Increasing the Sensitivity of Measures to Change. Prev Sci 16, 978–986. https://doi.org/10.1007/s11121-015-0545-z
Folstein, M.F., Folstein, S.E., McHugh, P.R., 1975. "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. J Psychiatr Res 12, 189–198. https://doi.org/10.1016/0022-3956(75)90026-6
Foo, C., Rudner, M., Rönnberg, J., Lunner, T., 2007. Recognition of speech in noise with new hearing instrument compression release settings requires explicit cognitive storage and processing capacity. J Am Acad Audiol 18, 618–631. https://doi.org/10.3766/jaaa.18.7.8
Forgeard, M., Winner, E., Norton, A., Schlaug, G., 2008. Practicing a Musical Instrument in Childhood is Associated with Enhanced Verbal Ability and Nonverbal Reasoning. PLOS ONE 3, e3566. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003566
Formation continue : 42 % des audios ne connaissent pas leurs obligations [WWW Document], 2021. . Audiologie Demain. URL https://audiologie-demain.com/formation-continue-42-des-audioprothesistes-ne-connaissent-pas-leurs-obligations (accessed 6.15.21).
Fortunato, S., Forli, F., Guglielmi, V., De, E.C., Paludetti, G., Berrettini, S., Fetoni, A.R., 2016. A review of new insights on the association between hearing loss and cognitive decline in ageing., A review of new insights on the association between hearing loss and cognitive decline in ageing. Acta Otorhinolaryngol Ital 36, 36, 155, 155–166. https://doi.org/10.14639/0392-100X-993, 10.14639/0392-100X-993
Foster, J.R., Haggard, M.P., 1987. The Four Alternative Auditory Feature test (FAAF)—linguistic and psychometric properties of the material with normative data in noise. British Journal of Audiology 21, 165–174. https://doi.org/10.3109/03005368709076402
Fournier, M., Albaret, J.-M., 2013. Étalonnage des blocs de Corsi sur une population d'enfants scolarisés du CP à la 6e. Développements 16–17, 76. https://doi.org/10.3917/devel.016.0076
Fowler, E.P., 1963. LOUDNESS RECRUITMENT. DEFINITION AND CLARIFICATION. Arch Otolaryngol 78, 748–753. https://doi.org/10.1001/archotol.1963.00750020764003

Fox, C., 1996. Questionnaire Development. Journal of Health & Social Policy 8, 39–48. https://doi.org/10.1300/J045v08n01_04
Frankish, H., Horton, R., 2017a. Prevention and management of dementia: a priority for public health. The Lancet 390, 2614–2615. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)31756-7
Frankish, H., Horton, R., 2017b. Prevention and management of dementia: a priority for public health. The Lancet 390, 2614–2615. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)31756-7
Fuller, C., Mallinckrodt, L., Maat, B., Başkent, D., Free, R., 2013. Music and quality of life in early-deafened late-implanted adult cochlear implant users. Otol Neurotol 34, 1041–1047. https://doi.org/10.1097/MAO.0b013e31828f47dd
Füllgrabe, C., Rosen, S., 2016. On The (Un)importance of Working Memory in Speech-in-Noise Processing for Listeners with Normal Hearing Thresholds. Frontiers in Psychology 07. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01268
Gatehouse, S., 1998. Speech Tests as Measures of Outcome. Scandinavian Audiology 27, 54–60. https://doi.org/10.1080/010503998420667
Gatehouse, S., 1992. The time course and magnitude of perceptual acclimatization to frequency responses: evidence from monaural fitting of hearing aids. J Acoust Soc Am 92, 1258–1268. https://doi.org/10.1121/1.403921
Gatehouse, S., Noble, W., 2004a. The Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale (SSQ). International Journal of Audiology 43, 85–99. https://doi.org/10.1080/14992020400050014
Gatehouse, S., Noble, W., 2004b. The speech, spatial and qualities of hearing scale (SSQ). International journal of audiology 43, 85–99.
Ghasemi, A., Zahediasl, S., 2012. Normality tests for statistical analysis: a guide for non-statisticians. Int J Endocrinol Metab 10, 486–489. https://doi.org/10.5812/ijem.3505
Gineste, M.-D., Le Ny, J.-F., 2002. Psychologie cognitive du langage: de la reconnaissance à la compréhension. Dunod, Paris.
Giroud, N., Lemke, U., Reich, P., Matthes, K.L., Meyer, M., 2017. The impact of hearing aids and age-related hearing loss on auditory plasticity across three months - An electrical neuroimaging study. Hear Res 353, 162–175. https://doi.org/10.1016/j.heares.2017.06.012
Giuliani, N.P., Brown, C.J., Wu, Y.-H., 2020. Comparisons of the Sensitivity and Reliability of Multiple Measures of Listening Effort. Ear and Hearing Publish Ahead of Print. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000950
Glick, H., Sharma, A., 2017. Cross-modal Plasticity in Developmental and Age-Related Hearing Loss: Clinical Implications. Hear Res 343, 191–201. https://doi.org/10.1016/j.heares.2016.08.012
Goldinger, S.D., 1996. Auditory Lexical Decision. Language and Cognitive Processes 11, 559–568. https://doi.org/10.1080/016909696386944
Gómez Gallego, M., Gómez García, J., 2017. Music therapy and Alzheimer's disease: Cognitive, psychological, and behavioural effects. Neurologia 32, 300–308. https://doi.org/10.1016/j.nrl.2015.12.003
Gonsalez, E.C. de M., Almeida, K. de, Gonsalez, E.C. de M., Almeida, K. de, 2015. Cross-cultural adaptation of the Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale (SSQ) to Brazilian Portuguese. Audiology - Communication Research 20, 215–224. https://doi.org/10.1590/S2317-64312015000300001572
Gopinath, B., Schneider, J., Hickson, L., McMahon, C.M., Burlutsky, G., Leeder, S.R., Mitchell, P., 2012. Hearing handicap, rather than measured hearing impairment, predicts poorer quality of life over 10 years in older adults. Maturitas 72, 146–151. https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2012.03.010
Gordon, E., 1989. Advanced measures of music audiation. Gia Publications.
Gordon-Salant, S., Cole, S.S., 2016a. Effects of Age and Working Memory Capacity on Speech Recognition Performance in Noise Among Listeners With Normal Hearing: Ear and Hearing 37, 593–602. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000316

Gordon-Salant, S., Cole, S.S., 2016b. Effects of Age and Working Memory Capacity on Speech Recognition Performance in Noise Among Listeners With Normal Hearing: Ear and Hearing 37, 593–602. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000316

Gosselin, P.A., Gagné, J.-P., 2011. Older adults expend more listening effort than young adults recognizing audiovisual speech in noise. International Journal of Audiology 50, 786–792. https://doi.org/10.3109/14992027.2011.599870

Greasley, A., Crook, H., Fulford, R., 2020. Music listening and hearing aids: perspectives from audiologists and their patients. Int J Audiol 59, 694–706. https://doi.org/10.1080/14992027.2020.1762126

Guillemin, F., Bombardier, C., Beaton, D., 1993. Cross-cultural adaptation of health-related quality of life measures: literature review and proposed guidelines. J Clin Epidemiol 46, 1417–1432.

Gurgel, R.K., Ward, P.D., Schwartz, S., Norton, M.C., Foster, N.L., Tschanz, J.T., 2014. Relationship of Hearing loss and Dementia: a Prospective, Population-based Study. Otol Neurotol 35, 775–781. https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000000313

Hall, D.A., Zaragoza Domingo, S., Hamdache, L.Z., Manchaiah, V., Thammaiah, S., Evans, C., Wong, L.L.N., On behalf of the International Collegium of Rehabilitative Audiology and TINnitus Research NETwork, 2018. A good practice guide for translating and adapting hearing-related questionnaires for different languages and cultures. International Journal of Audiology 57, 161–175. https://doi.org/10.1080/14992027.2017.1393565

Hamacher, V., Chalupper, J., Eggers, J., Fischer, E., Kornagel, U., Puder, H., Rass, U., 2005. Signal Processing in High-End Hearing Aids: State of the Art, Challenges, and Future Trends. EURASIP J. Adv. Signal Process. 2005, 1–15. https://doi.org/10.1155/ASP.2005.2915

Hart, S.G., Staveland, L.E., 1988. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research, in: Hancock, P.A., Meshkati, N. (Eds.), Advances in Psychology, Human Mental Workload. North-Holland, pp. 139–183. https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9

Henrysson, S., 1963. Correction of item-total correlations in item analysis. Psychometrika 28, 211–218. https://doi.org/10.1007/BF02289618

Herdman, M., Fox-Rushby, J., Badia, X., 1998. A model of equivalence in the cultural adaptation of HRQoL instruments: the universalist approach. Qual Life Res 7, 323–335. https://doi.org/10.1023/a:1024985930536

Hétu, R., Jones, L., Getty, L., 1993. The impact of acquired hearing impairment on intimate relationships: implications for rehabilitation. Audiology 32, 363–381. https://doi.org/10.3109/00206099309071867

Hillbriggs, F., Dial, J., Morere, D., Joyce, A., 2007. Neuropsychological assessment of persons with physical disability, visual impairment or blindness, and hearing impairment or deafness. Archives of Clinical Neuropsychology 22, 389–404. https://doi.org/10.1016/j.acn.2007.01.013

Hirel, C., Nighoghossian, N., Lévêque, Y., Hannoun, S., Fornoni, L., Daligault, S., Bouchet, P., Jung, J., Tillmann, B., Caclin, A., 2017. Verbal and musical short-term memory: Variety of auditory disorders after stroke. Brain and Cognition 113, 10–22. https://doi.org/10.1016/j.bandc.2017.01.003

Ho, Y.-C., Cheung, M.-C., Chan, A.S., 2003. Music training improves verbal but not visual memory: Cross-sectional and longitudinal explorations in children. Neuropsychology 17, 439–450. https://doi.org/10.1037/0894-4105.17.3.439

Holube, I., Haeder, K., Imbery, C., Weber, R., 2016. Subjective Listening Effort and Electrodermal Activity in Listening Situations with Reverberation and Noise. Trends in Hearing 20, 233121651666773. https://doi.org/10.1177/2331216516667734

Horn, J.L., 1965. A rationale and test for the number of factors in factor analysis. Psychometrika 30, 179–185. https://doi.org/10.1007/BF02289447

Hornsby, B.W.Y., 2013. The effects of hearing aid use on listening effort and mental fatigue associated with sustained speech processing demands. Ear Hear 34, 523–534. https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31828003d8

Hornsby, B.W.Y., Naylor, G., Bess, F.H., 2016. A Taxonomy of Fatigue Concepts and Their Relation to Hearing Loss. Ear Hear 37 Suppl 1, 136S–44S. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000289

Hosford-Dunn, H., Halpern, J., 2001. Clinical application of the SADL scale in private practice II: predictive validity of fitting variables. Satisfaction with Amplification in Daily Life. J Am Acad Audiol 12, 15–36.

Hosford-Dunn, H., Halpern', J., n.d. Clinical Application of the SADL Scale in Private Practice 11 : Predictive Validity of Fitting Variables 22.

House, J.W., Kutz, J.W., Chung, J., Fisher, L.M., 2010. Bone-anchored hearing aid subjective benefit for unilateral deafness. Laryngoscope 120, 601–607. https://doi.org/10.1002/lary.20802

Hu, L., Bentler, P.M., 1999. Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal 6, 1–55. https://doi.org/10.1080/10705519909540118

Hunt, S.M., McEwen, J., 1980. The development of a subjective health indicator. Sociol Health Illn 2, 231–246. https://doi.org/10.1111/1467-9566.ep11340686

Jean, É., 2017. L' analyse factorielle et son utilisation dans l'examen des phénomènes sociocomportementaux : quelques clarifications méthodologiques. Rev. organ. territ. 26, 145–149. https://doi.org/10.1522/revueot.v26i1-2.204

Kaandorp, M.W., Smits, C., Merkus, P., Festen, J.M., Goverts, S.T., 2017. Lexical-Access Ability and Cognitive Predictors of Speech Recognition in Noise in Adult Cochlear Implant Users. Trends Hear 21, 2331216517743887. https://doi.org/10.1177/2331216517743887

Kahneman, D., 1973a. Attention and effort, Prentice-Hall series in experimental psychology. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

Kahneman, D., 1973b. Attention and Effort. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.

Kaiser, H.F., 1970. A second generation little jiffy. Psychometrika 35, 401–415. https://doi.org/10.1007/BF02291817

Kathleen Pichora-Fuller, M., 2008. Use of supportive context by younger and older adult listeners: balancing bottom-up and top-down information processing. Int J Audiol 47 Suppl 2, S72-82. https://doi.org/10.1080/14992020802307404

Kießling, J., Grugel, L., Meister, H., Meis, M., 2011. Übertragung der Fragebögen SADL, ECHO und SSQ ins Deutsche und deren Evaluation. Z Audio 50, 616.

Kießling, J., Grugel, L., Meister, H., Meis, M., n.d. Übertragung der Fragebögen SADL, ECHO und SSQ ins Deutsche und deren Evaluation 11.

Killan, C.F., Baxter, P.D., Killan, E.C., 2020. Face and content validity analysis of the Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale for Parents (SSQ-P) when used in a clinical service without interviews or week-long observation periods. Int J Pediatr Otorhinolaryngol 133, 109964. https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2020.109964

Klimova, B., Valis, M., Kuca, K., 2017. Cognitive decline in normal aging and its prevention: a review on non-pharmacological lifestyle strategies. Clin Interv Aging 12, 903–910. https://doi.org/10.2147/CIA.S132963

Koelewijn, T., Zekveld, A.A., Festen, J.M., Kramer, S.E., 2012. Pupil dilation uncovers extra listening effort in the presence of a single-talker masker. Ear Hear 33, 291–300. https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e3182310019

Kollmeier, B., Kiessling, J., 2018. Functionality of hearing aids: state-of-the-art and future model-based solutions. International Journal of Audiology 57, S3–S28. https://doi.org/10.1080/14992027.2016.1256504

Koo, T.K., Li, M.Y., 2016. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. J Chiropr Med 15, 155–163. https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012

Kramer, S.E., Kapteyn, T.S., Houtgast, T., 2006a. Occupational performance: Comparing normally-hearing and hearing-impaired employees using the Amsterdam Checklist for Hearing and Work: Desempeño laboral: Comparación de empleados con audición normal o alterada usando el Listado Amsterdam para Audición y Trabajo. International Journal of Audiology 45, 503–512. https://doi.org/10.1080/14992020600754583

Kramer, S.E., Kapteyn, T.S., Houtgast, T., 2006b. Occupational performance: comparing normally-hearing and hearing-impaired employees using the Amsterdam Checklist for Hearing and Work. Int J Audiol 45, 503–512. https://doi.org/10.1080/14992020600754583

Krull, V., Humes, L.E., Kidd, G.R., 2013. Reconstructing wholes from parts: effects of modality, age, and hearing loss on word recognition. Ear Hear 34, e14-23. https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31826d0c27

Law, L.N.C., Zentner, M., 2012. Assessing Musical Abilities Objectively: Construction and Validation of the Profile of Music Perception Skills. PLOS ONE 7, e52508. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052508

Lawrence, R.J., Wiggins, I.M., Anderson, C.A., Davies-Thompson, J., Hartley, D.E.H., 2018a. Cortical correlates of speech intelligibility measured using functional near-infrared spectroscopy (fNIRS). Hear Res 370, 53–64. https://doi.org/10.1016/j.heares.2018.09.005

Lawrence, R.J., Wiggins, I.M., Anderson, C.A., Davies-Thompson, J., Hartley, D.E.H., 2018b. Cortical correlates of speech intelligibility measured using functional near-infrared spectroscopy (fNIRS). Hear. Res. 370, 53–64. https://doi.org/10.1016/j.heares.2018.09.005

Lee, K.A., Hicks, G., Nino-Murcia, G., 1991. Validity and reliability of a scale to assess fatigue. Psychiatry Research 36, 291–298. https://doi.org/10.1016/0165-1781(91)90027-M

Leek, M.R., Molis, M.R., Kubli, L.R., Tufts, J.B., 2008. Enjoyment of Music by Elderly Hearing-Impaired Listeners. J Am Acad Audiol 19, 519–526. https://doi.org/10.3766/jaaa.19.6.7

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. https://doi.org/10.1001/archneurol.2010.362

Lin, F.R., Yaffe, K., Xia, J., Xue, Q.-L., Harris, T.B., Purchase-Helzner, E., Satterfield, S., Ayonayon, H.N., Ferrucci, L., Simonsick, E.M., Group, for the H.A.S., 2013a. Hearing Loss and Cognitive Decline in Older Adults. JAMA Intern Med 173, 293–299. https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2013.1868

Lin, F.R., Yaffe, K., Xia, J., Xue, Q.-L., Harris, T.B., Purchase-Helzner, E., Satterfield, S., Ayonayon, H.N., Ferrucci, L., Simonsick, E.M., Health ABC Study Group, for the, 2013b. Hearing Loss and Cognitive Decline in Older Adults. JAMA Internal Medicine 173, 293. https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2013.1868

Lin, V.Y.W., Chung, J., Callahan, B.L., Smith, L., Gritters, N., Chen, J.M., Black, S.E., Masellis, M., 2017. Development of cognitive screening test for the severely hearing impaired: Hearing-impaired MoCA: Development of Hearing-Impaired MoCA. The Laryngoscope 127, S4–S11. https://doi.org/10.1002/lary.26590

Livingston, G., Sommerlad, A., Orgeta, V., Costafreda, S.G., Huntley, J., Ames, D., Ballard, C., Banerjee, S., Burns, A., Cohen-Mansfield, J., Cooper, C., Fox, N., Gitlin, L.N., Howard, R., Kales, H.C., Larson, E.B., Ritchie, K., Rockwood, K., Sampson, E.L., Samus, Q., Schneider, L.S., Selbæk, G., Teri, L., Mukadam, N., 2017. Dementia prevention, intervention, and care. The Lancet 390, 2673–2734. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)31363-6

Lotfi, Y., Nazeri, A.R., Asgari, A., Moosavi, A., Bakhshi, E., 2016. Iranian Version of Speech, Spatial, and Qualities of Hearing Scale: A Psychometric Study. Acta Med Iran 54, 756–764.

Lunner, T., 2003. Cognitive function in relation to hearing aid use. Int J Audiol 42 Suppl 1, S49-58. https://doi.org/10.3109/14992020309074624

Lunner, T., Alickovic, E., Graversen, C., Ng, E.H.N., Wendt, D., Keidser, G., 2020. Three New Outcome Measures That Tap Into Cognitive Processes Required for Real-Life Communication. Ear & Hearing 41, 39S-47S. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000941

Lunner, T., Rudner, M., Rönnberg, J., 2009. Cognition and hearing aids. Scandinavian Journal of Psychology 50, 395–403. https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.2009.00742.x
Madsen, S.M.K., Moore, B.C.J., 2014. Music and Hearing Aids. Trends in Hearing 18, 233121651455827. https://doi.org/10.1177/2331216514558271
Mamo, S.K., Reed, N.S., Price, C., Occhipinti, D., Pletnikova, A., Lin, F.R., Oh, E.S., 2018. Hearing Loss Treatment in Older Adults With Cognitive Impairment: A Systematic Review. J Speech Lang Hear Res 61, 2589–2603. https://doi.org/10.1044/2018_JSLHR-H-18-0077
Mas-Herrero, E., Marco-Pallares, J., Lorenzo-Seva, U., Zatorre, R.J., Rodriguez-Fornells, A., 2013. Individual Differences in Music Reward Experiences. Music Perception 31, 118–138. https://doi.org/10.1525/mp.2013.31.2.118
Mattys, S.L., Davis, M.H., Bradlow, A.R., Scott, S.K., 2012. Speech recognition in adverse conditions: A review. Language and Cognitive Processes 27, 953–978. https://doi.org/10.1080/01690965.2012.705006
McGarrigle, R., Munro, K.J., Dawes, P., Stewart, A.J., Moore, D.R., Barry, J.G., Amitay, S., 2014a. Listening effort and fatigue: What exactly are we measuring? A British Society of Audiology Cognition in Hearing Special Interest Group 'white paper.' International Journal of Audiology 53, 433–445. https://doi.org/10.3109/14992027.2014.890296
McGarrigle, R., Munro, K.J., Dawes, P., Stewart, A.J., Moore, D.R., Barry, J.G., Amitay, S., 2014b. Listening effort and fatigue: What exactly are we measuring? A British Society of Audiology Cognition in Hearing Special Interest Group 'white paper.' International Journal of Audiology 53, 433–445. https://doi.org/10.3109/14992027.2014.890296
McNemar, Q., 1947. Note on the sampling error of the difference between correlated proportions or percentages. Psychometrika 12, 153–157. https://doi.org/10.1007/BF02295996
Megha, null, Maruthy, S., 2019. Consequences of hearing aid acclimatization on ALLRs and its relationship with perceived benefit and speech perception abilities. Eur Arch Otorhinolaryngol 276, 1001–1010. https://doi.org/10.1007/s00405-019-05303-0
Mémoire de travail, 2021. . Wikipédia.
Michielsen, H.J., De Vries, J., Heck, G.L., Van de Vijver, F., Sijtsma, K., 2004. Examination of the Dimensionality of Fatigue: The Construction of the Fatigue Assessment Scale (FAS). European Journal of Psychological Assessment 20, 39. https://doi.org/10.1027//1015-5759.20.1.39
Midy, F., 1996. Validité et fiabilité des questionnaires d'évaluation de la qualité de vie: une étude appliquée aux accidents vasculaires cérébraux 44.
Miles, K., McMahon, C., Boisvert, I., Ibrahim, R., de Lissa, P., Graham, P., Lyxell, B., 2017. Objective Assessment of Listening Effort: Coregistration of Pupillometry and EEG. Trends in Hearing 21, 233121651770639. https://doi.org/10.1177/2331216517706396
Milner, B., 1971. Interhemispheric differences in the localization of psychological processes in man. Br Med Bull 27, 272–277. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.bmb.a070866
Moreno-Morales, C., Calero, R., Moreno-Morales, P., Pintado, C., 2020. Music Therapy in the Treatment of Dementia: A Systematic Review and Meta-Analysis. Front Med (Lausanne) 7, 160. https://doi.org/10.3389/fmed.2020.00160
Moret, L., Chwalow, J., Baudoin-Balleur, C., 1993. [Evaluation of quality of life: construction of a scale]. Rev Epidemiol Sante Publique 41, 65–71.
Moulin, A., Bernard, A., Tordella, L., Vergne, J., Gisbert, A., Martin, C., Richard, C., 2017. Variability of word discrimination scores in clinical practice and consequences on their sensitivity to hearing loss. European Archives of Oto-Rhino-Laryngology 274, 2117–2124. https://doi.org/10.1007/s00405-016-4439-x
Moulin, A., Pauzie, A., Richard, C., 2015a. Validation of a French translation of the speech, spatial, and qualities of hearing scale (SSQ) and comparison with other language versions. International Journal of Audiology 54, 889–898. https://doi.org/10.3109/14992027.2015.1054040
Moulin, A., Pauzie, A., Richard, C., 2015b. Validation of a French translation of the speech, spatial, and qualities of hearing scale (SSQ) and comparison with other language versions.

International Journal of Audiology 54, 889–898. https://doi.org/10.3109/14992027.2015.1054040
Moulin, A., Richard, C., 2016a. Validation of a French-Language Version of the Spatial Hearing Questionnaire, Cluster Analysis and Comparison with the Speech, Spatial, and Qualities of Hearing Scale: Ear and Hearing 37, 412–423. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000269
Moulin, A., Richard, C., 2016b. Validation of a French-Language Version of the Spatial Hearing Questionnaire, Cluster Analysis and Comparison with the Speech, Spatial, and Qualities of Hearing Scale. Ear Hear 37, 412–423. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000269
Moulin, A., Richard, C., 2016c. Sources of variability of speech, spatial, and qualities of hearing scale (SSQ) scores in normal-hearing and hearing-impaired populations. International Journal of Audiology 55, 101–109. https://doi.org/10.3109/14992027.2015.1104734
Moulin, A., Richard, C., 2015. Lexical Influences on Spoken Spondaic Word Recognition in Hearing-Impaired Patients. Frontiers in Neuroscience 9, 476. https://doi.org/10.3389/fnins.2015.00476
Moulin, A., Robert, A., Richard, C., 2013. Listes de mots utilisées en audiométrie vocale en France : caractéristiques linguistiques au regard du français parlé en 2013. Annales françaises d'Oto-rhino-laryngologie et de Pathologie Cervico-faciale 130, A130–A131. https://doi.org/10.1016/j.aforl.2013.06.416
Moulin, A., Vergne, J., Gallego, S., Micheyl, C., 2019a. A New Speech, Spatial, and Qualities of Hearing Scale Short-Form: Factor, Cluster, and Comparative Analyses 13.
Moulin, A., Vergne, J., Gallego, S., Micheyl, C., 2019b. A New Speech, Spatial, and Qualities of Hearing Scale Short-Form: Factor, Cluster, and Comparative Analyses. Ear Hear 40, 938–950. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000675
Müllensiefen, D., Gingras, B., Musil, J., Stewart, L., 2014. The Musicality of Non-Musicians: An Index for Assessing Musical Sophistication in the General Population. PLOS ONE 9, e89642. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089642
Munro, K.J., Lutman, M.E., 2003. The effect of speech presentation level on measurement of auditory acclimatization to amplified speech. The Journal of the Acoustical Society of America 114, 484–495. https://doi.org/10.1121/1.1577556
Nachtegaal, J., Smit, J.H., Smits, C., Bezemer, P.D., van Beek, J.H.M., Festen, J.M., Kramer, S.E., 2009. The Association Between Hearing Status and Psychosocial Health Before the Age of 70 Years: Results From an Internet-Based National Survey on Hearing: Ear and Hearing 30, 302–312. https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31819c6e01
Nasreddine, Z.S., Phillips, N.A., Bédirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., Cummings, J.L., Chertkow, H., 2005. The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment. Journal of the American Geriatrics Society 53, 695–699.
Nasreddine, Ziad S., Phillips, N.A., Bédirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., Cummings, J.L., Chertkow, H., 2005. The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment. J Am Geriatr Soc 53, 695–699. https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53221.x
Naylor, G., Koelewijn, T., Zekveld, A.A., Kramer, S.E., 2018. The Application of Pupillometry in Hearing Science to Assess Listening Effort. Trends Hear 22, 2331216518799437. https://doi.org/10.1177/2331216518799437
Nelson, L.H., White, K.R., Baker, D.V., Hayden, A., Bird, S., 2017. The effectiveness of commercial desiccants and uncooked rice in removing moisture from hearing aids. Int J Audiol 56, 226–232. https://doi.org/10.1080/14992027.2016.1253877
Nguyen, M.-F., Bonnefoy, M., Adrait, A., Gueugnon, M., Petitot, C., Collet, L., Roux, A., Perrot, X., ADPHA study group, 2017. Efficacy of Hearing Aids on the Cognitive Status of Patients with Alzheimer's Disease and Hearing Loss: A Multicenter Controlled Randomized Trial. J. Alzheimers Dis. 58, 123–137. https://doi.org/10.3233/JAD-160793

Noble, W., Gatehouse, S., 2006. Effects of bilateral versus unilateral hearing aid fitting on abilities measured by the Speech, Spatial, and Qualities of Hearing Scale (SSQ). Int J Audiol 45, 172–181. https://doi.org/10.1080/14992020500376933

Noble, W., Jensen, N.S., Naylor, G., Bhullar, N., Akeroyd, M.A., 2013a. A short form of the Speech, Spatial and Qualities of Hearing scale suitable for clinical use: The SSQ12. International Journal of Audiology 52, 409–412. https://doi.org/10.3109/14992027.2013.781278

Noble, W., Jensen, N.S., Naylor, G., Bhullar, N., Akeroyd, M.A., 2013b. A short form of the Speech, Spatial and Qualities of Hearing scale suitable for clinical use: The SSQ12. International Journal of Audiology 52, 409–412. https://doi.org/10.3109/14992027.2013.781278

Noble, W., Tyler, R., Dunn, C., Bhullar, N., 2008. Unilateral and bilateral cochlear implants and the implant-plus-hearing-aid profile: comparing self-assessed and measured abilities. Int J Audiol 47, 505–514. https://doi.org/10.1080/14992020802070770

Nunnally, J.C., 1978. Psychometric theory. McGraw-Hill, New York.

Oates, P.A., Kurtzberg, D., Stapells, D.R., 2002. Effects of Sensorineural Hearing Loss on Cortical Event-Related Potential and Behavioral Measures of Speech-Sound Processing: Ear and Hearing 23, 399–415. https://doi.org/10.1097/00003446-200210000-00002

Ohlenforst, B., Zekveld, A.A., Jansma, E.P., Wang, Y., Naylor, G., Lorens, A., Lunner, T., Kramer, S.E., 2017. Effects of Hearing Impairment and Hearing Aid Amplification on Listening Effort: A Systematic Review 38, 15.

ouvrepo, 2011. Analyse en Composantes Principales : La détermination du nombre d'axes factoriels à retenir via l'analyse parallèle de Horn [WWW Document]. ouvr-e-po. URL http://ouvrepot.over-blog.com/article-analyse-en-composantes-principales-determination-du-nombre-d-axes-factoriels-a-retenir-apres-une-a-79910567.html (accessed 9.13.21).

Palmer, C.V., Adams, S.W., Bourgeois, M., Durrant, J., Rossi, M., 1999. Reduction in Caregiver-Identified Problem Behaviors in Patients With Alzheimer Disease Post-Hearing-Aid Fitting. J Speech Lang Hear Res 42, 312–328. https://doi.org/10.1044/jslhr.4202.312

Parbery-Clark, A., Skoe, E., Lam, C., Kraus, N., 2009. Musician Enhancement for Speech-In-Noise. Ear & Hearing 30, 653–661. https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e3181b412e9

Peelle, J.E., Wingfield, A., 2016. The Neural Consequences of Age-Related Hearing Loss. Trends in Neurosciences 39, 486–497. https://doi.org/10.1016/j.tins.2016.05.001

Pennini, P.T.M., Almeida, K. de, 2021. Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale in assessing the benefit in hearing aid users. Codas 33, e20190196. https://doi.org/10.1590/2317-1782/20202019196

Pichora-Fuller, M.K., Kramer, S.E., Eckert, M.A., Edwards, B., Hornsby, B.W.Y., Humes, L.E., Lemke, U., Lunner, T., Matthen, M., Mackersie, C.L., Naylor, G., Phillips, N.A., Richter, M., Rudner, M., Sommers, M.S., Tremblay, K.L., Wingfield, A., 2016a. Hearing Impairment and Cognitive Energy: The Framework for Understanding Effortful Listening (FUEL) 37, 23.

Pichora-Fuller, M.K., Kramer, S.E., Eckert, M.A., Edwards, B., Hornsby, B.W.Y., Humes, L.E., Lemke, U., Lunner, T., Matthen, M., Mackersie, C.L., Naylor, G., Phillips, N.A., Richter, M., Rudner, M., Sommers, M.S., Tremblay, K.L., Wingfield, A., 2016b. Hearing Impairment and Cognitive Energy: The Framework for Understanding Effortful Listening (FUEL) 37, 23.

Piquado, T., Isaacowitz, D., Wingfield, A., 2010. Pupillometry as a measure of cognitive effort in younger and older adults. Psychophysiology 47, 560–569. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00947.x

Pralus, A., Hermann, R., Cholvy, F., Aguera, P.-E., Moulin, A., Barone, P., Grimault, N., Truy, E., Tillmann, B., Caclin, A., 2021. Rapid Assessment of Non-Verbal Auditory Perception in Normal-Hearing Participants and Cochlear Implant Users. JCM 10, 2093. https://doi.org/10.3390/jcm10102093

Preacher, K.J., MacCallum, R.C., 2003. Repairing Tom Swift's Electric Factor Analysis Machine. Understanding Statistics 2, 13–43. https://doi.org/10.1207/S15328031US0201_02

Putnam, S.P., Rothbart, M.K., 2006. Development of short and very short forms of the Children's Behavior Questionnaire. J Pers Assess 87, 102–112. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa8701_09

Raven, J.C., 1965. Guide to using the Mill Hill vocabulary scale with the progressive matrices scale. H.K. Lewis, London.

Reitan, R.M., 1958. Validity of the Trail Making Test as an Indicator of Organic Brain Damage. Percept Mot Skills 8, 271–276. https://doi.org/10.2466/pms.1958.8.3.271

Revelle, William, 1979. Hierarchical Cluster Analysis And The Internal Structure Of Tests. Multivariate Behavioral Research 14, 57–74. https://doi.org/10.1207/s15327906mbr1401_4

Revelle, W., 1979. Hierarchical Cluster Analysis And The Internal Structure Of Tests. Multivariate Behav Res 14, 57–74. https://doi.org/10.1207/s15327906mbr1401_4

Revelle, W., 1978. ICLUST: A cluster analytic approach to exploratory and confirmatory scale construction. Behavior Research Methods & Instrumentation 10, 739–742. https://doi.org/10.3758/BF03205389

Richardson, J.T.E., 2007. Measures of Short-Term Memory: A Historical Review. Cortex 43, 635–650. https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70493-3

Rönnberg, J., Lunner, T., Zekveld, A., Sörqvist, P., Danielsson, H., Lyxell, B., Dahlström, Ö., Signoret, C., Stenfelt, S., Pichora-Fuller, M.K., Rudner, M., 2013a. The Ease of Language Understanding (ELU) model: theoretical, empirical, and clinical advances. Frontiers in Systems Neuroscience 7. https://doi.org/10.3389/fnsys.2013.00031

Rönnberg, J., Lunner, T., Zekveld, A., Sörqvist, P., Danielsson, H., Lyxell, B., Dahlström, Ö., Signoret, C., Stenfelt, S., Pichora-Fuller, M.K., Rudner, M., 2013b. The Ease of Language Understanding (ELU) model: theoretical, empirical, and clinical advances. Front. Syst. Neurosci. 7. https://doi.org/10.3389/fnsys.2013.00031

Rönnberg, J., Rudner, M., Foo, C., Lunner, T., 2008. Cognition counts: A working memory system for ease of language understanding (ELU). International Journal of Audiology 47, S99–S105. https://doi.org/10.1080/14992020802301167

Roque dos Reis, L., Donato, M., Sousa, R., Escada, P.A., 2017. Tradução, Adaptação Cultural e Validação da Escala Satisfaction with Amplification in Daily Life para o Português de Portugal. Acta Médica Portuguesa 30, 115. https://doi.org/10.20344/amp.7794

Rosemann, S., Thiel, C.M., 2019. The effect of age-related hearing loss and listening effort on resting state connectivity. Sci Rep 9, 2337. https://doi.org/10.1038/s41598-019-38816-z

Rosenzweig, M.R., Postman, L., 1958. Frequency of usage and the perception of words. Science 127, 263–266. https://doi.org/10.1126/science.127.3293.263

Rovetti, J., Goy, H., Pichora-Fuller, M.K., Russo, F.A., 2019a. Functional Near-Infrared Spectroscopy as a Measure of Listening Effort in Older Adults Who Use Hearing Aids. Trends in Hearing 23, 233121651988672. https://doi.org/10.1177/2331216519886722

Rovetti, J., Goy, H., Pichora-Fuller, M.K., Russo, F.A., 2019b. Functional Near-Infrared Spectroscopy as a Measure of Listening Effort in Older Adults Who Use Hearing Aids. Trends in Hearing 23, 2331216519886722. https://doi.org/10.1177/2331216519886722

Rudner, M., Foo, C., Sundewall-Thorén, E., Lunner, T., Rönnberg, J., 2008. Phonological mismatch and explicit cognitive processing in a sample of 102 hearing-aid users. Int J Audiol 47 Suppl 2, S91-98. https://doi.org/10.1080/14992020802304393

Rudner, M., Lunner, T., Behrens, T., Thorén, E.S., Rönnberg, J., 2012. Working memory capacity may influence perceived effort during aided speech recognition in noise. J Am Acad Audiol 23, 577–589. https://doi.org/10.3766/jaaa.23.7.7

Ruf, S., Egger, C., 2018. EuroTrak France 2018 [WWW Document]. www.ehmina.com. URL https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:qSqfPpc6qpcJ:https://www.ehima.com/wp-content/uploads/2018/07/EuroTrak_2018_FRANCE.pdf+&cd=1&hl=fr&ct=clnk&gl=fr&client=firefox-b-d (accessed 6.13.19).

Ruggles, D.R., Freyman, R.L., Oxenham, A.J., 2014. Influence of Musical Training on Understanding Voiced and Whispered Speech in Noise. PLOS ONE 9, e86980. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0086980
Saarikallio, S.H., 2008. Music in Mood Regulation: Initial Scale Development. Musicae Scientiae 12, 291–309. https://doi.org/10.1177/102986490801200206
Saija, J.D., Akyürek, E.G., Andringa, T.C., Başkent, D., 2014. Perceptual restoration of degraded speech is preserved with advancing age. J Assoc Res Otolaryngol 15, 139–148. https://doi.org/10.1007/s10162-013-0422-z
Savin, H.B., 1963. Word-Frequency Effect and Errors in the Perception of Speech. The Journal of the Acoustical Society of America 35, 200–206. https://doi.org/10.1121/1.1918432
Schlauch, R.S., Anderson, E.S., Micheyl, C., 2014. A demonstration of improved precision of word recognition scores. J Speech Lang Hear Res 57, 543–555. https://doi.org/10.1044/2014_JSLHR-H-13-0017
Schrepp, M., 2020. On the Usage of Cronbach's Alpha to Measure Reliability of UX Scales 15, 12.
Scree plot, 2020. . Wikipedia.
Seashore, C.E., 1919. The psychology of musical talent.
Shapiro, S.S., Wilk, M.B., 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika 52, 591–611. https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591
Sheldon, S., Pichora-Fuller, M.K., Schneider, B.A., 2008. Priming and sentence context support listening to noise-vocoded speech by younger and older adults. The Journal of the Acoustical Society of America 123, 489–499. https://doi.org/10.1121/1.2783762
Shinn-Cunningham, B.G., Best, V., 2008. Selective attention in normal and impaired hearing. Trends Amplif 12, 283–299. https://doi.org/10.1177/1084713808325306
Singh, G., Kathleen Pichora-Fuller, M., 2010. Older adults' performance on the speech, spatial, and qualities of hearing scale (SSQ): Test-retest reliability and a comparison of interview and self-administration methods. International Journal of Audiology 49, 733–740. https://doi.org/10.3109/14992027.2010.491097
Smeds, K., Gotowiec, S., Wolters, F., Herrlin, P., Larsson, J., Dahlquist, M., 2020. Selecting Scenarios for Hearing-Related Laboratory Testing. Ear & Hearing 41, 20S-30S. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000930
Smith, S., Pichora-Fuller, M.K., 2015. Associations between speech understanding and auditory and visual tests of verbal working memory: effects of linguistic complexity, task, age, and hearing loss. Frontiers in Psychology 6, 1394. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01394
Smith, S.L., Pichora-Fuller, K.M., Watts, K.L., La More, C., 2011. Development of the Listening Self-Efficacy Questionnaire (LSEQ). Int J Audiol 50, 417–425. https://doi.org/10.3109/14992027.2011.553205
Smith, S.L., Pichora-Fuller, M.K., Alexander, G., 2016a. Development of the Word Auditory Recognition and Recall Measure: A Working Memory Test for Use in Rehabilitative Audiology 37, 17.
Smith, S.L., Pichora-Fuller, M.K., Alexander, G., 2016b. Development of the Word Auditory Recognition and Recall Measure: A Working Memory Test for Use in Rehabilitative Audiology 37, 17.
Sommers, M.S., Phelps, D., 2016. Listening Effort in Younger and Older Adults: A Comparison of Auditory-Only and Auditory-Visual Presentations. Ear Hear 37 Suppl 1, 62S–8S. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000322
Souza, P., Arehart, K., 2015. Robust relationship between reading span and speech recognition in noise. Int J Audiol 54, 705–713. https://doi.org/10.3109/14992027.2015.1043062
Souza, P., Arehart, K., Neher, T., 2015. Working Memory and Hearing Aid Processing: Literature Findings, Future Directions, and Clinical Applications. Frontiers in Psychology 6. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01894

Souza, P.E., Sirow, L., 2014. Relating Working Memory to Compression Parameters in Clinically Fit Hearing Aids. American Journal of Audiology 23, 394–401. https://doi.org/10.1044/2014_AJA-14-0006

Stanton, J.M., Sinar, E.F., Balzer, W.K., Smith, P.C., 2002. Issues and strategies for reducing the length of self report scales. Personnel Psychology 55, 167–194. https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.2002.tb00108.x

Steiger, J.H., 1980. Tests for comparing elements of a correlation matrix. Psychological Bulletin 87, 245–251.

Stenbäck, V., Marsja, E., Hällgren, M., Lyxell, B., Larsby, B., 2021. The Contribution of Age, Working Memory Capacity, and Inhibitory Control on Speech Recognition in Noise in Young and Older Adult Listeners. J Speech Lang Hear Res 1–11. https://doi.org/10.1044/2021_JSLHR-20-00251

Stenfelt, S., Rönnberg, J., 2009. The Signal-Cognition interface: Interactions between degraded auditory signals and cognitive processes. Scandinavian Journal of Psychology 50, 385–393. https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.2009.00748.x

Strand, J.F., Brown, V.A., Merchant, M.B., Brown, H.E., Smith, J., 2018. Measuring Listening Effort: Convergent Validity, Sensitivity, and Links With Cognitive and Personality Measures. J Speech Lang Hear Res 61, 1463–1486. https://doi.org/10.1044/2018_JSLHR-H-17-0257

Strand, J.F., Ray, L., Dillman-Hasso, N.H., Villanueva, J., Brown, V.A., 2020. Understanding Speech Amid the Jingle and Jangle: Recommendations for Improving Measurement Practices in Listening Effort Research. Audit Percept Cogn 3, 169–188. https://doi.org/10.1080/25742442.2021.1903293

Stratford, P.W., Riddle, D.L., 2005. Assessing sensitivity to change: choosing the appropriate change coefficient. Health Qual Life Outcomes 3, 23. https://doi.org/10.1186/1477-7525-3-23

Sung, Y.-K., Li, L., Blake, C., Betz, J., Lin, F.R., 2016. Association of Hearing Loss and Loneliness in Older Adults. J Aging Health 28, 979–994. https://doi.org/10.1177/0898264315614570

Swaminathan, J., Mason, C.R., Streeter, T.M., Kidd, G., Patel, A.D., 2014. Spatial release from masking in musicians and non-musicians. The Journal of the Acoustical Society of America 135, 2281–2282. https://doi.org/10.1121/1.4877482

Timmer, B.H.B., Hickson, L., Launer, S., 2018a. Do Hearing Aids Address Real-World Hearing Difficulties for Adults With Mild Hearing Impairment? Results From a Pilot Study Using Ecological Momentary Assessment. Trends in Hearing 22, 233121651878360. https://doi.org/10.1177/2331216518783608

Timmer, B.H.B., Hickson, L., Launer, S., 2018b. Do Hearing Aids Address Real-World Hearing Difficulties for Adults With Mild Hearing Impairment? Results From a Pilot Study Using Ecological Momentary Assessment. Trends Hear 22, 2331216518783608. https://doi.org/10.1177/2331216518783608

Titchener, E.B., 1908. Lectures on the elementary psychology of feeling and attention. MacMillan Co, New York. https://doi.org/10.1037/10867-000

Tomioka, K., Okamoto, N., Morikawa, M., Kurumatani, N., 2015. Self-Reported Hearing Loss Predicts 5-Year Decline in Higher-Level Functional Capacity in High-Functioning Elderly Adults: The Fujiwara-Kyo Study. Journal of the American Geriatrics Society 63, 2260–2268. https://doi.org/10.1111/jgs.13780

Tufatulin, G.S., Artyushkin, S.A., 2016. [Validation of the Russian language version of the SSQ questionnaire]. Vestn Otorinolaringol 81, 17–22. https://doi.org/10.17116/otorino201681217-22

Tun, P.A., McCoy, S., Wingfield, A., 2009. Aging, hearing acuity, and the attentional costs of effortful listening. Psychology and Aging 24, 761–766. https://doi.org/10.1037/a0014802

Tyler, R.S., Perreau, A.E., Ji, H., 2009. Validation of the Spatial Hearing Questionnaire: Ear and Hearing 30, 466–475. https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e3181a61efe

Uchida, Y., Sugiura, S., Nishita, Y., Saji, N., Sone, M., Ueda, H., 2019. Age-related hearing loss and cognitive decline — The potential mechanisms linking the two. Auris Nasus Larynx 46, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.anl.2018.08.010

Uhlmann, R.F., Larson, E.B., Rees, T.S., Koepsell, T.D., Duckert, L.G., 1989. Relationship of Hearing Impairment to Dementia and Cognitive Dysfunction in Older Adults. JAMA 261, 1916–1919. https://doi.org/10.1001/jama.1989.03420130084028

Uriarte, M., Denzin, L., Dunstan, A., Sellars, J., Hickson, L., 2005. Measuring Hearing Aid Outcomes Using the Satisfaction with Amplification in Daily Life (SADL) Questionnaire: Australian Data. Journal of the American Academy of Audiology 16, 383–402. https://doi.org/10.3766/jaaa.16.6.6

van Hooren, S. a. H., Anteunis, L.J.C., Valentijn, S. a. M., Bosma, H., Ponds, R.W.H.M., Jolles, J., van Boxtel, M.P.J., 2005. Does cognitive function in older adults with hearing impairment improve by hearing aid use? Int J Audiol 44, 265–271.

Vanstone, A.D., Wolf, M., Poon, T., Cuddy, L.L., 2016. Measuring engagement with music: development of an informant-report questionnaire. Aging Ment Health 20, 474–484. https://doi.org/10.1080/13607863.2015.1021750

Ventry, I.M., Weinstein, B.E., 1982. The Hearing Handicap Inventory for the Elderly: a New Tool. Ear and Hearing 3, 128–134.

Ventura-León, J., Peña-Calero, B.N., 2020. The world should not revolve around Cronbach's alpha ≥ .70. Adicciones 0. https://doi.org/10.20882/adicciones.1576

Verhaeghen, P., 2003. Aging and vocabulary score: A meta-analysis. Psychology and Aging 18, 332–339. https://doi.org/10.1037/0882-7974.18.2.332

Viergever, K., Kraak, J.T., Bruinewoud, Els.M., Ket, J.C.F., Kramer, S.E., Merkus, P., 2021a. Questionnaires in otology: a systematic mapping review. Syst Rev 10, 119. https://doi.org/10.1186/s13643-021-01659-9

Viergever, K., Kraak, J.T., Bruinewoud, E.M., Ket, J.C.F., Kramer, S.E., Merkus, P., 2021b. Questionnaires in otology: a systematic mapping review. Syst Rev 10, 119. https://doi.org/10.1186/s13643-021-01659-9

Vignaux, G., 2011. L'Aventure du corps. Pygmalion.

von Gablenz, P., Otto-Sobotka, F., Holube, I., 2018. Adjusting Expectations: Hearing Abilities in a Population-Based Sample Using an SSQ Short Form. Trends in Hearing 22, 2331216518784837. https://doi.org/10.1177/2331216518784837

Vos, T., Abajobir, A.A., Abate, K.H., Abbafati, C., Abbas, K.M., Abd-Allah, F., Abdulkader, R.S., Abdulle, A.M., Abebo, T.A., Abera, S.F., Aboyans, V., Abu-Raddad, L.J., Ackerman, I.N., Adamu, A.A., Adetokunboh, O., Afarideh, M., Afshin, A., Agarwal, S.K., Aggarwal, R., Agrawal, A., Agrawal, S., Ahmadieh, H., Ahmed, M.B., Aichour, M.T.E., Aichour, A.N., Aichour, I., Aiyar, S., Akinyemi, R.O., Akseer, N., Al Lami, F.H., Alahdab, F., Al-Aly, Z., Alam, K., Alam, N., Alam, T., Alasfoor, D., Alene, K.A., Ali, R., Alizadeh-Navaei, R., Alkerwi, A., Alla, F., Allebeck, P., Allen, C., Al-Maskari, F., Al-Raddadi, R., Alsharif, U., Alsowaidi, S., Altirkawi, K.A., Amare, A.T., Amini, E., Ammar, W., Amoako, Y.A., Andersen, H.H., Antonio, C.A.T., Anwari, P., Ärnlöv, J., Artaman, A., Aryal, K.K., Asayesh, H., Asgedom, S.W., Assadi, R., Atey, T.M., Atnafu, N.T., Atre, S.R., Avila-Burgos, L., Avokphako, E.F.G.A., Awasthi, A., Bacha, U., Badawi, A., Balakrishnan, K., Banerjee, A., Bannick, M.S., Barac, A., Barber, R.M., Barker-Collo, S.L., Bärnighausen, T., Barquera, S., Barregard, L., Barrero, L.H., Basu, S., Battista, B., Battle, K.E., Baune, B.T., Bazargan-Hejazi, S., Beardsley, J., Bedi, N., Beghi, E., Béjot, Y., Bekele, B.B., Bell, M.L., Bennett, D.A., Bensenor, I.M., Benson, J., Berhane, A., Berhe, D.F., Bernabé, E., Betsu, B.D., Beuran, M., Beyene, A.S., Bhala, N., Bhansali, A., Bhatt, S., Bhutta, Z.A., Biadgilign, S., Bicer, B.K., Bienhoff, K., Bikbov, B., Birungi, C., Biryukov, S., Bisanzio, D., Bizuayehu, H.M., Boneya, D.J., Boufous, S., Bourne, R.R.A., Brazinova, A., Brugha, T.S., Buchbinder, R., Bulto, L.N.B., Bumgarner, B.R., Butt, Z.A., Cahuana-Hurtado, L., Cameron, E., Car, M., Carabin, H., Carapetis, J.R., Cárdenas, R., Carpenter, D.O., Carrero, J.J., Carter, A., Carvalho, F., Casey, D.C., Caso, V., Castañeda-Orjuela, C.A., Castle, C.D., Catalá-López, F., Chang, H.-Y., Chang, J.-C., Charlson, F.J., Chen, H., Chibalabala, M., Chibueze, C.E., Chisumpa, V.H., Chitheer, A.A., Christopher, D.J., Ciobanu, L.G., Cirillo, M., Colombara, D., Cooper, C., Cortesi, P.A., Criqui, M.H., Crump, J.A., Dadi, A.F., Dalal, K., Dandona, L., Dandona, R., das Neves, J., Davitoiu, D.V., de Courten, B., De Leo, D.D.,

Defo, B.K., Degenhardt, L., Deiparine, S., Dellavalle, R.P., Deribe, K., Des Jarlais, D.C., Dey, S., Dharmaratne, S.D., Dhillon, P.K., Dicker, D., Ding, E.L., Djalalinia, S., Do, H.P., Dorsey, E.R., dos Santos, K.P.B., Douwes-Schultz, D., Doyle, K.E., Driscoll, T.R., Dubey, M., Duncan, B.B., El-Khatib, Z.Z., Ellerstrand, J., Enayati, A., Endries, A.Y., Ermakov, S.P., Erskine, H.E., Eshrati, B., Eskandarieh, S., Esteghamati, A., Estep, K., Fanuel, F.B.B., Farinha, C.S.E.S., Faro, A., Farzadfar, F., Fazeli, M.S., Feigin, V.L., Fereshtehnejad, S.-M., Fernandes, J.C., Ferrari, A.J., Feyissa, T.R., Filip, I., Fischer, F., Fitzmaurice, C., Flaxman, A.D., Flor, L.S., Foigt, N., Foreman, K.J., Franklin, R.C., Fullman, N., Fürst, T., Furtado, J.M., Futran, N.D., Gakidou, E., Ganji, M., Garcia-Basteiro, A.L., Gebre, T., Gebrehiwot, T.T., Geleto, A., Gemechu, B.L., Gesesew, H.A., Gething, P.W., Ghajar, A., Gibney, K.B., Gill, P.S., Gillum, R.F., Ginawi, I.A.M., Giref, A.Z., Gishu, M.D., Giussani, G., Godwin, W.W., Gold, A.L., Goldberg, E.M., Gona, P.N., Goodridge, A., Gopalani, S.V., Goto, A., Goulart, A.C., Griswold, M., Gugnani, H.C., Gupta, Rahul, Gupta, Rajeev, Gupta, T., Gupta, V., Hafezi-Nejad, N., Hailu, G.B., Hailu, A.D., Hamadeh, R.R., Hamidi, S., Handal, A.J., Hankey, G.J., Hanson, S.W., Hao, Y., Harb, H.L., Hareri, H.A., Haro, J.M., Harvey, J., Hassanvand, M.S., Havmoeller, R., Hawley, C., Hay, S.I., Hay, R.J., Henry, N.J., Heredia-Pi, I.B., Hernandez, J.M., Heydarpour, P., Hoek, H.W., Hoffman, H.J., Horita, N., Hosgood, H.D., Hostiuc, S., Hotez, P.J., Hoy, D.G., Htet, A.S., Hu, G., Huang, H., Huynh, C., Iburg, K.M., Igumbor, E.U., Ikeda, C., Irvine, C.M.S., Jacobsen, K.H., Jahanmehr, N., Jakovljevic, M.B., Jassal, S.K., Javanbakht, M., Jayaraman, S.P., Jeemon, P., Jensen, P.N., Jha, V., Jiang, G., John, D., Johnson, S.C., Johnson, C.O., Jonas, J.B., Jürisson, M., Kabir, Z., Kadel, R., Kahsay, A., Kamal, R., Kan, H., Karam, N.E., Karch, A., Karema, C.K., Kasaeian, A., Kassa, G.M., Kassaw, N.A., Kassebaum, N.J., Kastor, A., Katikireddi, S.V., Kaul, A., Kawakami, N., Keiyoro, P.N., Kengne, A.P., Keren, A., Khader, Y.S., Khalil, I.A., Khan, E.A., Khang, Y.-H., Khosravi, A., Khubchandani, J., Kiadaliri, A.A., Kieling, C., Kim, Y.J., Kim, D., Kim, P., Kimokoti, R.W., Kinfu, Y., Kisa, A., Kissimova-Skarbek, K.A., Kivimaki, M., Knudsen, A.K., Kokubo, Y., Kolte, D., Kopec, J.A., Kosen, S., Koul, P.A., Koyanagi, A., Kravchenko, M., Krishnaswami, S., Krohn, K.J., Kumar, G.A., Kumar, P., Kumar, S., Kyu, H.H., Lal, D.K., Lalloo, R., Lambert, N., Lan, Q., Larsson, A., Lavados, P.M., Leasher, J.L., Lee, P.H., Lee, J.-T., Leigh, J., Leshargie, C.T., Leung, J., Leung, R., Levi, M., Li, Yichong, Li, Yongmei, Li Kappe, D., Liang, X., Liben, M.L., Lim, S.S., Linn, S., Liu, P.Y., Liu, A., Liu, S., Liu, Y., Lodha, R., Logroscino, G., London, S.J., Looker, K.J., Lopez, A.D., Lorkowski, S., Lotufo, P.A., Low, N., Lozano, R., Lucas, T.C.D., Macarayan, E.R.K., Magdy Abd El Razek, H., Magdy Abd El Razek, M., Mahdavi, M., Majdan, M., Majdzadeh, R., Majeed, A., Malekzadeh, R., Malhotra, R., Malta, D.C., Mamun, A.A., Manguerra, H., Manhertz, T., Mantilla, A., Mantovani, L.G., Mapoma, C.C., Marczak, L.B., Martinez-Raga, J., Martins-Melo, F.R., Martopullo, I., März, W., Mathur, M.R., Mazidi, M., McAlinden, C., McGaughey, M., McGrath, J.J., McKee, M., McNellan, C., Mehata, S., Mehndiratta, M.M., Mekonnen, T.C., Memiah, P., Memish, Z.A., Mendoza, W., Mengistie, M.A., Mengistu, D.T., Mensah, G.A., Meretoja, T.J., Meretoja, A., Mezgebe, H.B., Micha, R., Millear, A., Miller, T.R., Mills, E.J., Mirarefin, M., Mirrakhimov, E.M., Misganaw, A., Mishra, S.R., Mitchell, P.B., Mohammad, K.A., Mohammadi, A., Mohammed, K.E., Mohammed, S., Mohanty, S.K., Mokdad, A.H., Mollenkopf, S.K., Monasta, L., Montico, M., Moradi-Lakeh, M., Moraga, P., Mori, R., Morozoff, C., Morrison, S.D., Moses, M., Mountjoy-Venning, C., Mruts, K.B., Mueller, U.O., Muller, K., Murdoch, M.E., Murthy, G.V.S., Musa, K.I., Nachega, J.B., Nagel, G., Naghavi, M., Naheed, A., Naidoo, K.S., Naldi, L., Nangia, V., Natarajan, G., Negasa, D.E., Negoi, R.I., Negoi, I., Newton, C.R., Ngunjiri, J.W., Nguyen, T.H., Nguyen, Q.L., Nguyen, C.T., Nguyen, G., Nguyen, M., Nichols, E., Ningrum, D.N.A., Nolte, S., Nong, V.M., Norrving, B., Noubiap, J.J.N., O'Donnell, M.J., Ogbo, F.A., Oh, I.-H., Okoro, A., Oladimeji, O., Olagunju, T.O., Olagunju, A.T., Olsen, H.E., Olusanya, B.O., Olusanya, J.O., Ong, K., Opio, J.N., Oren, E., Ortiz, A., Osgood-Zimmerman, A., Osman, M., Owolabi, M.O., Pa, M., Pacella, R.E., Pana, A., Panda, B.K., Papachristou, C., Park, E.-K., Parry, C.D., Parsaeian, M., Patten, S.B., Patton, G.C., Paulson, K., Pearce, N., Pereira, D.M., Perico, N., Pesudovs, K., Peterson, C.B., Petzold, M., Phillips, M.R., Pigott, D.M., Pillay, J.D., Pinho, C., Plass, D., Pletcher, M.A., Popova, S., Poulton,

R.G., Pourmalek, F., Prabhakaran, D., Prasad, N.M., Prasad, N., Purcell, C., Qorbani, M., Quansah, R., Quintanilla, B.P.A., Rabiee, R.H.S., Radfar, A., Rafay, A., Rahimi, K., Rahimi-Movaghar, A., Rahimi-Movaghar, V., Rahman, M.H.U., Rahman, M., Rai, R.K., Rajsic, S., Ram, U., Ranabhat, C.L., Rankin, Z., Rao, P.C., Rao, P.V., Rawaf, S., Ray, S.E., Reiner, R.C., Reinig, N., Reitsma, M.B., Remuzzi, G., Renzaho, A.M.N., Resnikoff, S., Rezaei, S., Ribeiro, A.L., Ronfani, L., Roshandel, G., Roth, G.A., Roy, A., Rubagotti, E., Ruhago, G.M., Saadat, S., Sadat, N., Safdarian, M., Safi, S., Safiri, S., Sagar, R., Sahathevan, R., Salama, J., Saleem, H.O.B., Salomon, J.A., Salvi, S.S., Samy, A.M., Sanabria, J.R., Santomauro, D., Santos, I.S., Santos, J.V., Santric Milicevic, M.M., Sartorius, B., Satpathy, M., Sawhney, M., Saxena, S., Schmidt, M.I., Schneider, I.J.C., Schöttker, B., Schwebel, D.C., Schwendicke, F., Seedat, S., Sepanlou, S.G., Servan-Mori, E.E., Setegn, T., Shackelford, K.A., Shaheen, A., Shaikh, M.A., Shamsipour, M., Shariful Islam, S.M., Sharma, J., Sharma, R., She, J., Shi, P., Shields, C., Shifa, G.T., Shigematsu, M., Shinohara, Y., Shiri, R., Shirkoohi, R., Shirude, S., Shishani, K., Shrime, M.G., Sibai, A.M., Sigfusdottir, I.D., Silva, D.A.S., Silva, J.P., Silveira, D.G.A., Singh, J.A., Singh, N.P., Sinha, D.N., Skiadaresi, E., Skirbekk, V., Slepak, E.L., Sligar, A., Smith, D.L., Smith, M., Sobaih, B.H.A., Sobngwi, E., Sorensen, R.J.D., Sousa, T.C.M., Sposato, L.A., Sreeramareddy, C.T., Srinivasan, V., Stanaway, J.D., Stathopoulou, V., Steel, N., Stein, M.B., Stein, D.J., Steiner, T.J., Steiner, C., Steinke, S., Stokes, M.A., Stovner, L.J., Strub, B., Subart, M., Sufiyan, M.B., Sunguya, B.F., Sur, P.J., Swaminathan, S., Sykes, B.L., Sylte, D.O., Tabarés-Seisdedos, R., Taffere, G.R., Takala, J.S., Tandon, N., Tavakkoli, M., Taveira, N., Taylor, H.R., Tehrani-Banihashemi, A., Tekelab, T., Terkawi, A.S., Tesfaye, D.J., Tesssema, B., Thamsuwan, O., Thomas, K.E., Thrift, A.G., Tiruye, T.Y., Tobe-Gai, R., Tollanes, M.C., Tonelli, M., Topor-Madry, R., Tortajada, M., Touvier, M., Tran, B.X., Tripathi, S., Troeger, C., Truelsen, T., Tsoi, D., Tuem, K.B., Tuzcu, E.M., Tyrovolas, S., Ukwaja, K.N., Undurraga, E.A., Uneke, C.J., Updike, R., Uthman, O.A., Uzochukwu, B.S.C., van Boven, J.F.M., Varughese, S., Vasankari, T., Venkatesh, S., Venketasubramanian, N., Vidavalur, R., Violante, F.S., Vladimirov, S.K., Vlassov, V.V., Vollset, S.E., Wadilo, F., Wakayo, T., Wang, Y.-P., Weaver, M., Weichenthal, S., Weiderpass, E., Weintraub, R.G., Werdecker, A., Westerman, R., Whiteford, H.A., Wijeratne, T., Wiysonge, C.S., Wolfe, C.D.A., Woodbrook, R., Woolf, A.D., Workicho, A., Xavier, D., Xu, G., Yadgir, S., Yaghoubi, M., Yakob, B., Yan, L.L., Yano, Y., Ye, P., Yimam, H.H., Yip, P., Yonemoto, N., Yoon, S.-J., Yotebieng, M., Younis, M.Z., Zaidi, Z., Zaki, M.E.S., Zegeye, E.A., Zenebe, Z.M., Zhang, X., Zhou, M., Zipkin, B., Zodpey, S., Zuhlke, L.J., Murray, C.J.L., 2017. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 328 diseases and injuries for 195 countries, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. The Lancet 390, 1211–1259. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32154-2

Wagner, A.E., Nagels, L., Toffanin, P., Opie, J.M., Başkent, D., 2019. Individual Variations in Effort: Assessing Pupillometry for the Hearing Impaired. Trends Hear 23, 2331216519845596. https://doi.org/10.1177/2331216519845596

Wallentin, M., Nielsen, A.H., Friis-Olivarius, M., Vuust, C., Vuust, P., 2010. The Musical Ear Test, a new reliable test for measuring musical competence. Learning and Individual Differences 20, 188–196. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2010.02.004

Ward, K.M., Shen, J., Souza, P.E., Grieco-Calub, T.M., 2017a. Age-Related Differences in Listening Effort During Degraded Speech Recognition. Ear & Hearing 38, 74–84. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000355

Ward, K.M., Shen, J., Souza, P.E., Grieco-Calub, T.M., 2017b. Age-Related Differences in Listening Effort During Degraded Speech Recognition: Ear and Hearing 38, 74–84. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000355

Ware Jr., J.E., 1999. SF-36 Health Survey, in: The Use of Psychological Testing for Treatment Planning and Outcomes Assessment, 2nd Ed. Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Mahwah, NJ, US, pp. 1227–1246.

Werner, P.D., Swope, A.J., 2006. The Music Experience Questionnaire: Development and Correlates 19.

West, S., 1885. Case of Aphasia in Which the Chief Lesion was Seated in the Supramarginal and Angular Gyri, Broca's Convolution Being Unaffected. Br Med J 1, 1242–1244.
Widaman, K.F., Little, T.D., Preacher, K.J., Sawalani, G.M., 2011. On creating and using short forms of scales in secondary research, in: Secondary Data Analysis: An Introduction for Psychologists. American Psychological Association, Washington, DC, US, pp. 39–61. https://doi.org/10.1037/12350-003
Wing, H.D., 1961. Standardized tests of musical intelligence. NFER Pub., Windsor, Berks.
Wingfield, A., Aberdeen, J.S., Stine, E.A., 1991. Word onset gating and linguistic context in spoken word recognition by young and elderly adults. J Gerontol 46, P127-129. https://doi.org/10.1093/geronj/46.3.p127
Wingfield, A., Tun, P.A., McCoy, S.L., 2005. Hearing Loss in Older Adulthood: What It Is and How It Interacts With Cognitive Performance. Curr Dir Psychol Sci 14, 144–148. https://doi.org/10.1111/j.0963-7214.2005.00356.x
Winkler, A., Carroll, R., Holube, I., 2020. Impact of Lexical Parameters and Audibility on the Recognition of the Freiburg Monosyllabic Speech Test. Ear Hear 41, 136–142. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000737
Winn, M.B., Wendt, D., Koelewijn, T., Kuchinsky, S.E., 2018. Best Practices and Advice for Using Pupillometry to Measure Listening Effort: An Introduction for Those Who Want to Get Started. Trends in Hearing 22, 233121651880086. https://doi.org/10.1177/2331216518800869
Wright, D., Gagné, J.-P., 2020. Acclimatization to Hearing Aids by Older Adults. Ear & Hearing Publish Ahead of Print. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000913
Zekveld, A.A., Kramer, S.E., 2014. Cognitive processing load across a wide range of listening conditions: insights from pupillometry. Psychophysiology 51, 277–284. https://doi.org/10.1111/psyp.12151
Zekveld, A.A., Kramer, S.E., Festen, J.M., 2011. Cognitive load during speech perception in noise: The influence of age, hearing loss, and cognition on the pupil response. Ear and hearing 32, 498–510.
Zekveld, A.A., Rudner, M., Johnsrude, I.S., Rönnberg, J., 2013. The effects of working memory capacity and semantic cues on the intelligibility of speech in noise. The Journal of the Acoustical Society of America 134, 2225–2234. https://doi.org/10.1121/1.4817926
Zekveld, A.A., Rudner, M., Kramer, S.E., Lyzenga, J., RÃ¶nnberg, J., 2014. Cognitive processing load during listening is reduced more by decreasing voice similarity than by increasing spatial separation between target and masker speech. Front. Neurosci. 8. https://doi.org/10.3389/fnins.2014.00088
Zendel, B.R., Tremblay, C.-D., Belleville, S., Peretz, I., 2015. The Impact of Musicianship on the Cortical Mechanisms Related to Separating Speech from Background Noise. Journal of Cognitive Neuroscience 27, 1044–1059. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00758

SUPPLEMENTARY MATERIAL

ST1: Details of communalities and factor loadings of exploratory factor analysis, performed on the EEAS and 15iSSQ scales

		2 factors solution			3 factors solution			4 factors solution				5 factors solution					
Scale	Items	F1	F2	Communalities	F1	F2	F3	Communalities	F1	F2	F3	F4	Communalities	F1	F2	F3	F4	F5	Communalities
EEAS	EEAS1	-0.17	0.51	0.38	-0.21	0.54	0.05	0.39	-0.07	0.54	0.05	-0.18	0.4	0.58	-0.05	0.21	-0.04	0.01	0.57
	EAS2	0.07	0.9	0.74	0.03	0.9	0.01	0.77	-0.01	0.89	0.01	0.04	0.77	-0.01	-0.02	0.9	0.03	-0.02	0.78
	EAS3	-0.25	0.44	0.37	-0.31	0.51	0.11	0.39	-0.08	0.51	0.12	-0.28	0.41	1	-0.02	-0.02	0	0.01	1
	EAS4	0.03	0.91	0.8	0.01	0.88	-0.05	0.82	-0.05	0.87	-0.06	0.06	0.82	0.08	-0.05	0.83	-0.04	0.04	0.83
	EAS5	-0.07	0.57	0.37	-0.1	0.57	0	0.38	-0.07	0.57	0	-0.03	0.38	0.14	-0.07	0.48	-0.02	-0.01	0.38
	EAS6	-0.08	0.71	0.56	-0.09	0.67	-0.05	0.56	-0.02	0.67	-0.05	-0.09	0.56	0.21	-0.02	0.54	-0.08	-0.05	0.57
	EAS7	0.09	0.93	0.79	0.08	0.86	-0.09	0.79	0.03	0.85	-0.1	0.05	0.79	-0.02	0.02	0.86	-0.07	0	0.8
	EAS8	-0.15	0.45	0.29	-0.17	0.46	0.02	0.3	0.1	0.46	0.03	-0.33	0.33	0.48	0.12	0.17	-0.05	-0.18	0.43
	EAS9	0.1	0.82	0.6	0.07	0.8	-0.02	0.61	0.05	0.79	-0.02	0.02	0.61	-0.05	0.03	0.8	-0.01	-0.04	0.61
	EAS10	-0.15	0.56	0.41	-0.18	0.57	0.03	0.42	-0.06	0.57	0.03	-0.15	0.43	0.06	-0.07	0.52	0.03	-0.15	0.42
15iSSQ	SSQ1	0.37	-0.38	0.42	0.13	0.01	0.69	0.58	0.07	0	0.67	0.1	0.58	-0.05	0.07	0.04	0.69	0.07	0.59
	SSQ2	0.3	-0.46	0.44	0	0.01	0.84	0.69	-0.02	0.01	0.83	0.05	0.7	0.01	-0.02	-0.01	0.82	0.05	0.69
	SSQ3	0.33	-0.43	0.43	0.05	0.03	0.8	0.66	-0.01	0.02	0.78	0.1	0.65	-0.07	-0.02	0.07	0.81	0.05	0.67
	SSQ4	0.22	-0.55	0.47	-0.05	-0.11	0.78	0.68	0.07	-0.11	0.78	-0.13	0.7	0.09	0.07	-0.18	0.75	-0.09	0.69
	SSQ5	0.3	-0.51	0.5	0.03	-0.08	0.77	0.7	0.03	-0.08	0.76	0.02	0.7	-0.02	0.03	-0.08	0.76	0.01	0.7
	SSQ6	0.72	-0.06	0.56	0.64	0.04	0.21	0.57	0.56	0.04	0.22	0.1	0.57	-0.05	0.55	0.06	0.23	0.08	0.57
	SSQ7	0.88	0.07	0.71	0.88	0.03	-0.02	0.72	0.91	0.03	0	-0.03	0.77	0.05	0.91	0	0	-0.01	0.77
	SSQ8	0.86	0	0.74	0.85	-0.03	0	0.74	0.82	-0.04	0.02	0.04	0.76	-0.03	0.81	-0.03	0.02	0.04	0.76
	SSQ9	0.91	0.03	0.8	0.91	-0.02	-0.03	0.81	0.9	-0.02	-0.02	0.03	0.85	-0.04	0.89	-0.01	-0.01	0.02	0.85
	SSQ10	0.88	0.01	0.77	0.88	-0.02	-0.01	0.78	0.88	-0.02	0.01	0.01	0.82	-0.01	0.87	-0.02	0.01	0.02	0.82
	SSQ11	0.72	0	0.52	0.69	0.01	0.05	0.52	0.16	0.01	0.02	0.67	0.63	-0.05	0.14	0.04	0.01	0.67	0.63
	SSQ12	0.72	-0.02	0.53	0.69	-0.02	0.03	0.52	0.15	-0.02	0	0.68	0.65	0.01	0.14	-0.03	-0.03	0.71	0.66
	SSQ13	0.73	-0.01	0.55	0.71	-0.02	0.03	0.54	0.14	-0.02	0	0.72	0.69	-0.02	0.12	-0.01	-0.03	0.74	0.69
	SSQ14	0.62	-0.1	0.46	0.59	-0.09	0.06	0.45	-0.05	-0.08	0.02	0.81	0.67	0.01	-0.08	-0.09	-0.02	0.86	0.68
	SSQ15	0.65	-0.07	0.47	0.56	0.04	0.22	0.47	-0.02	0.05	0.19	0.74	0.64	-0.01	-0.05	0.06	0.17	0.76	0.65

ST2: Results of the exploratory factor analysis of the EEAS, collected for 448 hearing-impaired hearing-aided patients. Factor loadings (after oblique rotation) and communalities are given for each item.

	F2	F1	communalities
EEAS1	0.21	0.63	0.58
EEAS2	0.91	-0.01	0.81
EEAS3	-0.01	1	1
EEAS4	0.88	0.06	0.84
EEAS5	0.51	0.15	0.37
EEAS6	0.59	0.24	0.56
EEAS7	0.9	-0.02	0.79
EEAS8	0.23	0.5	0.44
EEAS9	0.88	-0.11	0.68
EEAS10	0.55	0.13	0.39
proportion variance	0.44	0.2	
cumulative variance	0.44	0.65	

ST3: Internal consistency analysis and item to total correlations for EEAS

Scales	ronbachAlph	Items	tem.Tota	lpha.Withou
EEAS	**0.9255** Upper confiden **0.92** lower confiden **0.9186221**	**1**	0.63	0.92
		2	0.80	0.91
		3	0.64	0.92
		4	0.82	0.91
		5	0.62	0.92
		6	0.74	0.91
		7	0.81	0.91
		8	0.62	0.92
		9	0.76	0.91
		10	0.63	0.92
EEASquiet	**0.83**	**1**	0.69	0.77
		3	0.78	0.69
		8	0.62	0.85
EEASnoise3	**0.91**	**2**	0.85	0.85
		4	0.86	0.84
		9	0.76	0.92
EEASnoiseTot	**0.91**	**2**	0.83	0.90
		4	0.85	0.89
		5	0.62	0.92
		6	0.71	0.91
		7	0.85	0.89
		9	0.78	0.90
		10	0.62	0.92

ST4: Summarized of different fit indexes for each model of the 15iSSQ confirmatory analysis (CFA)

	Models	chisq	df	Chisq/df	cfi	tli	gfi	aic	bic	rmsea	srmr
1	correlated factor	370.9906	87	4.26426	0.95	0.94	0.90	24937	25072	0.086	0.043
2	orthogonal facto	893.4635	90	9.927372	0.86	0.84	0.80	25453	25576	0.143	0.384
3	correlated factor	965.7212	89	10.8508	0.85	0.83	0.71	25528	25654	0.150	0.067
4	orthogonal facto	1147.102	90	12.74557	0.82	0.79	0.69	25707	25829	0.164	0.281
5	1 factor	1813.296	90	20.14773	0.71	0.66	0.55	26373	26496	0.209	0.119

n=438

Latent	/ariables:		Estimat	Std.Err	z-value	P(>|z|)	Std.lv	Std.all
speech	SSQ1	SSQ1	1				2.16	0.78
		SSQ2	1.026	0.055	18.55	0	2.22	0.82
		SSQ3	0.964	0.051	18.91	0	2.08	0.83
		SSQ4	0.957	0.052	18.43	0	2.07	0.82
		SSQ5	1.023	0.052	19.61	0	2.21	0.86
Spatial	SSQ6	SSQ6	1				2.03	0.74
		SSQ7	1.172	0.061	19.18	0	2.38	0.88
		SSQ8	1.201	0.061	19.74	0	2.44	0.9
		SSQ9	1.23	0.061	20.21	0	2.5	0.92
		SSQ10	1.197	0.059	20.27	0	2.43	0.93
Qualitie	SSQ11	SSQ11	1				1.69	0.85
		SSQ12	1.053	0.044	23.73	0	1.78	0.87
		SSQ13	1.137	0.048	23.59	0	1.92	0.87
		SSQ14	1.144	0.053	21.6	0	1.93	0.83
		SSQ15	1.058	0.049	21.69	0	1.78	0.83
Total	speech	speech	1				0.66	0.66
	spatial	spatial	1.29	0.124	10.4	0	0.91	0.91
	qualities	qualities	1.022	0.091	11.25	0	0.86	0.86

Variances:		Estima	Std.Er	z-value	P(>|z|)	Std.lv	Std.al
	SSQ1	2.974	0.24	12.7	0	2.97	0.4
	SSQ2	2.414	0.2	12	0	2.41	0.3
	SSQ3	1.927	0.16	11.7	0	1.93	0.3
	SSQ4	2.164	0.18	12.1	0	2.16	0.3
	SSQ5	1.771	0.16	11	0	1.77	0.3
	SSQ6	3.468	0.25	14	0	3.47	0.5
	SSQ7	1.621	0.13	12.5	0	1.62	0.2
	SSQ8	1.321	0.11	11.8	0	1.32	0.2
	SSQ9	1.07	0.1	10.8	0	1.07	0.1
	SSQ10	0.979	0.09	10.7	0	0.98	0.1
	SSQ11	1.09	0.09	12.1	0	1.09	0.3
	SSQ12	0.995	0.09	11.5	0	1	0.2
	SSQ13	1.191	0.1	11.6	0	1.19	0.2
	SSQ14	1.745	0.14	12.6	0	1.75	0.3
	SSQ15	1.467	0.12	12.6	0	1.47	0.3
	speech	2.651	0.31	8.63	0	0.57	0.6
	spatial	0.738	0.2	3.7	0	0.18	0.2
	qualities	0.721	0.14	5.35	0	0.25	0.3
	Total	2.028	0.33	6.1	0	1	1

ST5: Internal consistency analysis and item to total correlations for 15iSSQ.

Scales	CronbachAlpha	Items	Item.Total	Alpha.Without
15iSSQtot	0.948 Upper confidence int 0.95 lower confidence int 0.944	1	0.68	0.94
		2	0.66	0.94
		3	0.66	0.94
		4	0.61	0.95
		5	0.67	0.94
		6	0.72	0.94
		7	0.75	0.94
		8	0.80	0.94
		9	0.80	0.94
		10	0.81	0.94
		11	0.74	0.94
		12	0.72	0.94
		13	0.72	0.94
		14	0.69	0.94
		15	0.74	0.94
15iSSQspeech	0.91	1	0.73	0.90
		2	0.78	0.89
		3	0.79	0.89
		4	0.77	0.89
		5	0.80	0.88
15iSSQspatial	0.94	6	0.71	0.95
		7	0.86	0.92
		8	0.87	0.92
		9	0.88	0.92
		10	0.88	0.92
15iSSQqualities	0.92	11	0.79	0.91
		12	0.83	0.91
		13	0.83	0.91
		14	0.80	0.91
		15	0.80	0.91

ST6: Correlation matrix between the different subscales of the EEAS and 15iSSQ scales for the Normal Hearing (NH) group.

Pearson's r	EEAS	EEASquiet	EEASnoise3	EEASnoise	EEASnoise-quiet	15iSSQ	15iSSQSpeech	15iSSQspatial
EEASquiet	**0.73**	—						
EEASnoise3	**0.95**	**0.58**	—					
EEASnoise	**0.99**	**0.64**	**0.96**	—				
EEASnoise-quiet	**0.79**	**0.21**	**0.92**	**0.85**	—			
15iSSQ	**-0.76**	**-0.58**	**-0.70**	**-0.75**	**-0.55**	—		
15iSSQSpeech	**-0.78**	**-0.48**	**-0.71**	**-0.79**	**-0.62**	**0.86**	—	
15iSSQspatial	**-0.60**	**-0.52**	**-0.57**	**-0.58**	**-0.44**	**0.89**	**0.57**	—
15iSSQqualities	**-0.47**	**-0.49**	**-0.37**	**-0.44**	-0.22	**0.76**	**0.49**	**0.64**

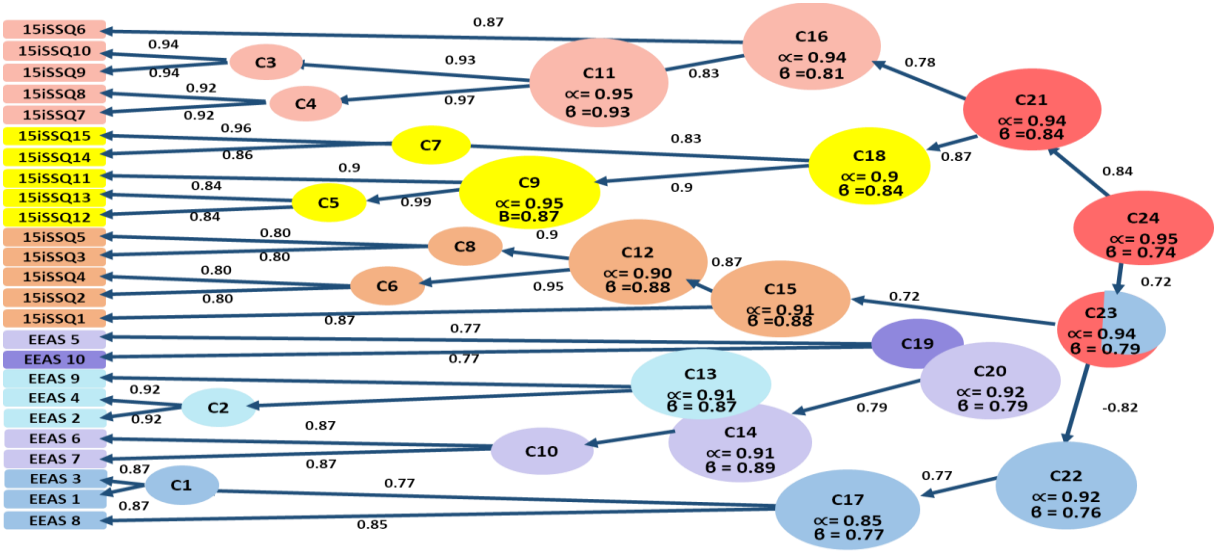
ST7: Cutoff score for the EEAS of Normal Hearing (NH) group.

EEAS	5th percentile	median	95th percentile	15iSSQ	5th percentile	median	95th percentile
EEAS	0.42	2.14	4.94	15iSSQtot	6.44	8.87	9.87
EAS	0.51	2.17	4.99	15iSSQspee15	4.85	8.60	9.80
EEASquiet	0.00	0.33	2.00	15iSSQspatial	4.81	8.50	9.80
EEASnoise3	0.68	3.33	7.65	15iSSQqualitie	7.82	9.50	10.00
EEASnoise	0.59	2.93	6.69	15iSSQ1	4.00	9.00	10.00
EEAS1	0.00	0.00	2.00	15iSSQ2	5.00	9.00	10.00
EEAS2	0.00	3.00	7.00	15iSSQ3	7.00	10.00	10.00
EEAS3	0.00	0.00	4.00	15iSSQ4	2.00	8.00	10.00
EEAS4	0.05	3.00	8.00	15iSSQ5	5.00	8.00	10.00
EEAS5	0.00	3.00	7.95	15iSSQ6	5.00	8.50	10.00
EEAS6	0.00	2.00	6.00	15iSSQ7	5.00	9.00	10.00
EEAS7	0.00	3.00	7.00	15iSSQ8	3.00	8.00	10.00
EEAS8	0.00	0.00	2.00	15iSSQ9	5.00	8.00	10.00
EEAS9	1.00	4.00	8.95	15iSSQ10	5.00	8.00	10.00
EEAS10	0.00	2.50	7.00	15iSSQ11	8.00	10.00	10.00
				15iSSQ12	7.00	10.00	10.00
				15iSSQ13	8.00	10.00	10.00
				15iSSQ14	7.00	10.00	10.00
				15iSSQ15	8.00	10.00	10.00

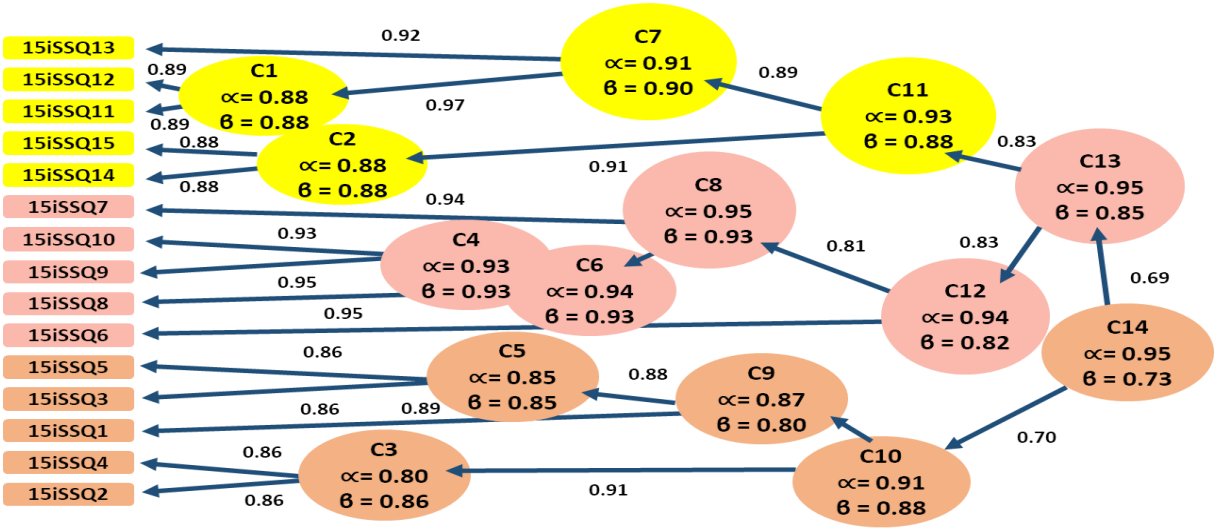
ST8: Multiple regression analysis of the SSQ and EEAS scores, and their subscale scores , built with the same 7 predictors (Aided Better Ear Threshold, Aided Ear Asymmetry, Ear Asymmetry, Better Ear Threshold, age, Daily HA use).

Scales/subsc	model	Factors	Unstandardized	Standard Error	Standardized	t	p	R	R2	adjusted R2	RMSE	Anova	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
EEAS	H_0	(Intercept)	2.767	0.448		6.176	1.795e-9	0.262	0.069	0.063	2.009	Regression	105.5	2	52.738	13.071	3.330e-6
		Ear Asymmetry	0.014	0.015	0.051	0.982	0.327					Residual	1432.3	355	4.035		
		Better Ear Threshold	0.055	0.011	**0.251**	4.872	**1.664e-6**					Total	1537.8	357			
	H_1	(Intercept)	1.978	0.848		2.334	0.02	0.375	0.14	0.123	1.943	Regression	215.9	7	30.839	8.165	3.210e-9
		Aided Better Ear Threshold	0.011	0.021	0.036	0.531	0.596					Residual	1321.9	350	3.777		
		Aided Ear Asymmetry	0.015	0.029	0.027	0.52	0.603					Total	1537.8	357			
		Ear Asymmetry	0.008	0.015	0.027	0.54	0.589										
		Better Ear Threshold	0.035	0.015	**0.161**	2.315	**0.021**										
		Age	0.015	0.011	0.073	1.333	0.183										
		Daily use	-0.033	0.031	-0.053	-1.052	0.293										
		HA experience	1.156	0.219	**0.273**	5.288	**2.180e-7**										
EEASquiet	H_0	(Intercept)	0.721	0.467		1.544	0.123	0.229	0.052	0.047	2.092	Regression	85.98	2	42.99	9.819	7.069e-5
		Ear Asymmetry	0.019	0.015	0.064	1.232	0.219					Residual	1554.24	355	4.378		
		Better Ear Threshold	0.048	0.012	**0.213**	4.088	**5.387e-5**					Total	1640.22	357			
	H_1	(Intercept)	0.711	0.9		0.791	0.43	0.304	0.093	0.074	2.062	Regression	151.73	7	21.676	5.097	1.571e-5
		Aided Better Ear Threshold	-0.002	0.022	-0.006	-0.083	0.934					Residual	1488.49	350	4.253		
		Aided Ear Asymmetry	0.021	0.031	0.037	0.689	0.492					Total	1640.22	357			
		Ear Asymmetry	0.014	0.015	0.049	0.935	0.351										
		Better Ear Threshold	0.04	0.016	**0.177**	2.479	**0.014**										
		Age	0.004	0.012	0.022	0.384	0.701										
		Daily use	-0.034	0.033	-0.054	-1.036	0.301										
		HA experience	0.87	0.232	**0.199**	3.75	**2.065e-4**										
EEASnoise3	H_0	(Intercept)	4.355	0.533		8.172	5.423e-15	0.206	0.043	0.037	2.389	Regression	90.25	2	45.125	7.905	4.376e-4
		Ear Asymmetry	0.004	0.018	0.01	0.201	0.841					Residual	2026.43	355	5.708		
		Better Ear Threshold	0.053	0.013	**0.205**	3.922	**1.054e-4**					Total	2116.68	357			
	H_1	(Intercept)	3.235	1.011		3.2	0.002	0.334	0.112	0.094	2.318	Regression	236.38	7	33.768	6.286	5.839e-7
		Aided Better Ear Threshold	0.026	0.025	0.073	1.064	0.288					Residual	1880.3	350	5.372		
		Aided Ear Asymmetry	0.031	0.035	0.047	0.884	0.377					Total	2116.68	357			
		Ear Asymmetry	-0.006	0.017	-0.016	-0.319	0.75										
		Better Ear Threshold	0.023	0.018	0.089	1.259	0.209										
		Age	0.017	0.013	0.072	1.299	0.195										
		Daily use	-0.033	0.037	-0.045	-0.884	0.378										
		HA experience	1.314	0.261	**0.265**	5.04	**7.477e-7**										
EEASnoise	H_0	(Intercept)	3.592	0.497		7.234	2.905e-12	0.251	0.063	0.058	2.226	Regression	118.8	2	59.383	11.984	9.198e-6
		Ear Asymmetry	0.014	0.016	0.043	0.834	0.405					Residual	1759.1	355	4.955		
		Better Ear Threshold	0.059	0.013	**0.243**	4.697	**3.782e-6**					Total	1877.9	357			
	H_1	(Intercept)	2.454	0.939		2.613	0.009	0.368	0.136	0.118	2.153	Regression	254.8	7	36.396	7.848	7.703e-9
		Aided Better Ear Threshold	0.015	0.023	0.046	0.676	0.5					Residual	1623.1	350	4.638		
		Aided Ear Asymmetry	0.01	0.032	0.016	0.314	0.754					Total	1877.9	357			
		Ear Asymmetry	0.006	0.016	0.02	0.388	0.698										
		Better Ear Threshold	0.034	0.017	**0.142**	2.038	**0.042**										
		Age	0.019	0.012	0.087	1.597	0.111										
		Daily use	-0.032	0.034	-0.047	-0.929	0.354										
		HA experience	1.279	0.242	**0.274**	5.281	**2.258e-7**										
15iSSQ	H_0	(Intercept)	9.285	0.365		25.44	5.224e-82	0.36	0.129	0.124	1.636	Regression	141.2	2	70.6	26.37	2.104e-11
		Ear Asymmetry	2.050e-4	0.012	8.508e-4	0.017	0.986					Residual	950.5	355	2.677		
		Better Ear Threshold	-0.066	0.009	**-0.36**	-7.216	**3.264e-12**					Total	1091.7	357			
	H_1	(Intercept)	9.523	0.674		14.135	3.334e-36	0.485	0.235	0.22	1.545	Regression	256.8	7	36.679	15.38	1.471e-17
		Aided Better Ear Threshold	0.025	0.016	0.095	1.497	0.135					Residual	834.9	350	2.386		
		Aided Ear Asymmetry	-0.06	0.023	**-0.126**	-2.584	**0.01**					Total	1091.7	357			
		Ear Asymmetry	0.008	0.012	0.033	0.686	0.493										
		Better Ear Threshold	-0.066	0.012	**-0.356**	-5.423	**1.095e-7**										
		Age	-0.022	0.009	**-0.133**	-2.575	**0.01**										
		Daily use	0.103	0.025	**0.199**	4.186	**3.593e-5**										
		HA experience	-0.69	0.174	**-0.194**	-3.97	**8.729e-5**										
5iSSQspeecl	H_0	(Intercept)	8.011	0.483		16.575	4.173e-46	0.3	0.09	0.085	2.167	Regression	164.4	2	82.202	17.51	5.596e-8
		Ear Asymmetry	0.004	0.016	0.014	0.265	0.791					Residual	1666.7	355	4.695		
		Better Ear Threshold	-0.072	0.012	**-0.301**	-5.903	**8.337e-9**					Total	1831.1	357			
	H_1	(Intercept)	10.004	0.892		11.216	3.771e-25	0.448	0.201	0.185	2.045	Regression	367.7	7	52.527	12.56	2.201e-14
		Aided Better Ear Threshold	7.310e-4	0.022	0.002	0.034	0.973					Residual	1463.4	350	4.181		
		Aided Ear Asymmetry	-0.088	0.031	**-0.143**	-2.871	**0.004**					Total	1831.1	357			
		Ear Asymmetry	0.018	0.015	0.059	1.2	0.231										
		Better Ear Threshold	-0.049	0.016	**-0.205**	-3.047	**0.002**										
		Age	-0.046	0.011	**-0.213**	-4.056	**6.168e-5**										
		Daily use	0.103	0.033	**0.155**	3.176	**0.002**										
		HA experience	-0.867	0.23	**-0.188**	-3.769	**1.919e-4**										
15iSSQspatia	H_0	(Intercept)	9.588	0.494		19.413	1.000e-57	0.302	0.091	0.086	2.214	Regression	174.2	2	87.112	17.768	4.424e-8
		Ear Asymmetry	-0.006	0.016	-0.018	-0.357	0.721					Residual	1740.5	355	4.903		
		Better Ear Threshold	-0.073	0.012	**-0.299**	-5.87	**9.988e-9**					Total	1914.7	357			
	H_1	(Intercept)	8.856	0.934		9.48	3.990e-19	0.402	0.161	0.145	2.142	Regression	309.1	7	44.163	9.627	5.839e-11
		Aided Better Ear Threshold	0.042	0.023	0.124	1.857	0.064					Residual	1605.6	350	4.587		
		Aided Ear Asymmetry	-0.062	0.032	**-0.099**	-1.933	**0.054**					Total	1914.7	357			
		Ear Asymmetry	2.057e-4	0.016	6.446e-4	0.013	0.99										
		Better Ear Threshold	-0.084	0.017	**-0.345**	-5.019	**8.295e-7**										
		Age	-0.011	0.012	-0.049	-0.91	0.363										
		Daily use	0.113	0.034	**0.165**	3.309	**0.001**										
		HA experience	-0.752	0.241	**-0.159**	-3.123	**0.002**										
15iSSQquaIit	H_0	(Intercept)	10.257	0.34		30.187	4.625e-100	0.319	0.102	0.097	1.523	Regression	93.47	2	46.735	20.14	5.180e-9
		Ear Asymmetry	0.002	0.011	0.01	0.197	0.844					Residual	823.71	355	2.32		
		Better Ear Threshold	-0.054	0.009	**-0.32**	-6.325	**7.635e-10**					Total	917.18	357			
	H_1	(Intercept)	9.708	0.642		15.116	4.336e-40	0.416	0.173	0.156	1.472	Regression	158.4	7	22.629	10.44	6.460e-12
		Aided Better Ear Threshold	0.031	0.016	0.13	1.962	0.051					Residual	758.78	350	2.168		
		Aided Ear Asymmetry	-0.03	0.022	-0.068	-1.334	0.183					Total	917.18	357			
		Ear Asymmetry	0.005	0.011	0.024	0.474	0.636										
		Better Ear Threshold	-0.064	0.012	**-0.378**	-5.534	**6.157e-8**										
		Age	-0.009	0.008	-0.061	-1.147	0.252										
		Daily use	0.093	0.023	**0.196**	3.949	**9.501e-5**										
		HA experience	-0.45	0.166	**-0.138**	-2.715	**0.007**										

SF1: Hierarchical cluster analysis performed on 15iSSQ and EEAS questionnaire when the cluster analysis is forced to identify 5 clusters, each cluster corresponds to each one of the 5 factors identified by EFA,, clusters are numbered from C1 to C24. (∝ = Cronbach coefficient, **β** = beta coefficient, which test the internal consistency and homogeneity of the clusters).



SF2: Hierarchical cluster analysis performed on 15iSSQ. Items organised themselves into 3 sub-clusters, corresponding each to a subscale.



III. États cognitifs et effort d'écoute

Avant de nous intéresser au lien entre effort d'écoute et capacités cognitives, nous présenterons les méthodes de mesure des capacités cognitives applicables aux malentendants. Puis, nous présenterons les résultats d'un protocole expérimental visant à étudier l'implication des fonctions cognitives et notamment de la mémoire à court terme sur l'effort d'écoute ressenti par les patients appareillés.

1. Méthodes de mesure des capacités cognitives adaptées aux malentendants

Pour identifier les tests cognitifs les plus adaptés aux malentendants, une première analyse de littérature concernant les tests déjà existants a été réalisée. Le tableau en annexe reprend en détail l'ensemble des tests retrouvés et un tableau de synthèse est présenté ci-dessous (Tableau 10). Afin d'organiser au mieux les résultats, les différents tests retrouvés ont été classés en 5 catégories différentes : la première catégorie concerne les tests de dépistages de troubles cognitifs, il s'agit de tests visant à explorer plusieurs fonctions cognitives afin d'établir le plus souvent un diagnostic de déclin cognitif, voire de démence, les 4 autres catégories concernent les tests des différentes fonctions cognitives (mémoire, attention, fonctions exécutives, fonctions visuospatiales). Cependant, lors de l'exécution d'un test, différentes fonctions cognitives sont toujours mises en œuvre simultanément et aucun test ne peut prétendre mesurer une fonction cognitive de manière isolée. Le classement des tests selon la fonction cognitive a donc été réalisé en tenant compte de la fonction jugée dominante mesurée par le test.

Différents test	Nombre de tests	Nombre de tests validées en Français	Temps de passation estimé	
			Minimum	Maximum
Tests dépistage des troubles cognitifs	19	14	3 min	1h45
Tests de mémoire	21	19	2min	3h30
Tests d'attention	10	10	5min	20min
Tests des fonctions éxécutives	9	6	10min	1h
Tests des fonctions viso-spatiales	7	4	2min	15min
Total	66	53		

Tableau 10 : Synthèse du nombre de tests cognitifs retrouvés dans la littérature.

Les tests de mémoire représentent la catégorie la plus représentée en nombre de tests (21/66), suivis par les tests de dépistage (19/66), les tests concernant les fonctions d'attention, fonctions exécutives et visuospatiales beaucoup moins nombreux, représentent 40 % des tests retrouvés. Sur les 66 tests recensés, 80 % présentent une version validée en français. Les différents temps de passation estimés dans la littérature varient grandement avec des tests allant de quelques minutes à 1 heure ou plus en fonction des différentes catégories.

Au vu du nombre important de tests existants, le choix des tests adaptés aux malentendants s'est effectué selon plusieurs critères : la ***fréquence d'utilisation*** du questionnaire dans la littérature, afin de proposer des résultats comparables aux données existantes, les tests choisis devront donc être fréquemment retrouvés dans la littérature ; ***la rapidité,*** les tests choisis seront administrés à des patients directement dans leur centre de prothèses auditives lors du rendez-vous de contrôle de leurs aides auditives. Afin de ne pas perturber trop grandement le rendez-vous et de conserver une bonne capacité de concentration, les tests ne devront pas excéder 15 min de passation ; la ***capacité d'adaptation*** du test à un public malentendant, les troubles auditifs pouvant affecter la compréhension du test, ce dernier devra pouvoir être compris facilement et clairement par l'individu testé (Dupuis et al., 2015; Hillbriggs et al., 2007) ; la population d'étude étant principalement constituée de sujets âgés les tests choisis devront être compatible avec des patients issus du 3^{ième} et 4^{ième} âge et éventuellement comparable avec des valeurs normatives de cette classe d'âge. Enfin les aptitudes, verbales notamment en termes de vocabulaire peuvent être affecté par les troubles auditifs (Kaandorp et al., 2017), mais aussi par l'âge des patients (Bopp and Verhaeghen, 2005) afin de mesurer spécifiquement les capacités cognitives, les tests choisis devront s'affranchir au maximum des aptitudes langagières du sujet testé. Cependant afin de quantifier le niveau de vocabulaire et de mesurer son impact sur les aptitudes auditives et cognitives, un test de vocabulaire sera aussi administré.

Les différents tests sélectionnés sont présentés par la suite, accompagnés d'un descriptif de leur adaptation (si nécessaire) aux patients malentendants.

a. Test de dépistage de troubles cognitifs : MOCA (MOntreal Cognitive Assessment)

L'évaluation rapide de l'état cognitif peut être effectuée par des tests/questionnaires simples comme le Mini-Mental State Examination (Folstein et al., 1975) (MMSE), maintenant de plus en plus remplacé par le MOCA (Montreal Cognitive Assessment) de Nasreddine et al. (2005) plus sensible que le MMSE au déficit cognitif léger chez le sujet âgé (Aggarwal and Kean, 2010; Ciesielska et al., 2016; Dong et al., 2010). Le MOCA est composé de 11 tests et questionnaires courts et permet d'évaluer plusieurs fonctions : la mémoire à court terme, les habiletés visuospatiales, les fonctions exécutives, l'attention, la concentration, la mémoire de travail, le

langage et l'orientation dans le temps et l'espace. Le résultat est présenté sous forme d'un score noté sur 30 points (un score supérieur ou égal à 26/30 correspondant à l'absence de trouble cognitif, entre 26 et 15 à un déficit cognitif léger et en dessous de 15 à un déficit cognitif important). C'est un test facile d'utilisation et rapide en passation et cotation. Le temps d'exécution est de 15 minutes environ.

Dans le cadre d'une utilisation en laboratoire d'audioprothèse, la rapidité de passation et la sensibilité au déclin cognitif léger sont deux atouts majeurs. En effet, la grande majorité des patients d'un centre d'audioprothèse ne présentent pas de troubles cognitifs majeurs, ainsi une mesure sensible au déclin cognitif léger s'avère plus pertinente pour quantifier l'apparition de trouble cognitif dans cette population.

Cependant, les tests faisant appel à l'audition présents dans le MOCA ont montré une grande sensibilité à la perte auditive notamment pour le test de rappel de mots (Al-Yawer et al., 2019; Dupuis et al., 2015). Afin de limiter l'implication des troubles auditifs dans les résultats retrouvés, il est indispensable de compenser cette baisse de sensibilité. En remplaçant les consignes verbales par une présentation visuelle sous PowerPoint l'adaptation aux malentendants du MOCA : HI-MOCA(Lin et al., 2017) a montré de bons résultats sur la conservation des propriétés psychométriques du MOCA. Nous avons repris le principe de compensation visuelle et établi une version adaptée à la perte auditive en prenant soin de compléter chaque consigne orale avec une fiche de présentation visuelle de la consigne (Figure 20).

Plus simple à mettre en place, le choix d'une version papier limite aussi l'implication des compétences en informatique dans les résultats retrouvés.

De plus, en complétant visuellement les consignes données à l'oral, l'examinateur améliore la capacité de compréhension pour le sujet. Enfin, les cartes consignes ont été imprimées en gros caractères afin de limiter l'implication d'éventuels troubles visuels.

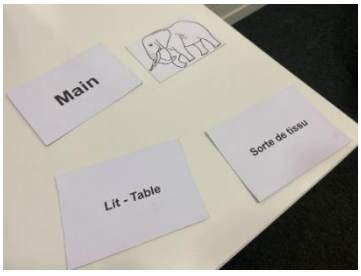


Figure 31 : Carte de compensation visuelle utilisée pour la passation du MOCA

b. Test d'attention et de flexibilité mentale : Trail Making Test

Test utilisé dans les années 1950 comme test d'aptitude générale de l'armée, le Trail making test (Reitan, 1958) est aujourd'hui couramment utilisé en recherche, mais aussi comme outils de diagnostic clinique. Il permet de détecter des troubles de flexibilité mentale, de planification ainsi qu'un ralentissement moteur global. Le test est composé de deux parties : une partie A composée d'une série de chiffres et une partie B composée d'une série de chiffres et de lettres présentées aléatoirement sur une feuille de papier. Le patient doit relier par un trait chaque chiffre et lettre en respectant l'ordre alphabétique pour les lettres et l'ordre croissant pour les chiffres et en alternant successivement un chiffre et une lettre. Il doit ainsi créer la séquence suivante : 1-A, 2-B, 3-C, 4-D… (Figure 32). Le temps d'exécution de la tâche est mesuré et pourra être comparé aux normes existantes pour les populations d'adultes de différents âges (Amieva et al., 2009). De plus, l'aspect non verbal de ce test limite l'implication des troubles auditifs dans les résultats retrouvés.

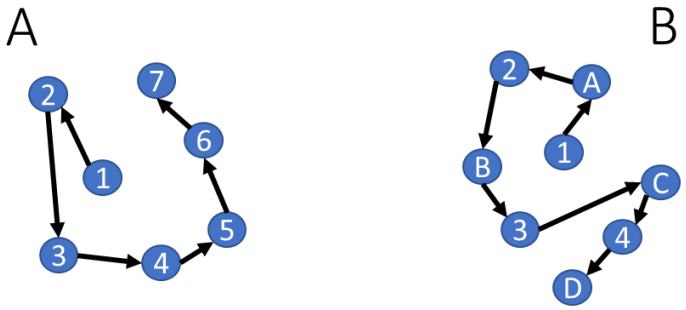


Figure 32 : Trail Making test, dans la partie A le sujet relie les chiffres par ordre croissant et dans la partie B le sujet relie les chiffres par ordre croissant et les lettres par ordre alphabétique en alternant chiffres et lettres.

c. Test visuospatial : Cubes de Corsi

Décrit pour la première fois par Milner (1971) et développée par Corsi (1972), il s'agit d'une épreuve non verbale, développée à l'origine pour tester l'apprentissage de patients épileptiques ayant subi une excision du lobe temporal, il est considéré aujourd'hui comme une des tâches non verbales les plus utilisées en neuropsychologie(Richardson, 2007). Le test est composé d'une planche sur laquelle 9 cubes sont disposés (Figure 33). Le patient doit mémoriser des séquences de pointage de blocs et répéter la séquence présentée par l'examinateur. Une série de séquences est restituée à l'endroit, et une deuxième à l'envers. Cette épreuve permet de mesurer la composante visuospatiale de la mémoire de travail en impliquant la mémorisation de séquences de localisation spatiale. Le test s'arrête lorsque le patient effectue deux échecs consécutifs à un même niveau. À l'inverse d'autres tests visuospatiaux (par exemple le Test de la figure complexe de Rey ou le Test de Rétention visuelle de Benton (BVRT)), l'épreuve de Corsi prend en compte l'effet de relief permettant une mesure plus écologique des capacités de représentation spatiale. Par ailleurs, l'interaction directe entre le sujet testé et l'examinateur permet de vérifier directement la bonne compréhension de la consigne afin d'obtenir une mesure fiable et reproductible.

Exemple	2-6	7-9
Niveau	**Essai 1**	**Essai 2**
2	8–5	6–4
3	4–7–2	8–1–5
4	3–4–1–7	6–1–5–8
5	5–2–1–8–6	4–2–7–3–1
6	3–9–2–4–8–7	3–7–8–2–9–4
7	5–9–1–7–4–2–8	5–7–9–2–8–4–6
8	5–8–1–9–2–6–4–7	5–9–3–6–7–2–4–3
9	5–3–8–7–1–2–4–6–9	4–2–6–8–1–7–9–3–5

Figure 33 : Exemple de planche de Cube de Corsi utilisée avec les patients malentendants à gauche (les chiffres sont visibles uniquement pour l'examinateur) et différentes séquences de pointage (à droite) présentées par l'examinateur, le sujet testé doit ensuite les reproduire sans erreurs.

d. Test de vocabulaire : Mill-Hill

Comme expliqué précédemment, les tests cognitifs choisis ont tous été sélectionnés afin de limiter l'implication des capacités verbales du sujet et de limiter ainsi l'effet de la perte d'audition. Cependant, afin de mesurer l'implication du niveau de langue dans l'effort d'écoute fourni, un test de vocabulaire a été intégré à l'examen : le test Mill Hill. Plus précisément, il s'agit d'une adaptation française (Deltour, 1998) du test original anglais (Raven, 1965). Le test est composé de deux parties : la première partie (partie A) consiste à définir librement une liste de termes, la deuxième partie (partie B) est une tâche de sélection de synonymes de 38 items composés d'un mot de référence et de 6 propositions de synonyme. La tâche consiste à retrouver le seul synonyme correspondant au mot de référence parmi les 6 propositions. Le niveau de difficulté de chaque question augmente de manière croissante. Facile d'accès de par sa forme en questionnaire et plus rapide en termes de passation, seule la partie B a été retenue pour la passation auprès des malentendants. Le questionnaire est aussi normé pour les populations adultes de différents âges.

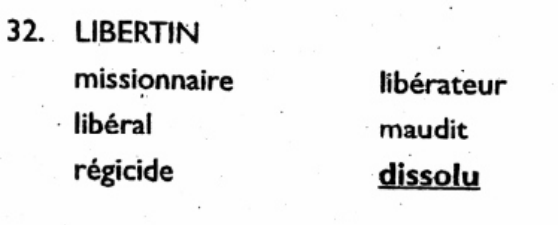


Figure 34 : Exemple d'item de la partie B du test de vocabulaire Mill-Hill, le synonyme à trouver est affiché en gras et souligné

e. Tests de mémoire à court terme.

La mémoire à court terme s'inscrivant dans un ensemble de différents types de mémoires, avant de présenter le test utilisé par la suite, nous détaillerons brièvement les différents types qui la composent.

La mémoire correspond au mécanisme cognitif qui nous permet de conserver des informations et de les restituer afin d'interagir avec notre environnement. Elle composée de 5 types de mémoire connectés entre eux (Eustache, 2019) :

- La **mémoire sémantique** et **mémoire épisodique** permettent d'enregistrer sur le long terme des représentations conscientes de moments vécus.
- La **mémoire procédurale** permet d'enregistrer des automatismes inconscients
- La **mémoire perceptive ou mémoire échoïque** permet d'enregistrer les informations liées à nos 5 sens sur quelques secondes.
- La **mémoire de travail ou mémoire à court terme** permet le maintien des informations à court terme afin de les exploiter dans le cadre d'un processus cognitif par exemple.

La mémoire à long terme comparativement à la mémoire à court terme est souvent évoquée pour désigner toutes les mémoires différentes de la mémoire à court terme(Cowan, 2008). En revanche pour la mémoire à court terme les définitions divergent et la confusion entre mémoire à court terme et mémoire de travail est souvent effectuée. On peut définir la mémoire de travail comme un modèle de fonctionnement de la mémoire à court terme (Cowan, 1988), elle constitue un système regroupant l'ensemble des fonctions cognitives mises en jeu lors de l'exécution d'une tâche en lien avec les informations contenues dans la mémoire à court terme. Son fonctionnement est repris dans le modèle explicatif de Baddeley and Hitch, (1974) : la mémoire de travail est ainsi composée de 4 paramètres fonctionnant ensemble : la boucle phonologique qui gère les informations verbales enregistrées, le calepin visuospatial qui gère les informations visuelles enregistrées, le tampon épisodique associant des informations de la mémoire épisodique aux informations captées par le calepin visuospatial et

la boucle phonologique, l'administrateur central qui coordonne l'information des différentes mémoires (visuel, auditive ...).

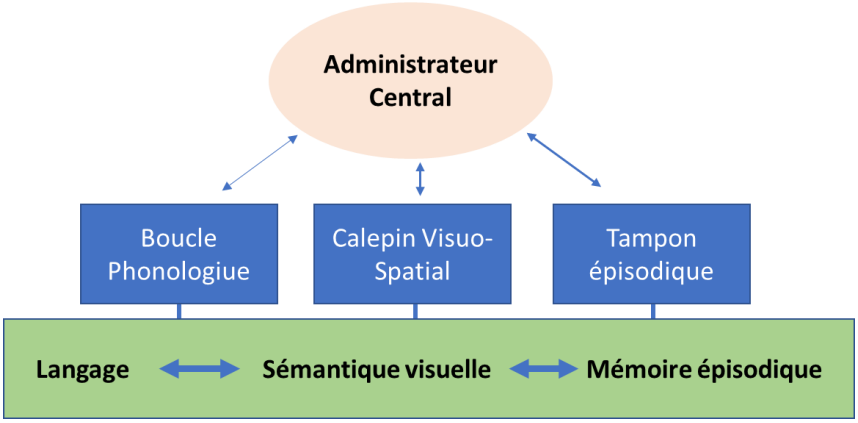


Figure 35 : Modèle explicatif de la mémoire de travail de Baddeley et Hitch, ("Mémoire de travail," 2021)

Dans un souci de limiter l'influence des modalités sensorielles et notamment auditives ainsi que de limiter l'implication d'autres fonctions cognitives, nous nous intéresserons à mesurer l'implication de la mémoire à court terme auditive c'est-à-dire le mécanisme de maintien temporaire de l'information auditive avant que cette dernière soit utilisée par des mécanismes cognitifs plus évolués (comme la mémoire de travail) dans le but de créer du sens à l'information sonore perçue.

Dans la littérature concernant l'exploration de la mémoire à court terme en lien avec les capacités auditives, on retrouve souvent l'utilisation du Reading Span test (Daneman and Carpenter, 1980) dans lequel une série de plusieurs phrases sont présentées successivement au sujet testé. Après lecture de la phrase, le sujet doit retenir le dernier mot lu qu'il devrait ensuite répéter à la fin de chaque série. Le nombre de phrases contenues dans chaque série augmente de manière croissante et le test s'arrête lorsque le sujet n'est plus capable de retenir correctement tous les derniers mots de chacune des phrases de la série. Plus récemment, on peut citer le Word Auditory Recognition and Recall Measure (WARRM)(Smith et al., 2016b) où une liste de 100 mots monosyllabiques sont présentés successivement par série de 2, 3, 4, 5, 6 mots que le sujet doit restituer après écoute.

Cependant, la grande influence du matériel linguistique sur les résultats obtenus avec ces types de tests(Smith and Pichora-Fuller, 2015; Zekveld et al., 2013) rend leur utilisation de plus en plus contestée(Füllgrabe and Rosen, 2016). Afin de limiter cet effet,

nous proposons l'utilisation d'un nouveau test clinique de Caclin and Tillmann, exempt de manipulation d'informations. Ce test est réalisé sur une tablette informatique et consiste en une tâche d'appariement différé entre 2 stimuli composites, chacun constitué d'un nombre fini d'éléments (notes de musique, syllabes, formes visuelles). Pour les modalités auditives, les 2 stimuli sont composés de 5 éléments chacun (syllabes ou notes de musique) et 2 formes en noir et blanc pour la modalité visuelle. Chaque stimulus est présenté avec un délai d'une ou deux secondes et les sujets doivent répondre en indiquant sur la tablette si les 2 stimuli sont identiques ou différents.

Ce test a déjà été utilisé chez des patients ayant subi un AVC, montrant sa faisabilité (Hirel et al., 2017), ainsi que sur des patients implantés cochléaires (Pralus et al., 2021). En s'intéressant à différentes modalités, il permet de distinguer la mémoire à court terme musicale et verbale, dont les mécanismes neurophysiologiques ne sont pas identiques (Caclin and Tillmann, 2018).

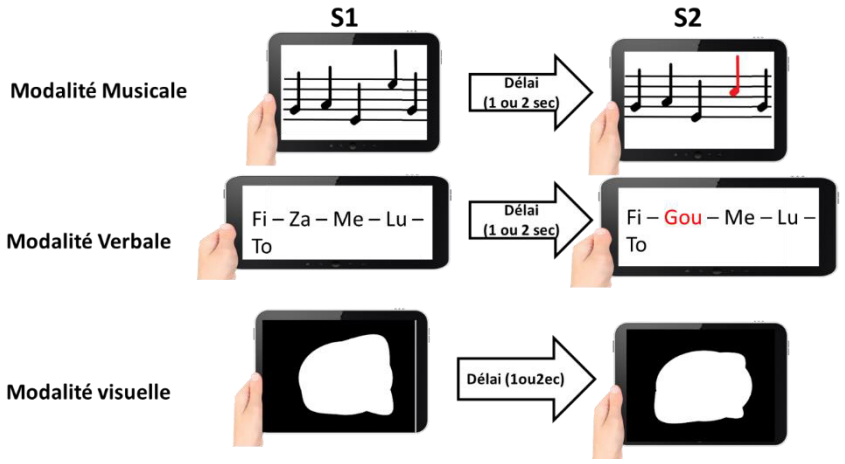


Figure 36 : Test de mémoire à court terme musicale, verbale et visuelle(Hirel et al., 2017).

2. ÉTUDE 4 : Lien entre intelligibilité, état cognitif et effort d'écoute.

Après le choix et l'adaptation d'outils de mesure des capacités cognitives adaptés aux patients appareillés, nous proposons leur mise en œuvre dans le cadre d'un protocole visant à étudier l'implication des capacités cognitives du patient appareillé dans la réalisation d'une tâche d'intelligibilité dans le bruit ceci en lien avec son effort écoute. Si le choix des tests cognitifs a été effectué dans le but de minimiser l'implication des facteurs auditifs dans les résultats retrouvés, le choix du test

d'intelligibilité dans le bruit devra quant à lui tenir compte de l'influence des capacités cognitives et des habiletés langagières du patient dans les résultats retrouvés. Afin de limiter cet impact, nous présenterons au préalable une première étude sur l'influence du matériel vocal utilisé dans l'effort d'écoute perçu par le patient appareillé lors d'une tache d'intelligibilité dans le bruit. Puis nous présenterons le test Audimage dont les modalités de passation permettent de limiter au mieux l'influence des capacités cognitives et de vocabulaire sur les résultats observés.

Enfin, nous présenterons un protocole visant à mesurer l'impact de la mémoire à court terme sur l'intelligibilité mesurée par le test Audimage en lien avec l'effort d'écoute perçu.

a. Influence des principes de conception des listes de mots sur les scores d'intelligibilité dans le bruit mesurés chez une population de sujets appareillés.

Introduction

Que ce soit dans le bruit ou dans le silence, pour réaliser une audiométrie vocale, les listes les plus souvent utilisées sont encore aujourd'hui celles de mots dissyllabiques de Fournier. Cependant, élaborées dans les années cinquante (Fournier, 1951), le vocabulaire employé est souvent désuet et une grande variabilité intermots et interlistes a été montrée, pour les scores totaux, ainsi que pour les constituants psycholinguistiques de chaque liste : fréquence d'occurrence, voisinage phonologique (Moulin et al., 2013). Par ailleurs, comme pour d'autres listes de mots utilisés en audiologie on retrouve une forte influence du lexique dans les résultats retrouvés (Benichov et al., 2012; Moulin and Richard, 2015; Winkler et al., 2020) induisant une grande variabilité intersujet et diminuant ainsi leur pouvoir de discrimination(Moulin et al., 2017).

De nouvelles listes équilibrées selon des critères psycholinguistiques, acoustiques et psychométriques ont depuis été élaborées (Moulin, 2019). Nous proposons ici de comparer l'évolution des résultats d'intelligibilité dans le bruit des nouvelles listes et des listes de Fournier sur une population de sujets appareillés.

Matériel et Méthode

Population

Un groupe composé de 57 patients appareillés depuis plus d'un an a été testé lors du rendez-vous de contrôle habituel dans un centre de prothèses auditives. Dans le détail, 18 patients portent des appareils auditifs depuis un an seulement, 19 patients entre deux et quatre ans et 20 depuis plus de quatre ans. Chaque sujet porte ses aides auditives pendant une longue partie de la journée (durée moyenne de port : 10 heures par jour (SD= 3,4)).

L'âge moyen du groupe est de 71 ans (+/- 5) avec une perte auditive moyenne mesurée sur la meilleure oreille de 44 dB HL (+/- 8). Tous les patients intégrés à l'étude avaient le français comme langue principale et présentaient une perte auditive symétrique. Afin de limiter toute implication de troubles cognitifs dans les résultats, les patients ont tous été préalablement soumis au test MOCA adapté aux malentendants et un score supérieur à 18/30 était requis pour être inclus dans l'étude.

Listes de mots

Afin de comparer l'influence du matériel vocal sur les résultats d'intelligibilité retrouvés, deux types de listes de mots ont été choisis : les listes de mots dissyllabiques de Fournier et les nouvelles listes de mots dissyllabique de Moulin. Composées de 10 mots dissyllabiques, les listes de Fournier constituent le matériel vocal aujourd'hui le plus fréquemment utilisé dans le cadre d'une adaptation auditive. Pratique d'utilisation, elles présentent cependant un champ lexical désuet avec certains mots de moins en moins connus par les patients testés (Saindoux, Forban…). De plus la grande variabilité intermots et interlistes qu'elles présentent (Moulin et al., 2013) ne permet pas de s'approcher au mieux de la mesure des capacités d'intelligibilité du patient appareillé.

Les nouvelles listes de mots dissyllabiques de Moulin (Moulin, 2019) sont aussi composées de 10 mots, mais en s'appuyant sur des bases de données lexicales informatisées le choix de chaque mot dans la liste a été effectué dans le souci de respecter l'équilibre en termes de nombre de voisin phonologique et de fréquence d'occurrence des mots en prenant en compte le vocabulaire actuel.

Dispositif expérimental

Une tâche d'intelligibilité dans le bruit a été réalisée. Les listes de mots (anciennes et nouvelles) sont diffusées à intensité fixe de 60 dB SPL et l'intensité du bruit cocktail party varie selon 2 rapports signaux sur bruit : SNR 0 et SNR +3.

Le choix des listes a été randomisé entre les patients et les conditions. Deux listes de dix mots pour chaque type de listes ont été choisies au hasard pour chaque patient, et l'ordre de présentation a été randomisé. L'installation comprenait deux haut-parleurs fixés à 1,5 mètre et chacun à 60° du sujet délivrant à la fois des mots et du bruit. (Figure 37) À la fin de chaque liste de mots, le patient était invité à auto évaluer son effort d'écoute pendant la tâche, à l'aide d'une échelle visuelle analogique de 0 à 10. (Figure 38). Les scores en pourcentage ont été obtenus pour les mots entiers, les syllabes et les phonèmes.

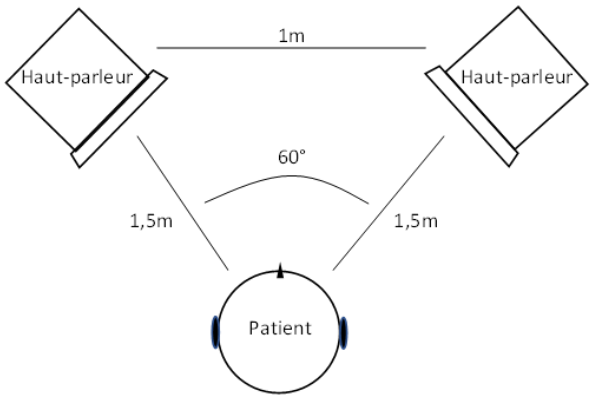


Figure 37 : configuration expérimentale.

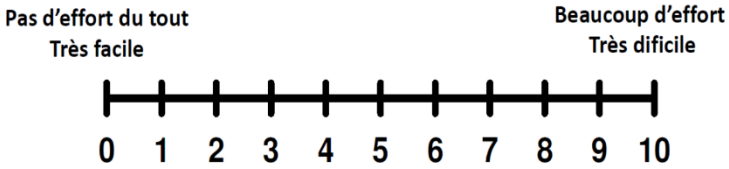


Figure 38 : Échelle visuelle analogique présentée à la fin de chaque liste testée.

Enfin, pour quantifier le niveau de suppléance mentale générée pour chaque liste de deux mots, le facteur J (Boothroyd and Nittrouer, 1988) a été utilisé comme indice d'influence contextuelle. Le facteur J est obtenu en divisant le log (Score par phonème) par le log (Score

par mot). La suppléance mentale calculée augmente lorsque le facteur J se rapproche de 1.

Niveau de vocabulaire

Plusieurs études (Benichov et al., 2012; Carroll et al., 2016a) réalisées sur des personnes âgées ayant une audition normale suggèrent une forte implication du niveau de vocabulaire dans l'exécution d'une tâche de reconnaissance de la parole dans le bruit. Pour évaluer le niveau de vocabulaire, chaque patient a passé le test de vocabulaire de Mill-Hill(Deltour, 2007) détaillé précédemment.

Analyse

La population a été divisée en deux groupes selon la médiane de la perte auditive moyenne de la meilleure oreille : le groupe des fortes pertes auditives (FPA) composé de 29 individus et le groupe des pertes modérées (PAM) composé de 28 individus (fig. 39). Cette distinction a permis de comparer la sensibilité à la perte auditive des deux types de listes par une mesure de taille d'effet (d de Cohen), en utilisant ainsi une méthodologie similaire à celle de Schlauch et al. (2014) et Moulin et al. (2017).

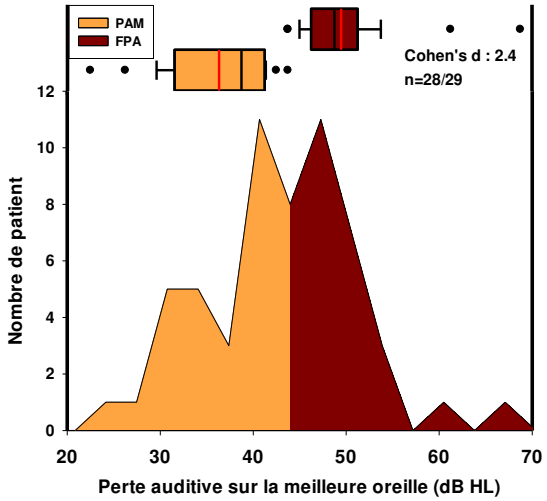


Figure 39 : Répartition des pertes auditives sur la meilleure oreille dans la population testée, en deux groupes : un groupe de forte perte auditive (FPA) en rouge foncé, et un groupe de perte auditive modérée (PAM) en orange. Les moyennes sont représentées par une ligne rouge et la médiane par une ligne noire dans les tracés de la boîte à moustaches.

Les différences de score d'intelligibilité présentées en nombre de mots, de phonèmes et de syllabes ont été analysées par le biais d'un test des rangs signés de Wilcoxon. Une analyse de corrélation de Spearman entre les scores obtenus pour chaque liste et le niveau de

vocabulaire mesuré par le questionnaire Mill Hill a été effectuée, ainsi que pour les scores de chaque liste et la perte auditive mesurée.

Enfin, un test Student a été utilisé pour comparer les scores obtenus à la mesure d'effort d'écoute par l'échelle visuelle analogique pour les deux types de listes ainsi que pour l'indice de suppléance mentale calculé pour les deux types de listes.

Résultats

Les scores moyens d'intelligibilité pour les deux types de listes sont présentés figure 40. Les nouvelles listes ont montré des scores significativement inférieurs aux listes de Fournier (score Fournier = 43,42 (+/- 21,5)) ; (Score Moulin = 27,46 (+/- 14,5) ; W= 1217, p<0.001). Des différences significatives similaires ont été obtenues avec les scores des syllabes (score Fournier = 50,57 (+/- 21,8)) ; (Score Moulin = 36,80 (+/- 16,9) ; W= 1218, p<0.001) et des phonèmes (score Fournier = 56,7 (+/- 21,1)) ; (Score Moulin = 45,74 (+/- 17,25) ; W= 1274, p<0.001). On note aussi une moindre variabilité intersujets, mise en évidence par un intervalle interquartile inférieur, pour les nouvelles listes par rapport aux listes de Fournier.

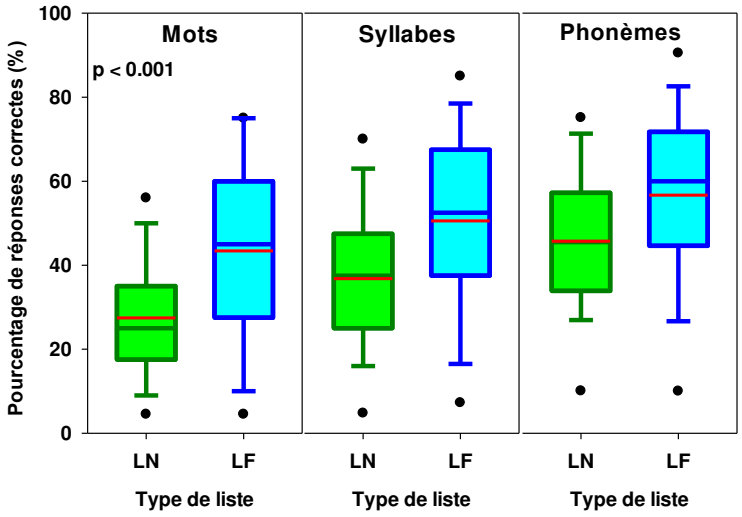


Figure 40 : Boites à Moustaches des scores pour les deux types de listes (LN : Liste Nouvelles et LF : Listes de Fournier). Les lignes rouges représentent la moyenne.

Le calcul de l'indice de suppléance mentale (facteur J) pour les deux types de listes est présenté figure 41, on remarque une influence contextuelle significativement moins importante sur les nouvelles listes par rapport aux listes de Fournier (Facteur J Moulin= 1,2 (+/- 0,2) ; Facteur J Fournier= 1,1, (+/- 0,12) ; t (53)= 4,62, p<0.001). Cependant, cette différence de suppléance mentale entraine un plus grand effort d'écoute puisque l'effort d'écoute

perçu par le biais d'échelles visuelles analogiques présente un effort significativement supérieur pour les nouvelles listes (Effort Moulin= 7,4 (+/- 1,8)) ; (Effort Fournier= 6,07 (+/- 2,3) ; t (56)= 5,40, p<0,001) (figure 29).

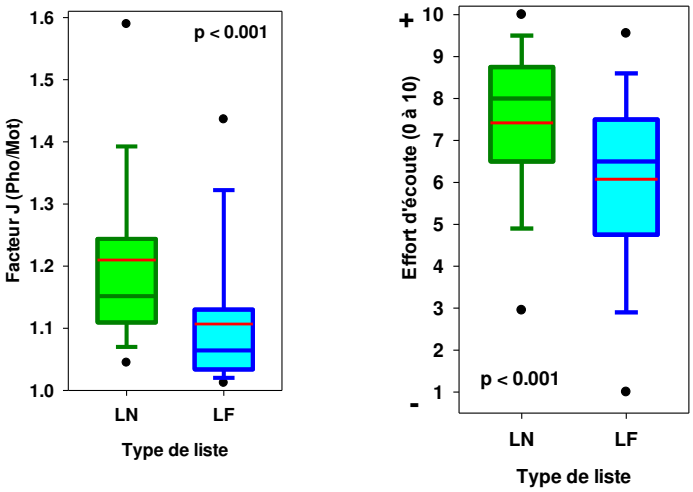


Figure 41 : Indice de suppléance mentale (facteur J) à gauche pour les deux types de listes et effort d'écoute autodéclaré mesuré avec l'échelle visuelle analogique à droite pour les deux types de listes.

L'analyse de corrélation des scores d'intelligibilités avec le niveau de vocabulaire mesuré par le test de Mill Hill (figure 42) met avant un lien significatif uniquement avec les listes de Fournier. Plus le niveau de vocabulaire augmente plus les scores retrouvés avec les listes de Fournier sont bons (r=0.3 ; p<0.03) avec une différence significative entre les coefficients de corrélation obtenus avec les listes de Fournier et les coefficients obtenus avec les nouvelles listes.

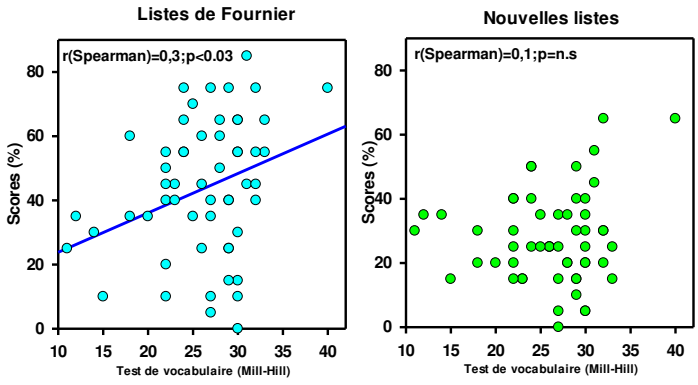


Figure 42 : Corrélations entre les scores de mots et le test de vocabulaire de Mill Hill pour les deux types de listes.

Enfin, les scores retrouvés pour les deux groupes de perte : le groupe des fortes pertes auditives (FPA) et le groupe des pertes

modérées (PAM) sont présentés figure 43. On remarque des scores sensiblement plus faibles pour les groupes de perte auditive sévère pour les deux types de listes, observation confirmée par l'analyse de corrélation qui retrouve une corrélation significative entre la perte auditive mesurée sur la meilleure oreille et les scores retrouvés pour les listes de Fournier (r= -0,46 ; p<0.0005) et les nouvelles listes (r= -0,45 ; p<0.000).

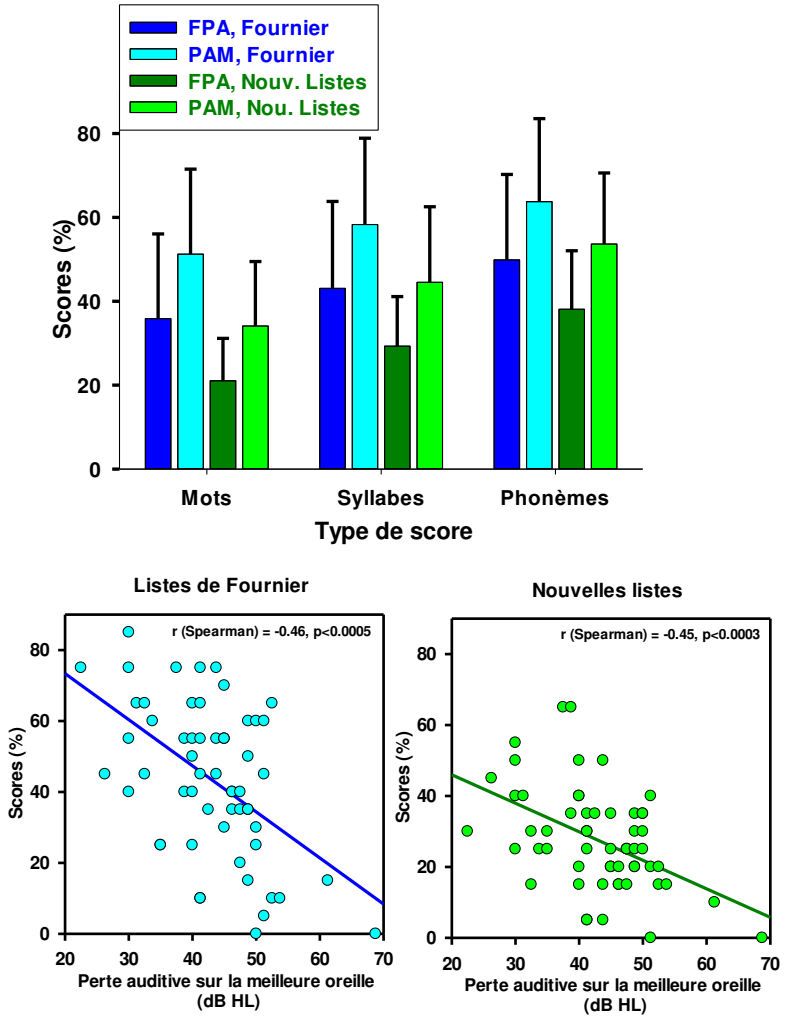


Figure 43 : Scores pour les deux groupes de patients répartis par perte auditive (FPA et PAM), pour les deux types de listes (en haut) et corrélations entre les scores de mots et la perte auditive moyenne sur la meilleure oreille obtenue pour les deux listes (en bas).

La mesure de taille d'effet (d de Cohen) des deux types de listes sur les scores retrouvés pour les différents groupes de perte présentés figure 44 confirme un pouvoir de discrimination plus grand pour les nouvelles listes, d de Cohen moyen =0,57 pour les listes de Fournier contre 0,96 pour les nouvelles listes.

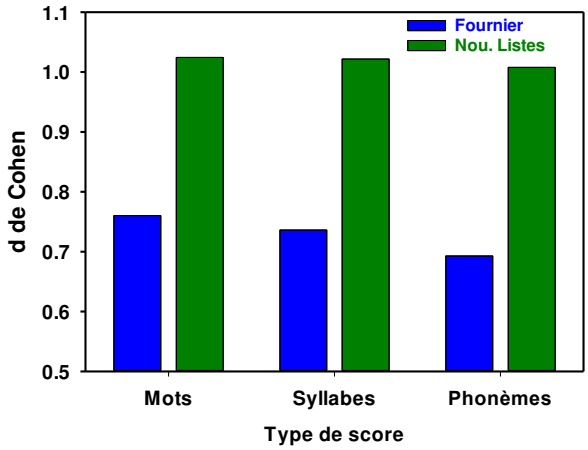


Figure 44 : Corrélations entre les scores de mots et la perte auditive moyenne sur la meilleure oreille obtenue pour les deux listes.

Discussion

Les plus faibles scores retrouvés pour les nouvelles listes confirment le principe de conception établi pour ces listes dont le choix des mots a été effectué en prenant en compte des critères psycholinguistiques, acoustiques et psychométriques, rendant les nouvelles listes plus dépendantes à la perception de chaque phonème (Moulin et al., 2019) et limitant la suppléance mentale mesurée.

En limitant ainsi les effets de la suppléance mentale, les scores obtenus avec les nouvelles listes créées permettent de se rapprocher plus finement de l'audibilité du patient testé. Outre la corrélation à la perte auditive sur la meilleure oreille retrouvée pour les deux types de listes, la plus grande discrimination observée par les mesures de taille d'effet (d de Cohen) avec les nouvelles listes confirme cette idée. En se rapprochant des capacités auditives du patient appareillé, les nouvelles listes permettent de limiter les mécanismes de type « Top Down » impliqués dans la compréhension (Stenfelt and Rönnberg, 2009), limitant par la même occasion l'influence des facteurs cognitifs dans la compréhension du mot.

Dans le modèle théorique de compréhension du langage (ELU), Rönnberg et al., (2013) rappellent l'implication de la mémoire à court terme, épisodique et sémantique pour créer du sens au message sonore perçu en faisant appel à notre lexique interne. De par ses principes de construction, les nouvelles listes limitent l'implication du vocabulaire sur les résultats retrouvés comme l'attestent les corrélations mesurées pour les deux types de listes avec les scores mesurés au test du Mill Hill. En limitant cette implication du

vocabulaire dans les résultats mesurés, les nouvelles listes limitent aussi le recourt à la mémoire à long terme pour compenser le déficit perceptif.

Cependant, cette limitation d'accès au mécanisme de la suppléance mentale créée par les nouvelles listes ne se fait pas sans effort puisque l'on retrouve un effort d'écoute subjective perçue plus important avec le nouveau matériel vocal. Cet effort plus soutenu peut s'expliquer par la mise en œuvre de ressources attentionnelles auditives plus importantes dans le cadre des nouvelles listes afin d'obtenir le plus d'informations du message sonore perçu puisque le recourt à la suppléance s'avère plus limité.

Cependant, l'effet de l'âge de la population testée peut aussi expliquer en partie les différences retrouvées. En effet, plusieurs études ont montré l'implication de l'âge dans le niveau de vocabulaire retrouvé(Bopp and Verhaeghen, 2005; Carroll et al., 2016b). Comparativement aux listes de Fournier créées dans les années 1950, les nouvelles listes ont été conçues en respectant la fréquence d'occurrence actuelle des mots choisis (Moulin et al., 2019) or certains mots plus récents, issus des nouvelles listes, ont pu mettre en difficulté la population de patients âgés testés dans l'étude.

Par ailleurs, les listes de Fournier étant très utilisées dans le cadre d'une pratique clinique dans les laboratoires d'audioprothèse ainsi que dans les cabinets d'ORL, les patients testés étaient sans doute déjà habitués à certaines listes de mots avant la passation du test, ce qui a donc pu faciliter la mise en place de mécanismes de suppléance mentale et limiter l'effort d'écoute perçu.

Conclusion

Cette étude confirme la plus grande dépendance des listes de Fournier à la suppléance mentale et aux connaissances lexicales du patient par rapport aux listes nouvellement conçues.

En réduisant la variabilité rencontrée avec les listes de Fournier sur le plan de la suppléance mentale, les nouvelles listes créées permettent ainsi de se rapprocher au plus près d'une mesure d'audibilité chez le sujet appareillé. Cependant, elles engendrent aussi un effort d'écoute chez le patient plus important lors des phases de test qui n'est pas à négliger.

Comme nous venons de le montrer, l'élaboration d'un matériel vocal visant à réduire les effets du mécanisme de suppléance mental dans les scores d'intelligibilité retrouvés n'est pas sans conséquence. En sélectionnant au mieux les mots selon des critères psycholinguistiques, acoustiques et psychométriques, les mécanismes cognitifs de type « top-down » s'avèrent grandement réduits au prix d'une augmentation importante de l'effort d'écoute. Ainsi pour s'affranchir au mieux des mécanismes cognitifs mis en jeu lors d'une tâche d'intelligibilité, l'utilisation d'un matériel vocal équilibré comme les nouvelles listes de Moulin reste insuffisante.

Afin de limiter les effets de suppléance mentale et de réduire l'impact du test sur les ressources cognitives allouées, nous avons utilisé par la suite le test Audimage.

b. Un outil de mesure de l'intelligibilité dans le bruit pour s'affranchir au mieux de l'état cognitif du patient : le test AUDIMAGE.

Le test Audimage est un test d'audiométrie vocale à choix forcé, présenté sous forme d'images. Ce test construit d'après le test britannique « FAAF » (Foster and Haggard, 1987) est implémenté sur une tablette informatique. Un mot est envoyé dans les oreilles du patient (avec un casque, ou par haut-parleur), et 4 images sont affichées en même temps. Le sujet doit choisir l'image qui correspond le plus au mot perçu.

L'ajout d'une composante visuelle sous forme de dessin permet de s'affranchir en grande partie de la suppléance mentale, mais aussi de la nécessité de savoir lire, de la nécessité de pouvoir prononcer et parler facilement. De plus, les images et la présentation sous forme de jeu sur une tablette informatique présentent un effet motivant, aussi bien pour les patients avec des troubles cognitifs importants que pour les enfants prélecteurs. Une première étude préliminaire du test chez des enfants dyslexiques (Ginzburg J. et al., 2019) a d'ailleurs montré des résultats encourageants.

Dans le détail, le test Audimage est composé de 48 ensembles de 4 mots. Dans la moitié de ces ensembles, les 4 mots sont phonologiquement proches, rendant la perception difficile, et dans l'autre moitié, les mots sont phonologiquement éloignés, rendant la perception facile. Le test Audimage peut s'effectuer dans le silence, mais aussi dans le bruit, permettant d'obtenir un score d'intelligibilité dans le bruit lié le plus possible aux capacités auditives du patient testé et s'affranchissant au mieux des afférences cognitives et de vocabulaire.

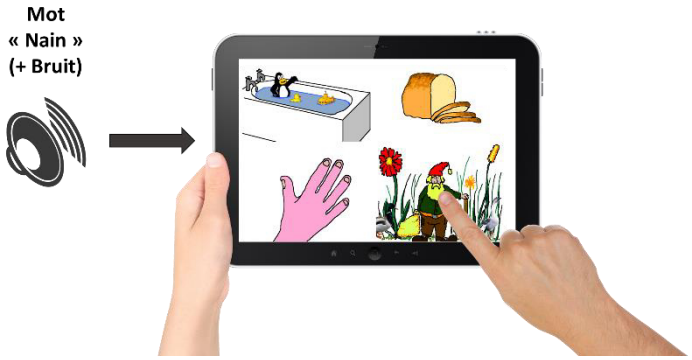


Figure 45 : Principe du test d'audiométrie vocale à choix forcé, présenté sous forme d'images : Audimage.

Ayant d'un côté des tests cognitifs adaptés à la perte auditive du patient malentendant et de l'autre, un test d'intelligibilité dans le bruit permettant de s'affranchir au mieux des afférences cognitives et de vocabulaire, l'exploration du lien entre capacité cognitive et intelligibilité dans le bruit chez les patients porteurs d'aides auditives constitue la suite logique de l'expérimentation. Elle sera d'ailleurs présentée ci-dessous.

c. Implication des facteurs cognitifs dans les scores d'intelligibilité dans le bruit mesurés chez une population de patients appareillés en lien avec l'effort d'écoute.

Introduction

La mémoire à court terme est définie comme la mémoire permettant un maintien temporaire (quelques secondes) de l'information (par exemple, de nous rappeler les premiers mots d'une phrase alors que l'on en écoute la fin). Elle est par conséquent très liée à la compréhension de la parole. Comme décrit précédemment, on distingue la mémoire à court terme de la mémoire de travail (Cowan, 2008) par le maintien temporaire et la manipulation mentale de l'information retenue.

Cette mémoire de travail est le plus souvent explorée, en audiologie, par le test d'empan de lecture : Reading span test (Daneman and Carpenter, 1980; Desmette et al., 1995) et par le rappel d'un nombre de plus en plus important de chiffres (digit recall test)(Dawes et al., 2015; Lin et al., 2013b), ou, plus rarement, par le test des cubes de Corsi (mémoire visuospatiale)(Fournier and Albaret, 2013). Des travaux menés sur des normoentendants(Gordon-Salant and Cole, 2016b) et sur des malentendants(Arehart et al., 2013; Souza and Arehart, 2015) ont montré un lien entre les capacités de perception de la parole dans le bruit et les capacités de cette mémoire de travail. Des recherches plus récentes plaident en faveur de l'exploration de cette mémoire

de travail en audioprothèse afin d'intégrer les capacités de mémoire de travail des patients dans les algorithmes de traitement du signal des aides auditives (Arehart et al., 2013; Lunner et al., 2009; Souza et al., 2015; Souza and Sirow, 2014).

Cependant, aucun de ces 2 tests couramment utilisés ne fait uniquement appel à la mémoire à court terme auditive. Le test d'empan de lecture faisant appel à de la lecture de phrases, la tâche peut s'avérer difficile à réaliser pour certaines personnes âgées, et la double tâche cognitive imposée par le texte (lecture et expression orale du dernier mot) sous-estime l'implication de la mémoire de travail. À l'inverse, le test de rappel de chiffres fait appel à des stimuli auditifs, mais le rythme de présentation de ces stimuli auditifs est variable d'un examinateur à l'autre, et ne tient pas compte des spécificités de certains patients, particulièrement entrainés à la visualisation mentale de chiffres, qui obtiennent par conséquent des scores largement surestimés de leur mémoire de travail. Afin d'éviter ces problèmes, nous proposons d'utiliser le test MCT décrit auparavant (Caclin and Tillmann, 2018) et qui permet d'explorer la mémoire à court terme en s'affranchissant de la manipulation des informations au sein de la mémoire impliquée par les tests de mémoire de travail.

Ce test sera complété d'une audiométrie vocale dans le bruit dont la conception a été envisagée pour limiter les afférences cognitives et de vocabulaire (Audimage). Afin de tester l'implication des autres fonctions cognitives dans la compréhension de la parole dans le bruit chez le sujet appareillé, un test cognitif global ainsi qu'un test de niveau de vocabulaire viendront compléter l'étude.

Matériel et méthode

Critères d'inclusion

L'ensemble des patients appareillés d'un centre d'audioprothèse pouvait participer à l'étude, à condition de ne pas présenter de troubles visuels ou cognitifs majeurs et d'avoirt un niveau de français suffisant pour comprendre les consignes et les mots présentés lors des tests.

Afin de contrôler le niveau de perte auditive des patients intégrés dans le protocole, chaque individu de l'étude a été invité à passer une évaluation audiométrique complète. D'abord un audiogramme tonal et vocal utilisant les listes dissyllabiques de Fournier. Puis, une mesure du seuil prothétique tonal et vocal après un contrôle du bon fonctionnement des aides auditives. Cette mesure des seuils prothétiques a été effectué à la suite de l'adaptation des aides

auditives pour les patients nouvellement appareillés ou lors d'un contrôle pour les patients appareillés depuis plus d'un an.

Questionnaire

Afin d'établir un état des lieux précis de l'environnement sonore perçu au quotidien par les patients appareillés intégrés dans l'étude, le questionnaire EEAS d'effort d'écoute ainsi que le questionnaire SADL-F validés tous les deux dans ce travail de thèse ont été soumis aux patients de l'étude. Ces deux échelles ont été complétées par le questionnaire d'habileté auditive 15iSSQ (Moulin et al., 2019a) dont les résultats, comme pour les deux autres questionnaires, seront croisés avec les autres tests effectués.

Tests cognitifs

Pour ne pas rallonger le temps de passation du protocole et ne pas trop fatiguer les patients âgés inclus dans l'étude, un choix restreint sur l'ensemble des tests cognitifs applicables aux malentendants déjà présentés a été effectué.

Afin de mesurer l'état cognitif général de la population, les patients ont tous été invités à passer le Montreal Cognitive Assessment test (MoCA) (Ziad S. Nasreddine et al., 2005) dont les caractéristiques et l'adaptation faite aux malentendants a été présenté précédemment. En plus d'obtenir un score correspondant à un niveau cognitif global, les sous-sections du MOCA renseignent également sur les capacités attentionnelles, de mémoire et les fonctions exécutives des sujets testés.

La mémoire à court terme (MCT) étant fortement impliquée dans les capacités d'intelligibilité dans le bruit (Gordon-Salant and Cole, 2016b; Mattys et al., 2012; Zekveld et al., 2013) afin de la mesurer nous proposons d'utiliser le nouveau de test de mémoire à court terme présenté précédemment et visant à mesurer la MCT du sujet sous 3 modalités : musicale, verbale et visuelle. Après une première étude pilote réalisée au laboratoire sur quelques patients, un délai de 2 secondes a été choisi entre deux stimuli, car c'est le délai qui semble être le plus discriminent dans les performances retrouvées. Cependant, un test supplémentaire avec un délai d'une seconde a aussi été ajouté pour la modalité musicale afin de vérifier l'impact des délais choisis sur les résultats.

Outre les capacités cognitives, le niveau de vocabulaire est fortement impliqué dans les réalisations d'une tâche d'intelligibilité dans le bruit (Carroll et al., 2016b; Kaandorp et al., 2017). Afin de mesurer le niveau de vocabulaire de chaque patient, la partie B du test de Mill

Hill a été utilisée, il s'agit d'un QCM mis au point en Angleterre en 1943-1944 et adapté en français par Raven en 1998, dont les caractéristiques ont aussi été précisées précédemment.

Test d'intelligibilité dans le bruit

Afin de s'approcher au plus près de l'audibilité du patient, le test Audimage présenté précédemment, était le plus approprié. Il a été effectué une fois dans le silence et une autre fois dans le bruit avec l'ajout d'un bruit de type cocktail party. Le niveau de bruit du cocktail variait afin d'obtenir un SNR allant -6 à + 6 permettant de dériver la courbe psychométrique et de mesurer le seuil de reconnaissance vocale (SRT). Deux conditions ont été testées : avec et sans prothèses auditives.

Configuration expérimentale et passation des tests MCT et Audimage

Pour les tests de mémoire à court terme (MCT), le patient est assis face à 2 haut-parleurs placés à 60 degrés et à un mètre de lui (Figure 46). La calibration des haut-parleurs a été faite à l'aide d'un sonomètre pour qu'ils délivrent une intensité 60 dB SPL au niveau de sa tête lors de chaque test. Un marquage a été placé pour s'assurer que les haut-parleurs soient toujours à même distance et à même intensité pour chaque patient. Ce niveau d'intensité a été choisi car il correspond à un niveau sonore de la voix moyenne dans le calme.

Les trois modalités de test, visuelles, verbales et musicales sont présentées dans une seule application sur la tablette tactile. Chaque modalité est composée de 24 items et avant d'exécuter la version test, une démonstration composée de 4 items est proposée au sujet pour s'entrainer. L'ordre de passage des modalités est aléatoire pour tous les patients.

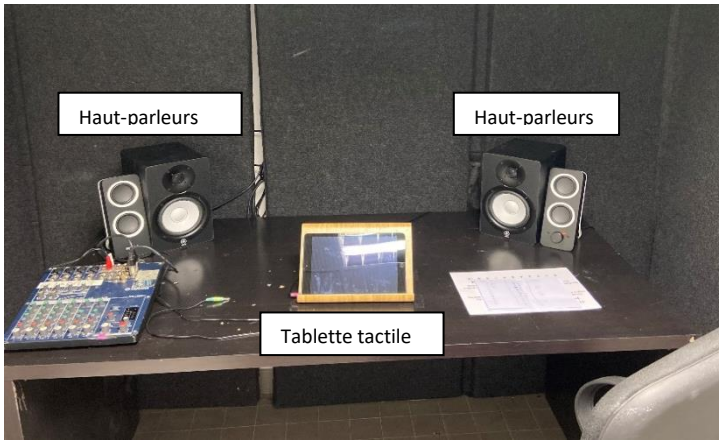


Figure 46 : Configuration expérimentale pour la passation des tests MCT et Audimage.

Concernant la modalité visuelle, le patient voit apparaître deux formes sur l'écran de la tablette dont l'une vient à la suite de l'autre. Leur visualisation est séparée par un intervalle de temps de 2 secondes. Il devra faire attention à leurs aspects, mais aussi à la vitesse de leurs mouvements. Après les avoir observés et comparés, deux cases situées en bas de la tablette indiqueront si les formes étaient identiques ou différentes afin que le patient sélectionne la case qui lui semble adaptée à la situation.

En conservant le même principe pour la modalité verbale, le patient entend une série de 5 syllabes puis une autre série de 5 syllabes. Les deux séries étant aussi séparées par un intervalle de temps de 2 secondes. De manière similaire, il devra ensuite les comparer. Enfin, pour les modalités musicales, le patient entend 2 séries de 5 notes de musique séparées là aussi par un intervalle de temps de 2 secondes, mais aussi de 1 seconde afin de tester l'influence du délai sur la modalité musicale.

Reproductibilité

Au bout d'un mois, les tests Audimage et MCT sont soumis de nouveau aux patients. Les intensités choisies à l'Audimage pour le premier test sont reprises pour les mots.

Analyse

Du fait du nombre de données suffisant pour appliquer une analyse avec des tests paramétriques, une analyse de la variance pour comparer les différences de score au test MCT et Audimage a été réalisée. De plus, une analyse de corrélation de Pearson pour la reproductibilité et pour le lien avec les facteurs externes a été effectuée. Afin d'identifier d'éventuels facteurs prédictifs du score d'intelligibilité dans le bruit mesurée avec l'audimage, une régression linéaire multiple à été réalisée.

Résultats

Population

Trente patients appareillés et d'âge moyen 78 ans (+/- 11), avec des pertes auditives allant de 22 à 77 dB HL ont participé à l'étude. On retrouve dans le tableau 11, les caractéristiques de la population testée. Les patients sont majoritairement appareillés en binaurale et avec un système de type RIC (Récepteur in the canal), ce qui correspond à la majorité des appareillages en France(Ruf and Egger, 2018).

Nombre participants	30	
Age (en années)	**moyen**	78(± 10.3)
	Minimum	58
	Maximum	98
Répartition hommes / femmes	**Femme**	24
	Homme	6
Perte auditive moyenne sur la meilleur oreille (moyenne des seuils 500,1000,2000,4000 Hz en dB HL)	53.02 (± 14.4)	
Répartition des appareillages	**Binaural**	28
	monaural droit	1
	monaural gauche	1
Différents types d'appareils	**RIC**	28
	INTRA	0
	BTE	2
Différentes gammes d'appareils	**Gamme 1**	12
	Gamme 2	7
	Gamme 3	6
	Gamme 4	2
	Gamme 5	3

Tableau 11 : Population d'étude sur l'implication des facteurs cognitifs dans la perception de la parole dans le bruit du sujet appareillé.

Test Moca et vocabulaire

Les scores au test Mill Hill et MOCA sont présentés figure 36. On remarque un niveau de vocabulaire élevé sur l'ensemble des participants avec un score moyen de réponse correcte de 82 % (+/- 15 %). Un seul sujet présente un niveau de score en dessous de 40 % avec un score total au MOCA de 16/30 laissant supposer la présence de troubles cognitifs importants. À l'inverse, un seul patient présente un score à 100 %. Concernant le score total au test MOCA, la population testée présente un haut niveau d'aptitudes cognitives avec un score moyen de 22,68 points (+/-3,57), seuls deux patients

présentent des scores en dessous de 18, synonyme de faibles aptitudes cognitives. Dans le détail des différentes sous échelles du MOCA présentées figure 48, on constate un effet plateau concernant la dénomination et l'orientation et la section de rappel des mots est celle qui présente le plus de variabilité dans les résultats (+/- 35 %).

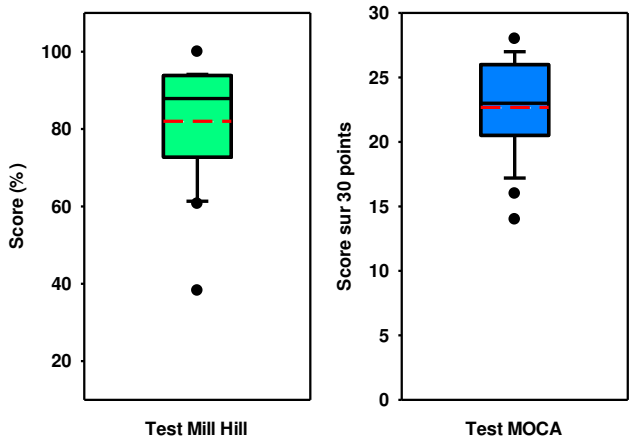


Figure 47 : Scores en pourcentage du test de vocabulaire Mill Hill et Score total sur 30 points du test MOCA (un score supérieur ou égal à 26/30 correspondant à l'absence de trouble cognitif, entre 26 et 15 à un déficit cognitif léger et en dessous de 15 à un déficit cognitif important).

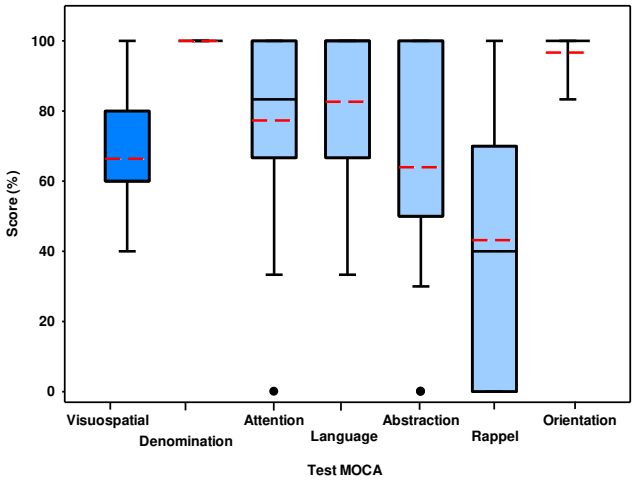
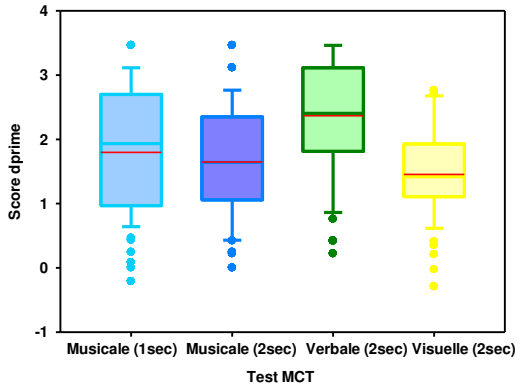


Figure 48 : Scores en pourcentage pour chaque section du test MOCA

Test MCT

Les scores obtenus au test MCT et les corrélations associées sont présentées figure 49. On constate une corrélation significative entre les scores obtenus pour la modalité musicale (1sec) et musicale (2sec) ($r=0.78$, $p<0.001$), mais aussi pour la modalité musicale (1sec) et verbale (2sec) ($r=0.52$, $p<0.001$) et entre la modalité musicale (2sec) et verbale (2sec) ($r=0.45$, $p<0.001$). En revanche, pour la modalité visuelle aucune corrélation significative n'est retrouvée entre la modalité verbale ($r=-0.009$; $p>0,5$) et musicale (2sec) ($r=-0.02$; $p>0,5$). Étonnamment, seule une corrélation significative est retrouvée avec la modalité musicale à 1 sec ($r=-0.12$; $p<001$). Face à ce manque de cohérence dans les résultats obtenus avec la modalité visuelle, le reste de l'analyse a été effectué sur les modalités verbales et musicales uniquement.

On retrouve des scores significativement meilleurs pour la modalité verbale avec un score moyen de 2,35 (+/-0,93) contre 1,79 (+/-0,97) pour la modalité musicale 1 seconde et 1,64 (+/-0,91) pour la modalité musicale 2 secondes ; $F(2,102)= 5,87$; $p=0,004$; confirmé par l'analyse de contraste entre les modalités musicales (1sec) et verbales ; d de Cohen =-0,59 ; p= 0,042 et entre les modalités musicale (2sec) et verbale ; d de Cohen =-0,77 ; p= 0,004.



*p < 0;05 **p < 0.01 ***p < 0.001	MCT Musicale (1sec)	MCT Musicale (2sec)	MCT Verbale (2sec)	MCT Visuelle (2sec)
MCT Musicale (1sec)	–			
MCT Musicale (2sec)	0.78***	–		
MCT Verbale (2sec)	0.52***	0.45***	–	
MCT Visuelle (2sec)	-0.12***	-0.02	-0.009	–

Figure 49 : Scores (dprime) pour les différentes modalités du test MCT et corrélation entre les différentes modalités.

L'effort subjectif mesuré par l'échelle visuelle analogique (figure 50) semble encourager ces résultats, avec un effort perçu plus

faible pour la modalité verbale ; (F (2,99)= 3,79 ; p=0,026 ; confirmé par analyse de contraste entre les modalités musicales (1sec) et verbales ; d de Cohen =0,66 ; p= 0,019). Par ailleurs, l'analyse de corrélation menée entre les scores au test MCT et l'effort d'écoute mesuré par l'échelle visuelle analogique fait apparaitre une corrélation négative significative entre l'effort autoévalué et les scores d'prime pour la modalité verbale (r= -0,62 ; p<0,001) et musicale (1sec) (r= -0,25 ; p= 0,006) (Figure 40). Plus les scores au test MCT pour les modalités verbales et musicales augmentent, plus l'effort d'écoute perçu après le test diminue.

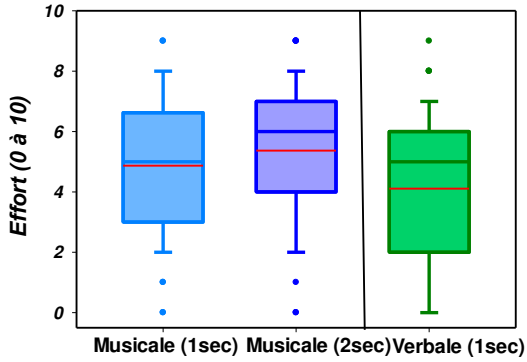


Figure 50 : Effort subjectif perçu pour chaque modalité mesurée par l'échelle visuelle analogique, pour la MCT musicale (1 et 2 secs) et verbale

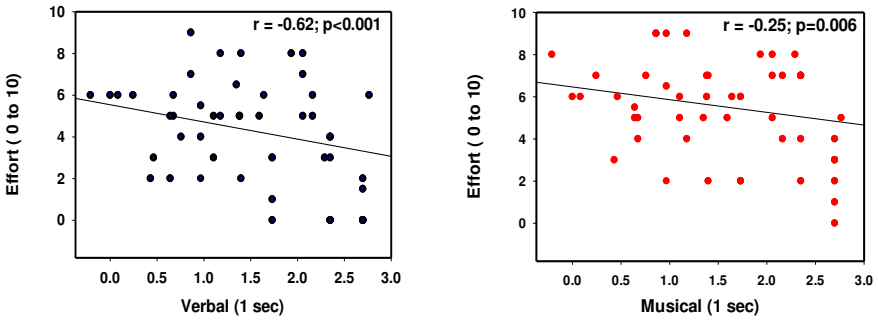


Figure 51 : Nuage de point entre effort subjectif mesuré par l'échelle visuelle analogique et les scores obtenus pour la MCT musicale (1 sec) et verbale (2 secs).

Audimage

Les résultats du test Audimage dans le bruit par le biais du score SRT (Speech Recognition Threshold) calculé pour chaque patients sont présentés figure 52 pour les deux types de séries : facile et difficile. On remarque un avantage significatif pour la série facile avec un SRT moyen de -3,79 (+/- 3,24) contre un SRT moyen 0.48 (+/- 3,65) pour la série difficile (F (1,29)= 367 ; p<0,001) ; confirmé par analyse de contraste (d de Cohen = -3,50 ; p<0,001). Concernant les

mesures faites avec et sans aides auditives, l'Anova à mesures répétées faite entre les facteurs facile/difficile et présence/absence d'aides auditives n'a montré aucune amélioration significative de l'intelligibilité dans le bruit avec les aides auditives (F (1,29) = 3,71 ; p = 0,06). Cependant, on peut voir que les patients avec les plus mauvais scores de SRT se sont tous améliorés de plusieurs dB (flèches) avec leurs aides auditives.

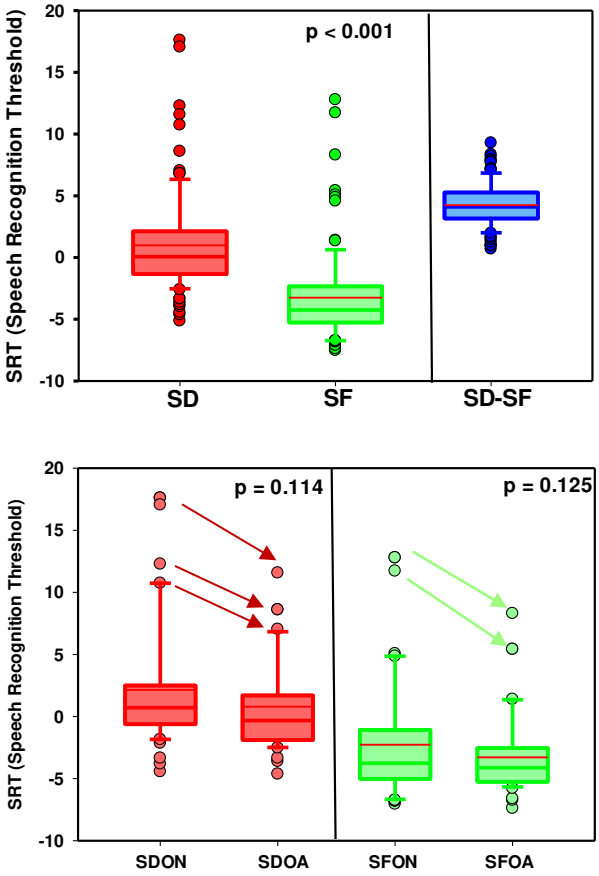


Figure 52 : Seuils SRT retrouvés par le test Audimage dans le bruit pour les deux niveaux de difficulté : série difficile (SD) et série facile (SF) (à gauche) et pour les deux niveaux de difficulté oreilles nues : série difficile oreilles nues (SDON), série difficile oreilles appareillés (SDOA) et série faciles oreilles nues (SFON) et appareillées (SFOA).

L'effort subjectif mesuré par l'échelle visuelle analogique après chaque test est présenté figure 53. On remarque un effort plus important que pour le test MCT avec un effort moyen de 5,91 (+/- 1,6) avec aides auditives et un effort moyen de 6,20 (+/- 1,5) sans aides auditives, mais sans amélioration significative avec les aides auditives (W=0.968, p=0.134). L'analyse de corrélation effectuée entre les scores au test Audimage et l'effort d'écoute déclaré ne présente aucune corrélation significative.

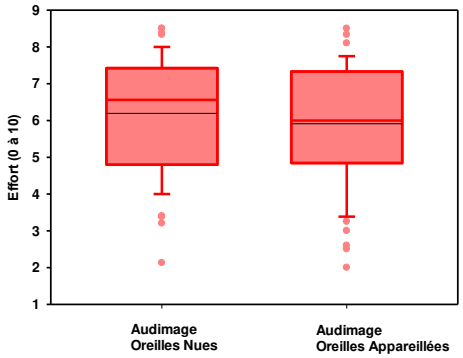


Figure 53 : Effort subjectif perçu après chaque test Audimage avec et sans aides auditives.

Reproductibilité

Sur les 30 patients inclus dans l'étude, 28 ont été testés de nouveau avec les tests MCT et Audimage afin de mesurer leur reproductibilité (figure 54). On remarque une très bonne reproductibilité pour le test Audimage tant pour les séries difficiles (r=0.93 ; p<0.001) que pour les séries faciles (r=0.94 ; p<0.001). Pour le test MCT, la reproductibilité est inférieure au test Audimage avec r= 0,73 ; p<0.001 pour la modalité musicale 1 seconde, r= 0,76 ; p<0.001 pour la modalité 2 secondes et la modalité verbales

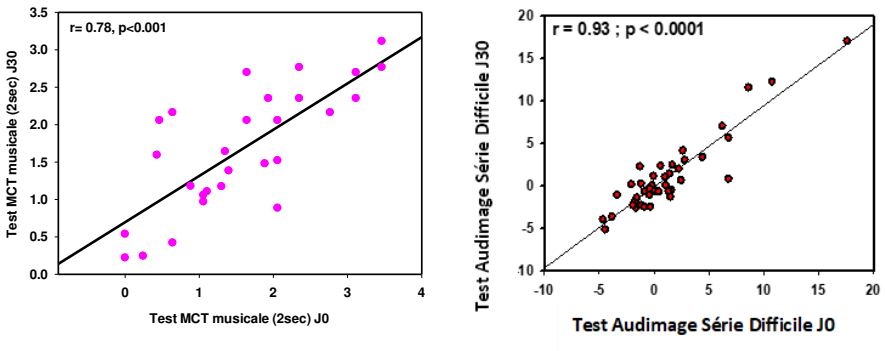


Figure 54 : Nuage de points entre les scores au test MCT musicale (2 secs) à gauche et les tests Audimage sur la série difficile au début de l'étude et au bout d'un mois

Corrélations des scores au test Audimage et MCT avec les facteurs externes

Les corrélations avec l'Audimage

Les différentes matrices de corrélation des scores aux tests MCT et Audimage sont présentées en annexe et les résultats remarquables dans le tableau de synthèse ci-dessous.

*p < 0;05 **p < 0.01 ***p < 0.001	SRT Audimage Oreilles Nues	SRT Audimage Oreilles Appareillées	Perte sur la meilleure oreille	Âge	MCT Musicale (1sec)	MCT Verbale (2sec)	MOCA
SRT Audimage Oreilles Nues							
SRT Audimage Oreilles Appareillées	**0.83*** **						
Perte sur la meilleure oreille	**0.59*** **	**0.53*** **					
Âge	**0.87*** **	**0.79*** **	**0.61*** **				
MCT Musicale (1sec)	**-0.41*** *	**-0.59*** *	0.01	-0.33			
MCT Verbale (2sec)	-0.12	-0.23	0.22	-0.01	**0.65*** **		
MOCA	-0.38	-0.39	-0.34	-0.27	0.16	0.37	
15iSSQ	-0.22	-0.42	-0.12	-0.27	**0.43*** *	0.35	0.25

Tableau 11 : Synthèse des corrélations obtenues entre le test MCT, test Audimage, Mill Hill et MOCA ; les caractéristiques de la population testée et les questionnaires administrés (SADL, EEAS,15iSSQ).

Nous pouvons constater une forte corrélation négative entre les scores de MCT musicale (1sec) et le score au test Audimage oreilles appareillées ($r=-0.59$, $p<0.001$) et oreilles nues ($r=-0.41$, $p=0.003$) : plus les capacités de mémoire à court terme musicale augmentent, plus les seuils SRT de l'Audimage diminuent et les capacités d'intelligibilité dans le bruit s'améliorent. On constate également une corrélation significative similaire pour la modalité musicale 2 secondes ($r=-0.43$, $p<0.001$) excepté pour les résultats au test Audimage oreilles nues. En revanche, aucune corrélation n'a été obtenue entre les scores au test Audimage et la modalité verbale.

Concernant les résultats du test Audimage avec les tests MOCA et Mill Hill, on remarque une corrélation négative non significative entre le niveau cognitif global mesuré avec les tests MOCA et les scores à l'Audimage oreilles appareillées ($r=-0.39$, $p>0.05$). Un résultat similaire, mais plus faible ($r=-0.38$, $p>0.05$) est obtenu avec les scores à l'Audimage oreilles nues. Pour le niveau de vocabulaire, on remarque une plus forte corrélation négative entre les scores au test Audimage avec aides auditives, ($r=-0.49$, $p>0.05$).

À propos des caractéristiques de la population mesurée, les scores du test Audimage corrèlent uniquement avec la perte auditive sur la meilleure oreille ($r=0.56$, $p<0.001$) et l'âge ($r=0.57$, $p<0.001$) : plus la perte auditive et l'âge augmentent, plus les capacités d'intelligibilité dans le bruit diminuent. Pour les autres caractéristiques : âge des aides auditives actuelles, temps de port des aides auditives et le nombre de canaux aucune corrélation significative n'est retrouvée.

Enfin, pour les questionnaires administrés (SADL-F, 15iSSQ, EEAS), une corrélation négative entre les scores au 15iSSQ et les scores au test Audimage oreilles appareillées ($r=0.35$, $p<0.01$) est obtenue notamment pour la sous échelle parole ($r=0.29$, $p=0.03$) et la sous échelle qualité ($r=0.42$, $p=0.001$). Pour le questionnaire SADL, aucune corrélation significative n'est obtenue. Pour le questionnaire EEAS, une corrélation positive entre la sous échelle silence et les scores au test Audimage oreilles appareillées pour les séries difficiles est retrouvée ($r=0.38$, $p=0.006$). Dans le détail, il s'agit des items #EEAS3 (A quel point devez-vous vous concentrer lorsque vous écoutez quelqu'un dans un endroit calme ?), #EEAS6 (Devez-vous faire beaucoup d'efforts pour suivre la discussion dans une classe, pendant une réunion ou une conférence ?), #EEAS8 (Devez-vous faire beaucoup d'efforts pour suivre une conversation au téléphone dans un endroit calme ?). Pour les scores à l'Audimage oreilles nues, aucune corrélation n'est obtenue avec les différents questionnaires. Les questionnaires ayant été complétés par les patients dans la situation avec aides auditives, cela confirme la cohérence des réponses recueillies.

Les corrélations avec le Test MCT

Concernant les corrélations entre les scores au test MCT et les scores au test MOCA, aucune corrélation significative n'est retrouvée pour les 3 modalités. En revanche, le niveau de vocabulaire affecte positivement les résultats de la modalité verbale ($r=0.54$, $p<0.002$) : plus le niveau de vocabulaire est élevé plus les capacités de mémoire à court terme auditive sont bonnes.

Aucune corrélation entre le niveau de perte auditive, le niveau de correction délivrée par l'aide auditive et les résultats au test MCT n'est retrouvée. Des résultats sont observés pour les autres caractéristiques liées à la population testée. Seule une faible corrélation entre le nombre de canaux de l'aide auditive et les scores retrouvés pour la modalité verbale est à noter ($r=0.27$, $p=0.04$). Plus le nombre de canaux de l'aide auditive augmente, plus la finesse

sonore délivrée par l'appareil augmente et plus les scores concernant la modalité verbale augmentent.

Les scores obtenus au questionnaire 15iSSQ influencent positivement les scores obtenus avec la modalité musicale 1 seconde ($r=0.35$, $p<0.01$) et une corrélation à la limite de la significative est retrouvée pour la modalité musicale 2 secondes ($r=0.25$, $p=0.06$). Pour le questionnaire EEAS seul, la sous échelle silence du questionnaire corrèle négativement avec les scores de la modalité musicale 1 seconde ($r=0.27$, $p= 0,04$) et 2 secondes ($r=0.35$, $p=0.008$). Dans le détail, cela concerne les items #EEAS1 (« Devez-vous faire beaucoup d'efforts pour comprendre ce qui se dit au cours d'une conversation avec d'autres personnes dans un endroit calme ? ») et comme pour le test Audimage les items #EEAS6, #EEAS8. Une faible corrélation négative entre le questionnaire SADL et la modalité musicale 1 seconde est retrouvée ($r=-0.39$, $p=0.04$) ainsi que pour la sous échelle effet positif et la modalité verbale ($r=-0.39$, $p=0.04$).

Lien entre effort perçu lors des tests et résultats au questionnaire EEAS

L'effort d'écoute mesuré à l'aide de l'échelle visuelle analogique pour le test Audimage et MCT corrèle significativement pour les 3 modalités : verbale ($r=0.39$, $p<0.001$), musicale 1 seconde ($r=0.49$, $p<0.001$) et musicale 2 secondes ($r=0.43$, $p<0.001$). Plus les patients fournissent un effort d'écoute soutenu pour réaliser le test Audimage, plus ils fournissent un effort tout aussi soutenu pour réaliser les tâches de MCT. En revanche, de faibles corrélations sont retrouvées entre les résultats au questionnaire EEAS et l'effort d'écoute subjective mesurée pour chaque tâche, $r= 0,31$, $p<0.05$ entre les scores EEAS totaux et l'effort à échelle visuelle analogie (EVA) du test Audimage, $r=0.26$, $p<0.05$ entre les scores EEAS totaux et l'effort à échelle EVA du test MCT musicale 1 seconde, la modalité 2 secondes ne présentant pas une corrélation significative, et enfin $r=0.29$, $p<0.05$ entre les scores EEAS totaux et l'effort à échelle EVA du test MCT verbale.

Régression multiple des scores à l'audimage

Les résultats de l'analyse de régression multiple sont présentés tableau 12. Que ce soit oreilles nues ou oreilles appareillées, les scores au test Audimage ont été prédits par 5 facteurs : la mémoire à court terme musicale représentant le principal contributeur (β=-0,66 oreilles appareillées et β=-0,48 oreilles nues, pour la MCT musicale 1seconde), suivi du niveau cognitif global mesuré par le MOCA (β=-0,40 oreilles appareillées et β=-0,39 oreilles nues). Les autres contributeurs (âge, perte auditive, mémoire à court terme verbale) ne sont pas statistiquement significatifs

	Intelligibilité dans le bruit Oreilles Nues					Intelligibilité dans le bruit Oreilles appareillées				
Factors	**Unstandardized**	**Standard Error**	**Standardized**	**t**	**p**	**Unstandardized**	**Standard Error**	**Standardized**	**t**	**p**
(Intercept)	-1.816	7.879		-0.23	0.82	-0.044	5.448		-0.01	0.994
MCTmusicale(1sec)	-1.875	0.876	**-0.476**	-2.14	0.044	-2.102	0.605	**-0.666**	-3.47	0.002
MCTverbale (2sec)	1.899	1.216	0.374	1.562	0.133	1.651	0.841	0.405	1.964	0.063
Perte sur la meilleure oreille	0.035	0.065	0.114	0.545	0.592	0.036	0.045	0.145	0.805	0.43
Age	0.097	0.073	0.261	1.331	0.198	0.055	0.051	0.184	1.087	0.289
MOCA	-0.458	0.223	-0.392	-2.05	0.053	-0.376	0.154	**-0.401**	-2.44	0.024

Tableau 12 : Analyse de régression multiple des scores au test Audimage oreilles nues et oreilles appareillées, en fonction des 5 mêmes prédicteurs (Mémoire à court terme musicale 1 seconde, Mémoire à court terme verbale 2 secondes, Perte sur la meilleure oreille, Âge, Score au test MOCA). Les coefficients β reflètent l'importance relative de chaque prédicteur. (N=30).

Discussion

La grande reproductibilité retrouvée pour le test Audimage confirme la bonne fiabilité du test qui devra être explorée d'une manière plus approfondie par une étude complémentaire. À l'inverse pour le test de MCT la reproductibilité plus faible constatée amène à s'interroger sur le nombre d'items et les délais les plus adaptés pour réaliser le test sur une population de patients âgés appareillés. Cependant, comme pour le test Audimage, le test MCT a été complété par tous les patients. Le temps moyen de réponse par items de 1 min 40 s (+/- 1,26) confirme une prise en main rapide et facile du test.

Les corrélations significatives obtenues entre la mémoire à court terme musicale et les scores d'intelligibilités dans le bruit mesurés par le test Audimage sont en accord avec l'implication spécifique des capacités musicales dans les capacités d'intelligibilité

dans le bruit retrouvées avec un test utilisant un bruit de cocktail party. Dans une étude sur les capacités d'intelligibilité dans le bruit effectuée sur deux groupes de 16 musiciens et 15 non-musiciens, Parbery-Clark et al., (2009) retrouvent de meilleurs résultats pour le groupe des musiciens spécifiquement sur le test de mémoire à court terme et sur un test de perception dans le bruit utilisant un bruit de cocktail party (comparativement au test de Hint). L'avantage retrouvé chez les musiciens a par ailleurs été retrouvé spécifiquement dans les conditions d'écoute les plus difficiles avec le bruit et la parole diffusés sur une même source sonore. D'autres résultats similaires ont pu être observés dans la littérature(Boebinger et al., 2015; Coffey et al., 2017; Ruggles et al., 2014; Swaminathan et al., 2014; Zendel et al., 2015).

De plus, l'implication importante de la mémoire à court terme musicale sur les résultats au test Audimage apporte un éclairage nouveau sur l'influence de la mémoire à court terme musicale dans la capacité d'intelligibilité dans le bruit du patient appareillé. Le lien entre les capacités musicales et mémoires à court terme verbales étant de plus souligné par la littérature (Forgeard et al., 2008; Ho et al., 2003), un travail complémentaire basé sur une mesure des habiletés auditives des patients appareillés avec le questionnaire de Loisir auditif pourra être envisagé afin de mieux cerner le lien entre capacités auditives et intelligibilité dans le bruit.

Pour le test Audimage, les différences significatives de score retrouvées entre les deux types de séries (facile et difficile) confirment la bonne construction du test concernant le matériel vocal mis au point. Par ailleurs, la faible implication des scores du MOCA et l'absence de corrélation significative avec le test Mill Hill pour les résultats obtenus oreilles nues confirme la capacité du test Audimage à s'affranchir des afférences cognitives et langagières et à s'approcher au mieux d'une mesure relative aux habiletés auditives du patient comme en atteste les corrélations retrouvées avec la perte auditive sur la meilleure oreille et les résultats du questionnaire 15iSSQ. Cependant, la plus grande implication des capacités cognitives (MOCA et MCT musicale) et de vocabulaire dans les résultats avec les aides auditives au test Audimage observée suggère une influence cognitive plus forte sur les résultats avec prothèse auditive que sans prothèse auditive, où le facteur d'audibilité n'est pas compensé. Ces résultats sont comparables à ceux retrouvés par Lunner (2003) dans une étude similaire d'intelligibilité dans le bruit réalisée chez 72 patients appareillés où la mémoire à court terme mesurée par le test de rappel de mot Reading Span (Daneman and Carpenter, 1980) était un bon

prédicteur des résultats, en expliquant 40 % de la variance observée. Ces résultats ont d'ailleurs été confirmés par une revue de la littérature réalisée sur 20 études portant sur le lien entre l'intelligibilité dans le bruit et facteurs cognitifs (Akeroyd, 2008) et une étude sur le lien entre mémoire à court terme, intelligibilité dans le bruit et compression non linéaire des auditives (Foo et al., 2007). Cependant, comme expliqué précédemment, les résultats obtenus avec le Reading span test étant très dépendants des capacités verbales du sujet testé, son utilisation pour évaluer les capacités de mémoire à court terme d'un individu appareillé est depuis fortement remise en cause (Füllgrabe and Rosen, 2016; Smith and Pichora-Fuller, 2015; Zekveld et al., 2013). L'absence de corrélation entre les résultats au test Audimage et la modalité verbale viennent confirmer ce résultat.

Cette allocation de ressources cognitives pour réaliser la tâche d'intelligibilité dans le bruit, oreilles appareillées, pourrait expliquer l'absence d'amélioration significative mesurée entre le seuil SRT dans le bruit avec et sans aides auditives. L'important effort d'écoute ressenti par les patients lors de l'exécution du test Audimage confirme cette hypothèse. Ainsi, le traitement de signal opéré par l'aide auditive dans une situation bruyante dans le but d'augmenter la compréhension du malentendant, engendre aussi un plus grand effort d'écoute. Ces résultats sont cependant à nuancer face au manque de cohérence retrouvé dans la littérature concernant l'influence du traitement de signal de l'aide auditive sur les fonctions cognitives et notamment sur la mémoire à court terme.

Dans une situation d'écoute dans le bruit, si la directivité microphonique de l'aide auditive en améliorant le rapport signal sur bruit réduit la charge cognitive générée pour comprendre le signal de parole (Bilger et al., 1984; Lunner et al., 2009), elle entraine d'un autre côté un changement de repère sonore qui peut être perturbant sur le plan cognitif (Shinn-Cunningham and Best, 2008). Par ailleurs, Les réducteurs de bruit, en améliorant le confort d'écoute, peuvent aussi, dans certains cas, générer des distorsions sonores augmentant alors la charge cognitive du patient appareillé (Hamacher et al., 2005). Enfin, d'autres études ont montré un lien entre performance cognitive et capacité à gérer les paramètres de compression de l'aide auditive, tant sur le plan de la dynamique de compression par l'influence de la compression WDRC (Wild dynamic Range Compression) que la vitesse de compression (rapide ou lente) (Foo et al., 2007; Rudner et al., 2008; Souza and Sirow, 2014). Ainsi, la prise en compte individuelle des capacités cognitives et de mémoire à court terme dans les algorithmes de traitement des aides auditives

est indispensable pour augmenter le confort et la performance dans le bruit (Lunner et al., 2009; Souza et al., 2015).

Conclusion

Cette étude montre que les tests de mémoire à court terme (MCT) musicaux et verbaux sont réalisables sur une population malentendante âgée, et montre l'importance de la mémoire à court terme musicale dans la perception de la parole dans un bruit de cocktail party chez le patient appareillé.

L'influence cognitive plus forte (scores MOCA et Mill Hill) sur l'intelligibilité dans le bruit mesurée par le test Audimage avec les aides auditives révèle l'importance des facteurs cognitifs dans la compréhension de la parole dans le bruit du patient appareillé. Une première piste explicative concerne le traitement du signal opéré par l'aide auditive pour augmenter le confort et la compréhension dans un milieu bruyant, à l'origine d'une allocation plus importante de ressources cognitives. En effet, l'aide auditive restore une grande partie de l'audibilité. En revanche, elle ne peut agir sur les facteurs centraux du traitement du signal sonore, en particulier lorsqu'il s'agit de la ségrégation de sources sonores, impliquées dans une perception auditive spécifiquement dans un bruit de cocktail party. Dans la situation oreilles nues, les insuffisances périphériques et centrales entrent en jeu, alors que dans la situation oreilles appareillées, les insuffisances périphériques sont, en partie, compensées par les appareils auditifs, permettant une meilleure mise en évidence des corrélations entre mémoire à court terme et traitement central auditif.

IV. Discussion

a. Complémentarité effort d'écoute et habileté auditive

Comme pour les résultats présentés dans l'étude de validation de l'échelle EAS (Alhanbali et al., 2017), les scores obtenus sur l'étude de validation du questionnaire EEAS pour le groupe des normoentendants (NH) sont significativement inférieurs aux scores obtenus dans le groupe des patients appareillés. Ces résultats confirment l'augmentation de l'effort d'écoute ressenti par les malentendants (HIHA) au quotidien retrouvés dans de précédents travaux (Alhanbali et al., 2017a; Kramer et al., 2006a; Rosemann and Thiel, 2019). Cependant, la grande différence d'âge entre les deux groupes (NH : 24 ans (+/- 7,22 ans) ; HIHA : 74 ans (+/- 11,4 ans),) peut aussi expliquer en partie cette différence (Degeest et al., 2015 ; Pichora-Fuller et al., 2016).

La division en deux sous échelles (silence et bruit) des items 1, 2, 6 de l'échelle EAS effectuée pour l'échelle EEAS a mis en évidence d'importantes différences entre les groupes puisque les items relatifs à la sous échelle silence représentent les items avec la plus grande différence de score entre les deux groupes. L'effort d'écoute perçu dans le bruit par les malentendants s'avère grandement supérieur à l'effort perçu par les normoentendants.

Tout comme les résultats de la littérature (Alhanbali et al., 2018c; Gatehouse and Noble, 2004a; Noble and Gatehouse, 2006), on retrouve un lien entre effort d'écoute et habiletés auditives. Similaire dans les situations décrites, les résultats retrouvés pour l'EEAS et 15iSSQ sont tout à fait complémentaires : plus l'effort d'écoute augmente, plus les capacités auditives du sujet diminuent. Pour une même situation d'écoute, la formulation des différentes questions (capacité de réaliser la tâche pour 15iSSQ et effort fourni pour réaliser la tâche pour l'EEAS) joue un rôle primordial dans les résultats mesurés par une échelle d'autoévaluation (Foddy, 1993; Fox, 1996).

Plus l'habileté auditive mesurée par l'échelle 15iSSQ (notamment pour la sous-échelle speech) augmente plus l'effort d'écoute ressenti diminue, ce qui laisse supposer d'une réduction de l'effort d'écoute par l'aide auditive. Cependant, comme pour l'étude de Noble and Gatehouse, 2006 cette réduction de l'effort d'écoute ne permet pas de retrouver un niveau équivalent aux normoentendants.

Contrairement aux résultats d'Alhanbali et al., 2018, on retrouve une corrélation entre perte auditive et effort d'écoute chez le patient appareillé avec une augmentation de l'effort plus la perte auditive augmente. Tout comme dans l'étude validation de l'échelle 15iSSQ (Moulin et al., 2019), les seuils auditifs mesurés sur la meilleure oreille influencent aussi les résultats de l'échelle 15iSSQ (notamment pour la sous-échelle écoute spatiale) avec une diminution des scores plus la perte auditive augmente. Cependant, les diminutions des scores constatés de 0,29 point par 10 dB de perte s'avèrent plus faible que dans l'étude de validation 0.81 point par 10 dB.

Malgré la compensation effectuée par les aides auditives, l'audition résiduelle du patient appareillé semble influencer son effort d'écoute et son habileté auditive ressentie au quotidien.

b. Temps de port, satisfaction, capacité auditive et effort d'écoute

L'appareillage auditif est, dans l'ensemble, bien accepté par les patients puisque l'on retrouve un taux de satisfaction vis-à-vis de leur appareillage très encourageant avec une note moyenne au Score global du questionnaire SADL de 5,5/7 ± 2,7 (soit 78 % de satisfaction). Le temps de port, aussi bien mesuré qu'autoévalué par le patient, apparait comme un facteur associé à la satisfaction de l'appareillage, pour le score global, comme pour les sous-échelles, ce qui est en accord avec l'étude australienne (Uriarte et al., 2005). Le temps de port mesuré apparait aussi comme un facteur associé à de meilleures capacités auditives comme en atteste le lien retrouvé entre temps de port et score au questionnaire 15iSSQ dans l'étude de validation du questionnaire EEAS (β=0,20), légèrement confirmé pour la sous échelle qualité dans l'étude du lien entre intelligibilité, état cognitif et effort d'écoute ($r=0.27$; $p<0.05$). En revanche du point de vue de l'effort d'écoute évalué par le questionnaire EEAS, aucun lien entre effort d'écoute perçu et temps de port de l'aide auditive n'est retrouvé.

Une première interprétation de ce résultat peut être synthétisée de la manière suivante : plus l'aide auditive est portée au quotidien, plus les capacités auditives s'améliorent et la satisfaction de l'appareillage augmente. À moins que les bonnes capacités auditives du patient entrainent un port plus régulier et une satisfaction plus grande. Bien qu'il soit difficile de conclure sur le sens du lien entre capacité auditive, satisfaction et temps de port des aides auditives, ce résultat constitue une première étape dans la compréhension du lien entre observance de l'aide auditive, aptitudes auditives et satisfaction autoévaluées par questionnaire.

En revanche, l'existence d'une complémentarité des résultats retrouvés avec les questionnaires EEAS et 15iSSQ ne se retrouve pas dans le lien avec le temps de port. Le temps de port ne semble pas influencer l'effort d'écoute autoévalué puisqu'aucune corrélation significative entre le questionnaire EEAS et le temps de port mesuré n'est retrouvée dans l'étude de validation du questionnaire EEAS. Les capacités cognitives mesurées par le test MOCA et le test de mémoire à court terme dans l'étude du lien entre intelligibilité, état cognitif et effort d'écoute n'affectent pas non plus le temps de port mesuré par l'aide auditive. Ainsi, l'acceptation de l'aide auditive et son utilisation quotidienne s'avèrent être liées ni à l'effort d'écoute fournie ni aux capacités cognitives du patient appareillé. Ces résultats sont en accord avec les résultats

retrouvés concernant le bon temps de port des aides auditives (plus de 7 h/jour) chez des patients atteints de démence (Palmer et al., 1999).

Ainsi, la capacité du patient à utiliser pleinement l'information sonore délivrée par l'aide auditive semble être un bon prédicteur de l'acceptation de l'aide auditive. De plus, l'absence de lien entre effort d'écoute et utilisation de l'aide auditive peut s'expliquer par la part importante de la motivation dans l'effort d'écoute mesuré (Pichora-Fuller et al., 2016). Si la correction auditive délivrée par l'aide auditive semble générer un effort d'écoute plus important comparativement aux normoentendants, cet effort peut aussi être facilement intégré dans la mesure où les améliorations apportées par l'aide auditive sur l'écoute du patient lui sont bénéfiques.

La finesse de traitement sonore de l'aide auditive, en lien avec le nombre de canaux de réglage de l'aide auditive semble soulager la charge cognitive du patient appareillé. On retrouve en effet une corrélation positive entre le nombre de canaux et la mesure de la mémoire à court terme verbale et une corrélation négative avec les résultats du questionnaire EEAS. Plus le nombre de canaux augmentent, plus les scores de mémoire à court terme verbale s'améliorent et plus l'effort d'écoute dans le silence diminue. Cependant, cette allocation de nouvelles ressource cognitives ne profite pas au patient en termes d'habileté auditive et de satisfaction comme l'atteste l'absence de lien entre les niveaux de gamme de l'aide auditive et la satisfaction mesurée au questionnaire SADL et entre le nombre de canaux de réglage de l'aide auditive et les scores au 15iSSQ. Cependant, dans le cadre d'une corrélation multiple, il convient de noter le faible niveau de significativité retrouvé concernant le lien entre nombre de canaux, effort d'écoute et mémoire à court terme qui ne pourrait être validé par une correction de Bonferroni ou Holm par exemple. Par ailleurs, les aides auditives avec un plus grande nombre de canaux de réglage étant plus souvent sélectionnées par des patients actifs socialement avec des capacités cognitives préservées, l'augmentation de la mémoire à court terme mesurée et de l'effort d'écoute ressentit avec l'augmentation du nombre de canaux de réglage pourrait être expliquée par cette différence d'engagement social entre les sujets.

Enfin, la perte auditive reste le dénominateur commun au triptyque : satisfaction, capacité auditive et effort d'écoute. Plus la perte auditive est importante, plus la satisfaction globale et les capacités auditives diminuent et plus l'effort d'écoute augmente. On constate la même implication de la perte auditive sur les résultats d'intelligibilité dans le bruit mesurée avec les aides auditives par le test Audimage.

Ainsi la compensation de l'audibilité et le traitement de signal effectué par l'aide auditive ne permettent pas de compenser pleinement les difficultés auditives perçues par le patient. Plus l'atteinte auditive sensorielle est importante, plus le service rendu par l'aide auditive est faible. Ce résultat peut

s'expliquer par les distorsions de sonie (Davis et al., 1989; Glick and Sharma, 2017; Tyler et al., 2009) et de tonie (Eggermont, 1977 ; Fowler, 1963) qui surviennent lors de l'apparition d'une perte auditive neurosensorielle entrainant une dégradation du message sonore perçu. Afin de compenser cette dégradation, le patient malentendant devra utiliser ses ressources cognitives pour fournir un effort mental supplémentaire. La compensation acoustique créée par l'aide auditive implique aussi une modification sur la sonie et la tonie du malentendant (Bennett et al., 2020; Duquesnoy and Plomp, 1983) ainsi qu'une augmentation de la quantité d'information sonore à traiter pour le patient.

Malgré les systèmes de compression dynamique intégrés dans l'aide auditive, le recrutement de sonie, bien connu des audiologistes, altère le message acoustique délivré par l'aide auditive et semble générer une charge cognitive supplémentaire. Plusieurs études retrouvent un lien entre la mémoire de travail et les temps d'activation de la compression (Foo et al., 2007; Souza et al., 2015; Souza and Sirow, 2014) nommé temps d'attaque et de retour, mais aucun travail ne s'est intéressé à l'influence de la compression WDRC (Wild dynamic range compression), fréquemment utilisée dans les aides auditives, sur les capacités cognitives du patient appareillé. Une étude complémentaire s'intéressant au lien entre dynamique auditive résiduelle, capacité auditive, effort d'écoute du patient et taux de compression de l'aide auditive devra être envisagée pour explorer plus finement le lien entre dégradation de la sonie et effort d'écoute (Kollmeier and Kiessling, 2018).

c. Questionnaire effort d'écoute et mesure par EVA

L'effort d'écoute mesuré par le biais de l'échelle visuelle à analogique corrèle fortement avec l'effort mesuré pour le test d'intelligibilité dans le bruit ainsi que pour le test de mémoire court terme (modalité verbale ($r=0.39$, $p<0.001$), modalité musicale 1 seconde ($r=0.49$, $p<0.001$) et musicale 2 secondes ($r=0.43$, $p<0.001$)) confirmant ainsi l'intérêt de ce type de mesure dans la compréhension de l'effort fourni lors de la réalisation d'une tâche expérimentale. Par ailleurs, les faibles corrélations retrouvées entre l'effort mesuré par l'échelle EVA et les résultats au questionnaire EEAS confirment l'aspect multidimensionnel de l'effort d'écoute (McGarrigle et al., 2014a, 2014a) et la dépendance de la méthode de mesure dans les résultats retrouvés (Alhanbali et al., 2019a).

d. Influence du vocabulaire sur l'effort d'écoute

L'utilisation d'un matériel vocal à faible suppléance mentale a mis en évidence un accroissement de l'effort d'écoute mesuré par le biais de l'échelle visuelle analogique que ce soit dans le cadre de l'utilisation des nouvelles listes ou lors de l'utilisation du test Audimage. L'influence plus faible du niveau de vocabulaire avec les nouvelles listes, mais aussi avec le test Audimage retrouvé sur les scores peut expliquer l'augmentation de l'effort d'écoute mesuré. Une étude portant sur le lien entre intelligibilité dans le bruit et accès au vocabulaire réalisée chez 22 sujets âgés normoentendants (Carroll et al., 2016a) retrouve l'accès au vocabulaire comme un des premiers facteurs explicatifs de résultats chez les sujets âgés, comparativement à des sujets jeunes. Les connaissances lexicales plus importantes chez les sujets âgés peuvent aussi expliquer ces différences (Bopp and Verhaeghen, 2005).

Ainsi, la limitation de l'accès aux compétences langagières par l'utilisation d'un matériel vocal adapté induit une charge cognitive plus grande dont les effets sur la motivation et la fatigue auditive doivent être prise en compte afin de ne pas épuiser le patient âgé malentendant dans la réalisation de cette tâche. Un équilibre entre mesure d'intelligibilité en lien avec l'audibilité et capacité cognitive du patient doit être intégré dans l'élaboration de nouveaux tests d'intelligibilité afin de s'affranchir au mieux des mécanismes de suppléance mentale, ce sans générer une fatigue auditive trop grande.

e. Mémoire à court terme musicale et questionnaire musique

L'importance de l'écoute musicale chez les patients appareillés est encore très peu explorée dans la littérature. Le plaisir musical ressenti par les patients appareillés apparait cependant fortement affecté par la perte auditive (Leek et al., 2008) et l'aide auditive ne semble pas être capable de corriger efficacement le problème (Greasley et al., 2020; Madsen and Moore, 2014). Or, la corrélation entre la mémoire à court terme musicale et les scores d'intelligibilité dans un bruit de cocktail party mesurés par le test Audimage, laisse supposer un lien entre aptitudes musicales et intelligibilité dans un bruit de cocktail party. Ces résultats, tendent à confirmer le lien déjà observé entre capacités musicales et mémoire à court terme verbale (Forgeard et al., 2008 ; Ho et al., 2003).

Concernant le questionnaire de loisirs auditifs, l'important engagement musical retrouvé chez les patients appareillés et la diminution constatée des émotions ressenties à l'écoute de la musique en lien avec la vétusté de l'aide auditive, sont en faveur d'un lien important entre aides auditives et loisirs auditifs.

Le développement d'un outil de mesure de l'engagement musical devra être envisagé chez les patients appareillés, afin de mieux comprendre l'implication de la musique sur les capacités cognitives du patient presbyacousique et d'explorer les effets bénéfiques éventuels de l'écoute de la musique sur les capacités cognitives tels que les résultats de la littérature concernant le patient âgé en déclin cognitif (Gómez Gallego and Gómez García, 2017; Klimova et al., 2017; Moreno-Morales et al., 2020).

V. Conclusion

L'élaboration préalable de nouveaux outils de mesure des capacités cognitives tenant compte de la perte auditive et la maitrise, dans un second temps, de l'influence des fonctions cognitives sur les tests perceptifs est un prérequis indispensable pour mieux comprendre le lien existant entre la réhabilitation de l'audition par l'aide auditive et l'effort cognitif d'écoute.

L'utilisation de questionnaires tels que l'EEAS ou encore le 15iSSQ permettent de mieux cerner les difficultés auditives et cognitives du patient appareillé. Utilisé en complément des mesures perceptives classiques (audiométrie tonale et vocale), ils constituent un socle solide pour s'intéresser de plus près à l'effort d'écoute fourni par le patient appareillé en lien avec ses capacités auditives.

L'utilisation de tests visant à mesurer la capacité cognitive du patient appareillé en s'adaptant aux problématiques perceptives du malentendant tel que le test MOCA adapté au mal entendant ou le test de mémoire à court terme basé sur les trois modalités musicale, verbale et visuelle permettent de mieux comprendre l'effet des aides auditives sur la charge cognitive du patient appareillé. Enfin, les mesures d'intelligibilité telles que les nouvelles listes de mots ou encore le test Audimage développées pour s'affranchir de l'effet de suppléance mentale devraient tendre à se démocratiser dans la pratique de l'audiologie clinique dans les années à venir. En s'approchant plus finement de l'audibilité du patient appareillé, elles permettent de juger plus précisément l'impact du gain délivré par l'aide auditive sur la compréhension du malentendant appareillé. Cependant, de telles mesures se doivent d'être complétées avec des mesures des capacités cognitives et de niveau de vocabulaire afin de caractériser au mieux l'apport de ces différents facteurs dans l'intelligibilité retrouvée avec l'aide auditive.

L'implication importante de l'effort d'écoute dans les résultats retrouvés avec l'aide auditive lors de tests d'intelligibilités ou dans le quotidien des patients appareillés confirme la nécessité d'intégrer cette notion dans le réglage des aides auditives, mais aussi dans le développement de nouveaux algorithmes de

traitement de l'aide auditive en tenant compte de la charge cognitive résiduelle du patient appareillé. Cependant, ces nouvelles mesures ne doivent pas faire abstraction de l'aspect motivation liée à l'effort d'écoute afin de ne pas surcharger le patient testé et obtenir ainsi une mesure plus proche de ses capacités cognitives.

VI. Bibliographie

Acquadro, C., Conway, K., Hareendran, A., Aaronson, N., 2008. Literature Review of Methods to Translate Health-Related Quality of Life Questionnaires for Use in Multinational Clinical Trials. Value in Health 11, 509–521. https://doi.org/10.1111/j.1524-4733.2007.00292.x

Adrait, A., Perrot, X., Nguyen, M.-F., Gueugnon, M., Petitot, C., Collet, L., Roux, A., Bonnefoy, M., ADPHA study group, 2017. Do Hearing Aids Influence Behavioral and Psychological Symptoms of Dementia and Quality of Life in Hearing Impaired Alzheimer's Disease Patients and Their Caregivers? J. Alzheimers Dis. 58, 109–121. https://doi.org/10.3233/JAD-160792

Aggarwal, A., Kean, E., 2010. Comparison of the Folstein Mini Mental State Examination (MMSE) to the Montreal Cognitive Assessment (MoCA) as a Cognitive Screening Tool in an Inpatient Rehabilitation Setting. NM 01, 39–42. https://doi.org/10.4236/nm.2010.12006

Ahlstrom, J.B., Horwitz, A.R., Dubno, J.R., 2014. Spatial separation benefit for unaided and aided listening. Ear Hear 35, 72–85. https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e3182a02274

Akeroyd, M.A., 2008. Are individual differences in speech reception related to individual differences in cognitive ability? A survey of twenty experimental studies with normal and hearing-impaired adults. Int J Audiol 47 Suppl 2, S53-71. https://doi.org/10.1080/14992020802301142

Akeroyd, M.A., Guy, F.H., Harrison, D.L., Suller, S.L., 2014. A factor analysis of the SSQ (Speech, Spatial, and Qualities of Hearing Scale). Int J Audiol 53, 101–114. https://doi.org/10.3109/14992027.2013.824115

Alain, C., Arnott, S.R., Picton, T.W., 2001. Bottom–up and top–down influences on auditory scene analysis: Evidence from event-related brain potentials. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance 27, 1072–1089. https://doi.org/10.1037/0096-1523.27.5.1072

Alain, C., Dyson, B.J., Snyder, J.S., 2006. Aging and the Perceptual Organization of Sounds: A Change of Scene?, in: Handbook of Models for Human Aging. Elsevier, pp. 759–769. https://doi.org/10.1016/B978-012369391-4/50065-5

Alain, C., Zendel, B.R., Hutka, S., Bidelman, G.M., 2014. Turning down the noise: The benefit of musical training on the aging auditory brain. Hearing Research 308, 162–173. https://doi.org/10.1016/j.heares.2013.06.008

Alhanbali, S., Dawes, P., Lloyd, S., Munro, K., 2018a. Hearing handicap and speech recognition correlate with self-reported listening effort and fatigue. Ear and hearing 39, 470–474. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000515

Alhanbali, S., Dawes, P., Lloyd, S., Munro, K.J., 2018b. Hearing Handicap and Speech Recognition Correlate With Self-Reported Listening Effort and Fatigue. Ear Hear 39, 470–474. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000515

Alhanbali, S., Dawes, P., Lloyd, S., Munro, K.J., 2018c. Hearing Handicap and Speech Recognition Correlate With Self-Reported Listening Effort and Fatigue. Ear & Hearing 39, 470–474. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000515

Alhanbali, S., Dawes, P., Lloyd, S., Munro, K.J., 2017a. Self-Reported Listening-Related Effort and Fatigue in Hearing-Impaired Adults: Ear and Hearing 38, e39–e48. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000361

Alhanbali, S., Dawes, P., Lloyd, S., Munro, K.J., 2017b. Self-Reported Listening-Related Effort and Fatigue in Hearing-Impaired Adults. Ear Hear 38, e39–e48. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000361

Alhanbali, S., Dawes, P., Millman, R.E., Munro, K.J., 2019a. Measures of Listening Effort Are Multidimensional 14.

Alhanbali, S., Dawes, P., Millman, R.E., Munro, K.J., 2019b. Measures of Listening Effort Are Multidimensional: Ear and Hearing 40, 1084–1097. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000697

Alkhamra, R.A., 2010. Cognitive effort and perception of speech by postlingually deafened adult user of cochlear implants - ProQuest [WWW Document]. URL https://search.proquest.com/openview/437b0807900f85037e365a7c7c675f5a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y (accessed 12.3.20).

Al-Yawer, F., Pichora-Fuller, M.K., Phillips, N.A., 2019. The Montreal Cognitive Assessment After Omission of Hearing-Dependent Subtests: Psychometrics and Clinical Recommendations. J Am Geriatr Soc 67, 1689–1694. https://doi.org/10.1111/jgs.15940

Ambert-Dahan, E., Laouénan, C., Lebredonchel, M., Borel, S., Carillo, C., Bouccara, D., Sterkers, O., Ferrary, E., Mosnier, I., 2018. Évaluation du retentissement de la surdité chez l'adulte : validation d'un questionnaire de qualité de vie. Annales françaises d'Oto-rhino-laryngologie et de Pathologie Cervico-faciale 135, 29–35. https://doi.org/10.1016/j.aforl.2017.05.002

Amieva, H., Le Goff, M., STOYKOVA, R., Lafont, S., Ritchie, K., Tzourio, C., Fabrigoule, C., Dartigues, J.-F., 2009. Trail Making Test A et B - version sans correction des erreurs : normes en population chez des sujets âgés, issues de l'étude des trois Cités. Revue de Neuropsychologie 3, 210–220. https://doi.org/10.1684/nrp.2009.0031

Amieva, H., Ouvrard, C., Meillon, C., Rullier, L., Dartigues, J.-F., 2018. Death, Depression, Disability, and Dementia Associated With Self-reported Hearing Problems: A 25-Year Study. The Journals of Gerontology: Series A. https://doi.org/10.1093/gerona/glx250

Andéol, G., Suied, C., Scannella, S., Dehais, F., 2017. The Spatial Release of Cognitive Load in Cocktail Party Is Determined by the Relative Levels of the Talkers. JARO 18, 457–464. https://doi.org/10.1007/s10162-016-0611-7

Anderson, S., Parbery-Clark, A., White-Schwoch, T., Kraus, N., 2013. Auditory brainstem response to complex sounds predicts self-reported speech-in-noise performance. J Speech Lang Hear Res 56, 31–43. https://doi.org/10.1044/1092-4388(2012/12-0043)

Arehart, K.H., Souza, P., Baca, R., Kates, J.M., 2013. Working Memory, Age, and Hearing Loss: Susceptibility to Hearing Aid Distortion 34, 10.

Arlinger, S., Lunner, T., Lyxell, B., Kathleen Pichora-Fuller, M., 2009a. The emergence of Cognitive Hearing Science. Scandinavian Journal of Psychology 50, 371–384. https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.2009.00753.x

Arlinger, S., Lunner, T., Lyxell, B., Pichora-Fuller, M.K., 2009b. The emergence of cognitive hearing science. Scand J Psychol 50, 371–384. https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.2009.00753.x

Atlas des juniors [WWW Document], 2005. URL https://sites.google.com/site/pathossaf/le-diagnostique-clinique/les-anomalies-du-systeme-nerveux (accessed 8.6.21).

Axelle, V., 2013. Enquête Nationale auprès des audioprothésistes sur la prise en charge des patients acouphéniques 137.

Baddeley, A.D., Hitch, G., 1974. Working Memory, in: Bower, G.H. (Ed.), Psychology of Learning and Motivation. Academic Press, pp. 47–89. https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1

Baillargeon, J., 2003. L'analyse factorielle exploratoire. Uqtr, cours Afe.

Beaton, D.E., Bombardier, C., Guillemin, F., Ferraz, M.B., 2000. Guidelines for the Process of Cross-Cultural Adaptation of Self-Report Measures: Spine 25, 3186–3191. https://doi.org/10.1097/00007632-200012150-00014

Benichov, J., Cox, L.C., Tun, P.A., Wingfield, A., 2012. Word recognition within a linguistic context: effects of age, hearing acuity, verbal ability, and cognitive function. Ear Hear 33, 250–256. https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31822f680f

Bennett, R.J., Kosovich, E.M., Stegeman, I., Ebrahimi-Madiseh, A., Tegg-Quinn, S., Eikelboom, R.H., 2020. Investigating the prevalence and impact of device-related problems associated with hearing aid use. Int J Audiol 59, 615–623. https://doi.org/10.1080/14992027.2020.1731615

Bernarding, C., Strauss, D.J., Hannemann, R., Seidler, H., Corona-Strauss, F.I., 2017. Neurodynamic evaluation of hearing aid features using EEG correlates of listening effort. Cognitive Neurodynamics. https://doi.org/10.1007/s11571-017-9425-5

Bertoli, S., Staehelin, K., Zemp, E., Schindler, C., Bodmer, D., Probst, R., 2009. Survey on hearing aid use and satisfaction in Switzerland and their determinants. Int J Audiol 48, 183–195. https://doi.org/10.1080/14992020802572627

Bess, F.H., Hornsby, B.W.Y., 2014. Commentary: listening can be exhausting--fatigue in children and adults with hearing loss. Ear Hear 35, 592–599. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000099

Bilger, R.C., Nuetzel, J.M., Rabinowitz, W.M., Rzeczkowski, C., 1984. Standardization of a test of Speech Perception in Noise. Journal of Speech & Hearing Research 27, 32–48. https://doi.org/10.1044/jshr.2701.32

Boebinger, D., Evans, S., Rosen, S., Lima, C.F., Manly, T., Scott, S.K., 2015. Musicians and non-musicians are equally adept at perceiving masked speech. The Journal of the Acoustical Society of America 137, 378–387. https://doi.org/10.1121/1.4904537

Boothroyd, A., Nittrouer, S., 1988. Mathematical treatment of context effects in phoneme and word recognition. J Acoust Soc Am 84, 101–114. https://doi.org/10.1121/1.396976

Bopp, K.L., Verhaeghen, P., 2005. Aging and Verbal Memory Span: A Meta-Analysis. The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences 60, P223–P233. https://doi.org/10.1093/geronb/60.5.P223

Bouletreau, A., Chouaniere, D., Wild, P., Fontana, J.M., 1999. Concevoir, traduire et valider un questionnaire. A propos d'un exemple, EUROQUEST. 50.

Bräcker, T., Hellmiss, S., Batsoulis, C., Petzold, T., Gabel, L., Möltner, A., Stöver, T., Mlynski, R., Lenarz, T., Büchner, A., 2019. Introducing real-life listening features into the clinical test environment: Part II: Measuring the hearing performance and evaluating the listening effort of individuals with a hearing implant. Cochlear Implants Int 20, 165–175. https://doi.org/10.1080/14670100.2019.1579980

Brown, T.A., 2015. Confirmatory Factor Analysis for Applied Research, Second Edition, $ {number}nd édition. ed. Guilford Press, New York ; London.

Brysbaert, M., Buchmeier, M., Conrad, M., Jacobs, A.M., Bölte, J., Böhl, A., 2011. The word frequency effect: a review of recent developments and implications for the choice of frequency estimates in German. Exp Psychol 58, 412–424. https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000123

Burns, E.M., Turner, C., 1986. Pure-tone pitch anomalies. II. Pitch-intensity effects and diplacusis in impaired ears. J Acoust Soc Am 79, 1530–1540. https://doi.org/10.1121/1.393679

Caclin, A., Tillmann, B., 2018. Musical and verbal short-term memory: insights from neurodevelopmental and neurological disorders: Musical and verbal short-term memory. Annals of the New York Academy of Sciences 1423, 155–165. https://doi.org/10.1111/nyas.13733

Carroll, R., Warzybok, A., Kollmeier, B., Ruigendijk, E., 2016a. Age-Related Differences in Lexical Access Relate to Speech Recognition in Noise. Frontiers in Psychology 7. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00990

Carroll, R., Warzybok, A., Kollmeier, B., Ruigendijk, E., 2016b. Age-Related Differences in Lexical Access Relate to Speech Recognition in Noise. Front. Psychol. 7. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00990

Chin, T., Rickard, N.S., 2012. The Music USE (MUSE) Questionnaire: An Instrument to Measure Engagement in Music. Music Perception 29, 429–446. https://doi.org/10.1525/mp.2012.29.4.429

Churchill, G.A., 1979. A Paradigm for Developing Better Measures of Marketing Constructs. Journal of Marketing Research 16, 64–73. https://doi.org/10.2307/3150876

Ciesielska, N., Sokołowski, R., Mazur, E., Podhorecka, M., Polak-Szabela, A., Kędziora-Kornatowska, K., 2016. Is the Montreal Cognitive Assessment (MoCA) test better suited than the Mini-Mental State Examination (MMSE) in mild cognitive impairment (MCI) detection among people aged over 60? Meta-analysis. Psychiatr Pol 50, 1039–1052. https://doi.org/10.12740/PP/45368

Coffey, E.B.J., Mogilever, N.B., Zatorre, R.J., 2017. Speech-in-noise perception in musicians: A review. Hear Res 352, 49–69. https://doi.org/10.1016/j.heares.2017.02.006

Colin, D., 2016. Influence de la surdité neurosensorielle sur la perception de la hauteur tonale 200.
Cooksey, R.W., Soutar, G.N., 2006. Coefficient Beta and Hierarchical Item Clustering An Analytical Procedure for Establishing and Displaying the Dimensionality and Homogeneity of Summated Scales. Organizational Research Methods 9, 78–98. https://doi.org/10.1177/1094428105283939
Corsi, P.M., 1972. MEMORY AND THE MEDIAL TEMPORAL REGION OF THE BRAIN 85.
Coste, J., Fermanian, J., Venot, A., 1995. Methodological and statistical problems in the construction of composite measurement scales: a survey of six medical and epidemiological journals. Stat Med 14, 331–345. https://doi.org/10.1002/sim.4780140402
Cottraux, J., 1985. Méthodes et échelles d'évaluation des comportements. EAP.
Cowan, N., 2008. Chapter 20 What are the differences between long-term, short-term, and working memory?, in: Progress in Brain Research. Elsevier, pp. 323–338. https://doi.org/10.1016/S0079-6123(07)00020-9
Cowan, N., 1988. Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information-processing system. Psychol Bull 104, 163–191. https://doi.org/10.1037/0033-2909.104.2.163
Cox, R.M., 1995. The Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit: Ear and Hearing 16, 176–186. https://doi.org/10.1097/00003446-199504000-00005
Cox, R.M., Alexander, G.C., 2002. The International Outcome Inventory for Hearing Aids (IOI-HA): psychometric properties of the English version. Int J Audiol 41, 30–35.
Cox, R.M., Alexander, G.C., 2001. Validation of the SADL questionnaire. Ear Hear 22, 151–160.
Cox, R.M., Alexander, G.C., 1999. Measuring Satisfaction with Amplification in Daily Life: the SADL scale. Ear Hear 20, 306–320.
Cox, R.M., Alexander, G.C., 1995. The Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit: Ear and Hearing 16, 176–186. https://doi.org/10.1097/00003446-199504000-00005
Cronbach, L.J., 1951a. Coefficient alpha and the internal structure of tests. Psychometrika 16, 297–334. https://doi.org/10.1007/BF02310555
Cronbach, L.J., 1951b. Coefficient alpha and the internal structure of tests. Psychometrika 16, 297–334. https://doi.org/10.1007/BF02310555
Daneman, M., Carpenter, P.A., 1980. Individual differences in working memory and reading. Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior 19, 450–466. https://doi.org/10.1016/S0022-5371(80)90312-6
Davis, R.I., Ahroon, W.A., Hamernik, R.P., 1989. The relation among hearing loss, sensory cell loss and tuning characteristics in the chinchilla. Hear Res 41, 1–14. https://doi.org/10.1016/0378-5955(89)90173-1
Dawes, P., 2019. Hearing interventions to prevent dementia. HNO 67, 165–171. https://doi.org/10.1007/s00106-019-0617-7
Dawes, P., Emsley, R., Cruickshanks, K.J., Moore, D.R., Fortnum, H., Edmondson-Jones, M., McCormack, A., Munro, K.J., 2015. Hearing Loss and Cognition: The Role of Hearing Aids, Social Isolation and Depression. PLOS ONE 10, e0119616. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119616
Dawes, P., Munro, K.J., 2017a. Auditory Distraction and Acclimatization to Hearing Aids. Ear & Hearing 38, 174–183. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000366
Dawes, P., Munro, K.J., 2017b. Auditory Distraction and Acclimatization to Hearing Aids. Ear Hear 38, 174–183. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000366
Dawes, P., Munro, K.J., Kalluri, S., Edwards, B., 2014a. Auditory acclimatization and hearing aids: late auditory evoked potentials and speech recognition following unilateral and bilateral amplification. J Acoust Soc Am 135, 3560–3569. https://doi.org/10.1121/1.4874629
Dawes, P., Munro, K.J., Kalluri, S., Edwards, B., 2014b. Acclimatization to hearing aids. Ear Hear 35, 203–212. https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e3182a8eda4
Dawes, P., Munro, K.J., Kalluri, S., Edwards, B., 2013. Acclimatization to Hearing Aids 35, 10.

Degeest, S., Keppler, H., Corthals, P., 2015a. The Effect of Age on Listening Effort. J Speech Lang Hear Res 58, 1592–1600. https://doi.org/10.1044/2015_JSLHR-H-14-0288
Degeest, S., Keppler, H., Corthals, P., 2015b. The Effect of Age on Listening Effort. J Speech Lang Hear Res 58, 1592–1600. https://doi.org/10.1044/2015_JSLHR-H-14-0288
Deltour, J., 1998. Echelle de vocabulaire de Mill-Hill (traduction française). Éditions et Applications Psychologiques.
Deltour, J.-J., 2007. Échelle de vocabulaire Mill Hill.
Demeester, K., Topsakal, V., Hendrickx, J.-J., Fransen, E., van Laer, L., Van Camp, G., Van de Heyning, P., van Wieringen, A., 2012a. Hearing Disability Measured by the Speech, Spatial, and Qualities of Hearing Scale in Clinically Normal-Hearing and Hearing-Impaired Middle-Aged Persons, and Disability Screening by Means of a Reduced SSQ (the SSQ5). Ear & Hearing 33, 615–616. https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31824e0ba7
Demeester, K., Topsakal, V., Hendrickx, J.-J., Fransen, E., van Laer, L., Van Camp, G., Van de Heyning, P., van Wieringen, A., 2012b. Hearing disability measured by the speech, spatial, and qualities of hearing scale in clinically normal-hearing and hearing-impaired middle-aged persons, and disability screening by means of a reduced SSQ (the SSQ5). Ear Hear 33, 615–616. https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31824e0ba7
Desjardins, J.L., Doherty, K.A., 2014. The Effect of Hearing Aid Noise Reduction on Listening Effort in Hearing-Impaired Adults: Ear and Hearing 35, 600–610. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000028
Desjardins, J.L., Doherty, K.A., 2013. Age-related changes in listening effort for various types of masker noises. Ear Hear 34, 261–272. https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31826d0ba4
Desmette, D., Hupet, M., Schelstraete, M.-A., Van der Linden, M., 1995. Adaptation en langue française du « Reading Span Test » de Daneman et Carpenter (1980). L'Année psychologique 95, 459–482. https://doi.org/10.3406/psy.1995.28842
DeVellis, R.F., 2003. Scale development : theory and applications / [WWW Document].
Dong, Y., Sharma, V.K., Chan, B.P.-L., Venketasubramanian, N., Teoh, H.L., Seet, R.C.S., Tanicala, S., Chan, Y.H., Chen, C., 2010. The Montreal Cognitive Assessment (MoCA) is superior to the Mini-Mental State Examination (MMSE) for the detection of vascular cognitive impairment after acute stroke. J Neurol Sci 299, 15–18. https://doi.org/10.1016/j.jns.2010.08.051
Duchêne, J., 2020. Validation et évaluation de la version française du questionnaire de dépistage du handicap auditif HHIE-S (Hearing Handicap Inventory for the Elderly-Screening) chez l'adulte de plus de 60 ans nnales françaises d'otorhino-laryngologie et de pathologie cervico-faciale., 102.
Dupuis, K., Pichora-Fuller, M.K., Chasteen, A.L., Marchuk, V., Singh, G., Smith, S.L., 2015. Effects of hearing and vision impairments on the Montreal Cognitive Assessment. Aging, Neuropsychology, and Cognition 22, 413–437. https://doi.org/10.1080/13825585.2014.968084
Duquesnoy, A.J., Plomp, R., 1983. The effect of a hearing aid on the speech-reception threshold of hearing-impaired listeners in quiet and in noise. J Acoust Soc Am 73, 2166–2173. https://doi.org/10.1121/1.389540
Eckert, M.A., Matthews, L.J., Dubno, J.R., 2017. Self-Assessed Hearing Handicap in Older Adults With Poorer-Than-Predicted Speech Recognition in Noise. Journal of Speech, Language, and Hearing Research 60, 251–262. https://doi.org/10.1044/2016_JSLHR-H-16-0011
Eggermont, J.J., 1977. Electrocochleography and recruitment. Ann Otol Rhinol Laryngol 86, 138–149. https://doi.org/10.1177/000348947708600202
Eignor, D.R., 2001. Standards for the development and use of tests: The Standards for Educational and Psychological Testing. European Journal of Psychological Assessment 17, 157–163. https://doi.org/10.1027/1015-5759.17.3.157
Epstein, J., Osborne, R.H., Elsworth, G.R., Beaton, D.E., Guillemin, F., 2015. Cross-cultural adaptation of the Health Education Impact Questionnaire: experimental study showed expert

committee, not back-translation, added value. J Clin Epidemiol 68, 360–369. https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2013.07.013
Erdem, B.K., Çiprut, A., 2019. Evaluation of Speech, Spatial Perception and Hearing Quality in Unilateral, Bimodal and Bilateral Cochlear Implant Users. Turk Arch Otorhinolaryngol 57, 149–153. https://doi.org/10.5152/tao.2019.4105
Eustache, F., 2019. Mémoire · Inserm, La science pour la santé [WWW Document]. Inserm. URL https://www.inserm.fr/dossier/memoire/ (accessed 9.26.21).
Fabrigar, Leandre R, Wegener, D.T., MacCallum, R.C., Strahan, E.J., 1999. Evaluating the Use of Exploratory Factor Analysis in Psychological Research 28.
Fabrigar, Leandre R., Wegener, D.T., MacCallum, R.C., Strahan, E.J., 1999. Evaluating the use of exploratory factor analysis in psychological research. Psychological Methods 4, 272–299. https://doi.org/10.1037/1082-989X.4.3.272
Fang, T.-Y., Chang, H.-J., Wan, T.-K., Wang, P.-C., Chen, Y.-H., 2013. Validation of the Chinese version "satisfaction with amplification in daily life (SADL)" survey for hearing-aid users. International Journal of Audiology 52, 478–484. https://doi.org/10.3109/14992027.2013.773406
Fermanian, (J.), 1996. Evaluer correctement la validité d'une échelle : les nombreux pièges à éviter. Evaluer correctement la validité d'une échelle : les nombreux pièges à éviter.
Fermanian, J., 1984. [Measurement of agreement between 2 judges. Qualitative cases]. Rev Epidemiol Sante Publique 32, 140–147.
Ferschneider, M., Gallego, S., Moulin, A., 2022. Utilisation du Questionnaire d'habiletés auditives `` Parole, audition spatiale et qualité d'audition ' ' (`` Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale) (SSQ) en audioprothèse. les cahiers de l'audition 38–43.
Ferschneider M, Cholvy F, Kreiss M, Bigeard T, Berger P, Gallego S, Moulin A. (2022) Effort d'écoute et capacités auditives : 2 côtés d'une même médaille ?. Les cahiers de l'audition, 3/2022, 29-35.
Foddy, W.H., 1993. Constructing questions for interviews and questionnaires: Theory and practice in social research, Constructing questions for interviews and questionnaires: Theory and practice in social research. Cambridge University Press, New York, NY, US. https://doi.org/10.1017/CBO9780511518201
Fok, C.C.T., Henry, D., 2015. Increasing the Sensitivity of Measures to Change. Prev Sci 16, 978–986. https://doi.org/10.1007/s11121-015-0545-z
Folstein, M.F., Folstein, S.E., McHugh, P.R., 1975. "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. J Psychiatr Res 12, 189–198. https://doi.org/10.1016/0022-3956(75)90026-6
Foo, C., Rudner, M., Rönnberg, J., Lunner, T., 2007. Recognition of speech in noise with new hearing instrument compression release settings requires explicit cognitive storage and processing capacity. J Am Acad Audiol 18, 618–631. https://doi.org/10.3766/jaaa.18.7.8
Forgeard, M., Winner, E., Norton, A., Schlaug, G., 2008. Practicing a Musical Instrument in Childhood is Associated with Enhanced Verbal Ability and Nonverbal Reasoning. PLOS ONE 3, e3566. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003566
Formation continue : 42 % des audios ne connaissent pas leurs obligations [WWW Document], 2021. . Audiologie Demain. URL https://audiologie-demain.com/formation-continue-42-des-audioprothesistes-ne-connaissent-pas-leurs-obligations (accessed 6.15.21).
Fortunato, S., Forli, F., Guglielmi, V., De, E.C., Paludetti, G., Berrettini, S., Fetoni, A.R., 2016. A review of new insights on the association between hearing loss and cognitive decline in ageing., A review of new insights on the association between hearing loss and cognitive decline in ageing. Acta Otorhinolaryngol Ital 36, 36, 155, 155–166. https://doi.org/10.14639/0392-100X-993, 10.14639/0392-100X-993
Foster, J.R., Haggard, M.P., 1987. The Four Alternative Auditory Feature test (FAAF)—linguistic and psychometric properties of the material with normative data in noise. British Journal of Audiology 21, 165–174. https://doi.org/10.3109/03005368709076402

Fournier, M., Albaret, J.-M., 2013. Étalonnage des blocs de Corsi sur une population d'enfants scolarisés du CP à la 6e. Développements 16–17, 76. https://doi.org/10.3917/devel.016.0076
Fowler, E.P., 1963. LOUDNESS RECRUITMENT. DEFINITION AND CLARIFICATION. Arch Otolaryngol 78, 748–753. https://doi.org/10.1001/archotol.1963.00750020764003
Fox, C., 1996. Questionnaire Development. Journal of Health & Social Policy 8, 39–48. https://doi.org/10.1300/J045v08n01_04
Frankish, H., Horton, R., 2017a. Prevention and management of dementia: a priority for public health. The Lancet 390, 2614–2615. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)31756-7
Frankish, H., Horton, R., 2017b. Prevention and management of dementia: a priority for public health. The Lancet 390, 2614–2615. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)31756-7
Fuller, C., Mallinckrodt, L., Maat, B., Başkent, D., Free, R., 2013. Music and quality of life in early-deafened late-implanted adult cochlear implant users. Otol Neurotol 34, 1041–1047. https://doi.org/10.1097/MAO.0b013e31828f47dd
Füllgrabe, C., Rosen, S., 2016. On The (Un)importance of Working Memory in Speech-in-Noise Processing for Listeners with Normal Hearing Thresholds. Frontiers in Psychology 07. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01268
Gatehouse, S., 1998. Speech Tests as Measures of Outcome. Scandinavian Audiology 27, 54–60. https://doi.org/10.1080/010503998420667
Gatehouse, S., 1992. The time course and magnitude of perceptual acclimatization to frequency responses: evidence from monaural fitting of hearing aids. J Acoust Soc Am 92, 1258–1268. https://doi.org/10.1121/1.403921
Gatehouse, S., Noble, W., 2004a. The Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale (SSQ). International Journal of Audiology 43, 85–99. https://doi.org/10.1080/14992020400050014
Gatehouse, S., Noble, W., 2004b. The speech, spatial and qualities of hearing scale (SSQ). International journal of audiology 43, 85–99.
Ghasemi, A., Zahediasl, S., 2012. Normality tests for statistical analysis: a guide for non-statisticians. Int J Endocrinol Metab 10, 486–489. https://doi.org/10.5812/ijem.3505
Gineste, M.-D., Le Ny, J.-F., 2002. Psychologie cognitive du langage: de la reconnaissance à la compréhension. Dunod, Paris.
Giroud, N., Lemke, U., Reich, P., Matthes, K.L., Meyer, M., 2017. The impact of hearing aids and age-related hearing loss on auditory plasticity across three months - An electrical neuroimaging study. Hear Res 353, 162–175. https://doi.org/10.1016/j.heares.2017.06.012
Giuliani, N.P., Brown, C.J., Wu, Y.-H., 2020. Comparisons of the Sensitivity and Reliability of Multiple Measures of Listening Effort. Ear and Hearing Publish Ahead of Print. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000950
Glick, H., Sharma, A., 2017. Cross-modal Plasticity in Developmental and Age-Related Hearing Loss: Clinical Implications. Hear Res 343, 191–201. https://doi.org/10.1016/j.heares.2016.08.012
Goldinger, S.D., 1996. Auditory Lexical Decision. Language and Cognitive Processes 11, 559–568. https://doi.org/10.1080/016909696386944
Gómez Gallego, M., Gómez García, J., 2017. Music therapy and Alzheimer's disease: Cognitive, psychological, and behavioural effects. Neurologia 32, 300–308. https://doi.org/10.1016/j.nrl.2015.12.003
Gonsalez, E.C. de M., Almeida, K. de, Gonsalez, E.C. de M., Almeida, K. de, 2015. Cross-cultural adaptation of the Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale (SSQ) to Brazilian Portuguese. Audiology - Communication Research 20, 215–224. https://doi.org/10.1590/S2317-64312015000300001572
Gopinath, B., Schneider, J., Hickson, L., McMahon, C.M., Burlutsky, G., Leeder, S.R., Mitchell, P., 2012. Hearing handicap, rather than measured hearing impairment, predicts poorer quality of life over 10 years in older adults. Maturitas 72, 146–151. https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2012.03.010
Gordon, E., 1989. Advanced measures of music audiation. Gia Publications.

Gordon-Salant, S., Cole, S.S., 2016a. Effects of Age and Working Memory Capacity on Speech Recognition Performance in Noise Among Listeners With Normal Hearing: Ear and Hearing 37, 593–602. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000316
Gordon-Salant, S., Cole, S.S., 2016b. Effects of Age and Working Memory Capacity on Speech Recognition Performance in Noise Among Listeners With Normal Hearing: Ear and Hearing 37, 593–602. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000316
Gosselin, P.A., Gagné, J.-P., 2011. Older adults expend more listening effort than young adults recognizing audiovisual speech in noise. International Journal of Audiology 50, 786–792. https://doi.org/10.3109/14992027.2011.599870
Greasley, A., Crook, H., Fulford, R., 2020. Music listening and hearing aids: perspectives from audiologists and their patients. Int J Audiol 59, 694–706. https://doi.org/10.1080/14992027.2020.1762126
Guillemin, F., Bombardier, C., Beaton, D., 1993. Cross-cultural adaptation of health-related quality of life measures: literature review and proposed guidelines. J Clin Epidemiol 46, 1417–1432.
Gurgel, R.K., Ward, P.D., Schwartz, S., Norton, M.C., Foster, N.L., Tschanz, J.T., 2014. Relationship of Hearing loss and Dementia: a Prospective, Population-based Study. Otol Neurotol 35, 775–781. https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000000313
Hall, D.A., Zaragoza Domingo, S., Hamdache, L.Z., Manchaiah, V., Thammaiah, S., Evans, C., Wong, L.L.N., On behalf of the International Collegium of Rehabilitative Audiology and TINnitus Research NETwork, 2018. A good practice guide for translating and adapting hearing-related questionnaires for different languages and cultures. International Journal of Audiology 57, 161–175. https://doi.org/10.1080/14992027.2017.1393565
Hamacher, V., Chalupper, J., Eggers, J., Fischer, E., Kornagel, U., Puder, H., Rass, U., 2005. Signal Processing in High-End Hearing Aids: State of the Art, Challenges, and Future Trends. EURASIP J. Adv. Signal Process. 2005, 1–15. https://doi.org/10.1155/ASP.2005.2915
Hart, S.G., Staveland, L.E., 1988. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research, in: Hancock, P.A., Meshkati, N. (Eds.), Advances in Psychology, Human Mental Workload. North-Holland, pp. 139–183. https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9
Henrysson, S., 1963. Correction of item-total correlations in item analysis. Psychometrika 28, 211–218. https://doi.org/10.1007/BF02289618
Herdman, M., Fox-Rushby, J., Badia, X., 1998. A model of equivalence in the cultural adaptation of HRQoL instruments: the universalist approach. Qual Life Res 7, 323–335. https://doi.org/10.1023/a:1024985930536
Hétu, R., Jones, L., Getty, L., 1993. The impact of acquired hearing impairment on intimate relationships: implications for rehabilitation. Audiology 32, 363–381. https://doi.org/10.3109/00206099309071867
Hillbriggs, F., Dial, J., Morere, D., Joyce, A., 2007. Neuropsychological assessment of persons with physical disability, visual impairment or blindness, and hearing impairment or deafness. Archives of Clinical Neuropsychology 22, 389–404. https://doi.org/10.1016/j.acn.2007.01.013
Hirel, C., Nighoghossian, N., Lévêque, Y., Hannoun, S., Fornoni, L., Daligault, S., Bouchet, P., Jung, J., Tillmann, B., Caclin, A., 2017. Verbal and musical short-term memory: Variety of auditory disorders after stroke. Brain and Cognition 113, 10–22. https://doi.org/10.1016/j.bandc.2017.01.003
Ho, Y.-C., Cheung, M.-C., Chan, A.S., 2003. Music training improves verbal but not visual memory: Cross-sectional and longitudinal explorations in children. Neuropsychology 17, 439–450. https://doi.org/10.1037/0894-4105.17.3.439
Holube, I., Haeder, K., Imbery, C., Weber, R., 2016. Subjective Listening Effort and Electrodermal Activity in Listening Situations with Reverberation and Noise. Trends in Hearing 20, 233121651666773. https://doi.org/10.1177/2331216516667734

Horn, J.L., 1965. A rationale and test for the number of factors in factor analysis. Psychometrika 30, 179–185. https://doi.org/10.1007/BF02289447
Hornsby, B.W.Y., 2013. The effects of hearing aid use on listening effort and mental fatigue associated with sustained speech processing demands. Ear Hear 34, 523–534. https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31828003d8
Hornsby, B.W.Y., Naylor, G., Bess, F.H., 2016. A Taxonomy of Fatigue Concepts and Their Relation to Hearing Loss. Ear Hear 37 Suppl 1, 136S–44S. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000289
Hosford-Dunn, H., Halpern, J., 2001. Clinical application of the SADL scale in private practice II: predictive validity of fitting variables. Satisfaction with Amplification in Daily Life. J Am Acad Audiol 12, 15–36.
Hosford-Dunn, H., Halpern', J., n.d. Clinical Application of the SADL Scale in Private Practice 11 : Predictive Validity of Fitting Variables 22.
House, J.W., Kutz, J.W., Chung, J., Fisher, L.M., 2010. Bone-anchored hearing aid subjective benefit for unilateral deafness. Laryngoscope 120, 601–607. https://doi.org/10.1002/lary.20802
Hu, L., Bentler, P.M., 1999. Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal 6, 1–55. https://doi.org/10.1080/10705519909540118
Hunt, S.M., McEwen, J., 1980. The development of a subjective health indicator. Sociol Health Illn 2, 231–246. https://doi.org/10.1111/1467-9566.ep11340686
Jean, É., 2017. L' analyse factorielle et son utilisation dans l'examen des phénomènes sociocomportementaux : quelques clarifications méthodologiques. Rev. organ. territ. 26, 145–149. https://doi.org/10.1522/revueot.v26i1-2.204
Kaandorp, M.W., Smits, C., Merkus, P., Festen, J.M., Goverts, S.T., 2017. Lexical-Access Ability and Cognitive Predictors of Speech Recognition in Noise in Adult Cochlear Implant Users. Trends Hear 21, 2331216517743887. https://doi.org/10.1177/2331216517743887
Kahneman, D., 1973a. Attention and effort, Prentice-Hall series in experimental psychology. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
Kahneman, D., 1973b. Attention and Effort. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
Kaiser, H.F., 1970. A second generation little jiffy. Psychometrika 35, 401–415. https://doi.org/10.1007/BF02291817
Kathleen Pichora-Fuller, M., 2008. Use of supportive context by younger and older adult listeners: balancing bottom-up and top-down information processing. Int J Audiol 47 Suppl 2, S72-82. https://doi.org/10.1080/14992020802307404
Kießling, J., Grugel, L., Meister, H., Meis, M., 2011. Übertragung der Fragebögen SADL, ECHO und SSQ ins Deutsche und deren Evaluation. Z Audio 50, 616.
Kießling, J., Grugel, L., Meister, H., Meis, M., n.d. Übertragung der Fragebögen SADL, ECHO und SSQ ins Deutsche und deren Evaluation 11.
Killan, C.F., Baxter, P.D., Killan, E.C., 2020. Face and content validity analysis of the Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale for Parents (SSQ-P) when used in a clinical service without interviews or week-long observation periods. Int J Pediatr Otorhinolaryngol 133, 109964. https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2020.109964
Klimova, B., Valis, M., Kuca, K., 2017. Cognitive decline in normal aging and its prevention: a review on non-pharmacological lifestyle strategies. Clin Interv Aging 12, 903–910. https://doi.org/10.2147/CIA.S132963
Koelewijn, T., Zekveld, A.A., Festen, J.M., Kramer, S.E., 2012. Pupil dilation uncovers extra listening effort in the presence of a single-talker masker. Ear Hear 33, 291–300. https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e3182310019
Kollmeier, B., Kiessling, J., 2018. Functionality of hearing aids: state-of-the-art and future model-based solutions. International Journal of Audiology 57, S3–S28. https://doi.org/10.1080/14992027.2016.1256504

Koo, T.K., Li, M.Y., 2016. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. J Chiropr Med 15, 155–163. https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012

Kramer, S.E., Kapteyn, T.S., Houtgast, T., 2006a. Occupational performance: Comparing normally-hearing and hearing-impaired employees using the Amsterdam Checklist for Hearing and Work: Desempeño laboral: Comparación de empleados con audición normal o alterada usando el Listado Amsterdam para Audición y Trabajo. International Journal of Audiology 45, 503–512. https://doi.org/10.1080/14992020600754583

Kramer, S.E., Kapteyn, T.S., Houtgast, T., 2006b. Occupational performance: comparing normally-hearing and hearing-impaired employees using the Amsterdam Checklist for Hearing and Work. Int J Audiol 45, 503–512. https://doi.org/10.1080/14992020600754583

Krull, V., Humes, L.E., Kidd, G.R., 2013. Reconstructing wholes from parts: effects of modality, age, and hearing loss on word recognition. Ear Hear 34, e14-23. https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31826d0c27

Law, L.N.C., Zentner, M., 2012. Assessing Musical Abilities Objectively: Construction and Validation of the Profile of Music Perception Skills. PLOS ONE 7, e52508. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052508

Lawrence, R.J., Wiggins, I.M., Anderson, C.A., Davies-Thompson, J., Hartley, D.E.H., 2018a. Cortical correlates of speech intelligibility measured using functional near-infrared spectroscopy (fNIRS). Hear Res 370, 53–64. https://doi.org/10.1016/j.heares.2018.09.005

Lawrence, R.J., Wiggins, I.M., Anderson, C.A., Davies-Thompson, J., Hartley, D.E.H., 2018b. Cortical correlates of speech intelligibility measured using functional near-infrared spectroscopy (fNIRS). Hear. Res. 370, 53–64. https://doi.org/10.1016/j.heares.2018.09.005

Lee, K.A., Hicks, G., Nino-Murcia, G., 1991. Validity and reliability of a scale to assess fatigue. Psychiatry Research 36, 291–298. https://doi.org/10.1016/0165-1781(91)90027-M

Leek, M.R., Molis, M.R., Kubli, L.R., Tufts, J.B., 2008. Enjoyment of Music by Elderly Hearing-Impaired Listeners. J Am Acad Audiol 19, 519–526. https://doi.org/10.3766/jaaa.19.6.7

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. https://doi.org/10.1001/archneurol.2010.362

Lin, F.R., Yaffe, K., Xia, J., Xue, Q.-L., Harris, T.B., Purchase-Helzner, E., Satterfield, S., Ayonayon, H.N., Ferrucci, L., Simonsick, E.M., Group, for the H.A.S., 2013a. Hearing Loss and Cognitive Decline in Older Adults. JAMA Intern Med 173, 293–299. https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2013.1868

Lin, F.R., Yaffe, K., Xia, J., Xue, Q.-L., Harris, T.B., Purchase-Helzner, E., Satterfield, S., Ayonayon, H.N., Ferrucci, L., Simonsick, E.M., Health ABC Study Group, for the, 2013b. Hearing Loss and Cognitive Decline in Older Adults. JAMA Internal Medicine 173, 293. https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2013.1868

Lin, V.Y.W., Chung, J., Callahan, B.L., Smith, L., Gritters, N., Chen, J.M., Black, S.E., Masellis, M., 2017. Development of cognitive screening test for the severely hearing impaired: Hearing-impaired MoCA: Development of Hearing-Impaired MoCA. The Laryngoscope 127, S4–S11. https://doi.org/10.1002/lary.26590

Livingston, G., Sommerlad, A., Orgeta, V., Costafreda, S.G., Huntley, J., Ames, D., Ballard, C., Banerjee, S., Burns, A., Cohen-Mansfield, J., Cooper, C., Fox, N., Gitlin, L.N., Howard, R., Kales, H.C., Larson, E.B., Ritchie, K., Rockwood, K., Sampson, E.L., Samus, Q., Schneider, L.S., Selbæk, G., Teri, L., Mukadam, N., 2017. Dementia prevention, intervention, and care. The Lancet 390, 2673–2734. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)31363-6

Lotfi, Y., Nazeri, A.R., Asgari, A., Moosavi, A., Bakhshi, E., 2016. Iranian Version of Speech, Spatial, and Qualities of Hearing Scale: A Psychometric Study. Acta Med Iran 54, 756–764.

Lunner, T., 2003. Cognitive function in relation to hearing aid use. Int J Audiol 42 Suppl 1, S49-58. https://doi.org/10.3109/14992020309074624

Lunner, T., Alickovic, E., Graversen, C., Ng, E.H.N., Wendt, D., Keidser, G., 2020. Three New Outcome Measures That Tap Into Cognitive Processes Required for Real-Life Communication. Ear & Hearing 41, 39S-47S. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000941

Lunner, T., Rudner, M., Rönnberg, J., 2009. Cognition and hearing aids. Scandinavian Journal of Psychology 50, 395–403. https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.2009.00742.x

Madsen, S.M.K., Moore, B.C.J., 2014. Music and Hearing Aids. Trends in Hearing 18, 233121651455827. https://doi.org/10.1177/2331216514558271

Mamo, S.K., Reed, N.S., Price, C., Occhipinti, D., Pletnikova, A., Lin, F.R., Oh, E.S., 2018. Hearing Loss Treatment in Older Adults With Cognitive Impairment: A Systematic Review. J Speech Lang Hear Res 61, 2589–2603. https://doi.org/10.1044/2018_JSLHR-H-18-0077

Mas-Herrero, E., Marco-Pallares, J., Lorenzo-Seva, U., Zatorre, R.J., Rodriguez-Fornells, A., 2013. Individual Differences in Music Reward Experiences. Music Perception 31, 118–138. https://doi.org/10.1525/mp.2013.31.2.118

Mattys, S.L., Davis, M.H., Bradlow, A.R., Scott, S.K., 2012. Speech recognition in adverse conditions: A review. Language and Cognitive Processes 27, 953–978. https://doi.org/10.1080/01690965.2012.705006

McGarrigle, R., Munro, K.J., Dawes, P., Stewart, A.J., Moore, D.R., Barry, J.G., Amitay, S., 2014a. Listening effort and fatigue: What exactly are we measuring? A British Society of Audiology Cognition in Hearing Special Interest Group 'white paper.' International Journal of Audiology 53, 433–445. https://doi.org/10.3109/14992027.2014.890296

McGarrigle, R., Munro, K.J., Dawes, P., Stewart, A.J., Moore, D.R., Barry, J.G., Amitay, S., 2014b. Listening effort and fatigue: What exactly are we measuring? A British Society of Audiology Cognition in Hearing Special Interest Group 'white paper.' International Journal of Audiology 53, 433–445. https://doi.org/10.3109/14992027.2014.890296

McNemar, Q., 1947. Note on the sampling error of the difference between correlated proportions or percentages. Psychometrika 12, 153–157. https://doi.org/10.1007/BF02295996

Megha, null, Maruthy, S., 2019. Consequences of hearing aid acclimatization on ALLRs and its relationship with perceived benefit and speech perception abilities. Eur Arch Otorhinolaryngol 276, 1001–1010. https://doi.org/10.1007/s00405-019-05303-0

Mémoire de travail, 2021. . Wikipédia.

Michielsen, H.J., De Vries, J., Heck, G.L., Van de Vijver, F., Sijtsma, K., 2004. Examination of the Dimensionality of Fatigue: The Construction of the Fatigue Assessment Scale (FAS). European Journal of Psychological Assessment 20, 39. https://doi.org/10.1027//1015-5759.20.1.39

Midy, F., 1996. Validité et fiabilité des questionnaires d'évaluation de la qualité de vie: une étude appliquée aux accidents vasculaires cérébraux 44.

Miles, K., McMahon, C., Boisvert, I., Ibrahim, R., de Lissa, P., Graham, P., Lyxell, B., 2017. Objective Assessment of Listening Effort: Coregistration of Pupillometry and EEG. Trends in Hearing 21, 233121651770639. https://doi.org/10.1177/2331216517706396

Milner, B., 1971. Interhemispheric differences in the localization of psychological processes in man. Br Med Bull 27, 272–277. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.bmb.a070866

Moreno-Morales, C., Calero, R., Moreno-Morales, P., Pintado, C., 2020. Music Therapy in the Treatment of Dementia: A Systematic Review and Meta-Analysis. Front Med (Lausanne) 7, 160. https://doi.org/10.3389/fmed.2020.00160

Moret, L., Chwalow, J., Baudoin-Balleur, C., 1993. [Evaluation of quality of life: construction of a scale]. Rev Epidemiol Sante Publique 41, 65–71.

Moulin, A., Bernard, A., Tordella, L., Vergne, J., Gisbert, A., Martin, C., Richard, C., 2017. Variability of word discrimination scores in clinical practice and consequences on their sensitivity to hearing loss. European Archives of Oto-Rhino-Laryngology 274, 2117–2124. https://doi.org/10.1007/s00405-016-4439-x

Moulin, A., Pauzie, A., Richard, C., 2015a. Validation of a French translation of the speech, spatial, and qualities of hearing scale (SSQ) and comparison with other language versions.

International Journal of Audiology 54, 889–898. https://doi.org/10.3109/14992027.2015.1054040
Moulin, A., Pauzie, A., Richard, C., 2015b. Validation of a French translation of the speech, spatial, and qualities of hearing scale (SSQ) and comparison with other language versions. International Journal of Audiology 54, 889–898. https://doi.org/10.3109/14992027.2015.1054040
Moulin, A., Richard, C., 2016a. Validation of a French-Language Version of the Spatial Hearing Questionnaire, Cluster Analysis and Comparison with the Speech, Spatial, and Qualities of Hearing Scale: Ear and Hearing 37, 412–423. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000269
Moulin, A., Richard, C., 2016b. Validation of a French-Language Version of the Spatial Hearing Questionnaire, Cluster Analysis and Comparison with the Speech, Spatial, and Qualities of Hearing Scale. Ear Hear 37, 412–423. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000269
Moulin, A., Richard, C., 2016c. Sources of variability of speech, spatial, and qualities of hearing scale (SSQ) scores in normal-hearing and hearing-impaired populations. International Journal of Audiology 55, 101–109. https://doi.org/10.3109/14992027.2015.1104734
Moulin, A., Richard, C., 2015. Lexical Influences on Spoken Spondaic Word Recognition in Hearing-Impaired Patients. Frontiers in Neuroscience 9, 476. https://doi.org/10.3389/fnins.2015.00476
Moulin, A., Robert, A., Richard, C., 2013. Listes de mots utilisées en audiométrie vocale en France : caractéristiques linguistiques au regard du français parlé en 2013. Annales françaises d'Oto-rhino-laryngologie et de Pathologie Cervico-faciale 130, A130–A131. https://doi.org/10.1016/j.aforl.2013.06.416
Moulin, A., Vergne, J., Gallego, S., Micheyl, C., 2019a. A New Speech, Spatial, and Qualities of Hearing Scale Short-Form: Factor, Cluster, and Comparative Analyses 13.
Moulin, A., Vergne, J., Gallego, S., Micheyl, C., 2019b. A New Speech, Spatial, and Qualities of Hearing Scale Short-Form: Factor, Cluster, and Comparative Analyses. Ear Hear 40, 938–950. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000675
Müllensiefen, D., Gingras, B., Musil, J., Stewart, L., 2014. The Musicality of Non-Musicians: An Index for Assessing Musical Sophistication in the General Population. PLOS ONE 9, e89642. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089642
Munro, K.J., Lutman, M.E., 2003. The effect of speech presentation level on measurement of auditory acclimatization to amplified speech. The Journal of the Acoustical Society of America 114, 484–495. https://doi.org/10.1121/1.1577556
Nachtegaal, J., Smit, J.H., Smits, C., Bezemer, P.D., van Beek, J.H.M., Festen, J.M., Kramer, S.E., 2009. The Association Between Hearing Status and Psychosocial Health Before the Age of 70 Years: Results From an Internet-Based National Survey on Hearing: Ear and Hearing 30, 302–312. https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31819c6e01
Nasreddine, Z.S., Phillips, N.A., Bédirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., Cummings, J.L., Chertkow, H., 2005. The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment. Journal of the American Geriatrics Society 53, 695–699.
Nasreddine, Ziad S., Phillips, N.A., Bédirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., Cummings, J.L., Chertkow, H., 2005. The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment. J Am Geriatr Soc 53, 695–699. https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53221.x
Naylor, G., Koelewijn, T., Zekveld, A.A., Kramer, S.E., 2018. The Application of Pupillometry in Hearing Science to Assess Listening Effort. Trends Hear 22, 2331216518799437. https://doi.org/10.1177/2331216518799437
Nelson, L.H., White, K.R., Baker, D.V., Hayden, A., Bird, S., 2017. The effectiveness of commercial desiccants and uncooked rice in removing moisture from hearing aids. Int J Audiol 56, 226–232. https://doi.org/10.1080/14992027.2016.1253877

Nguyen, M.-F., Bonnefoy, M., Adrait, A., Gueugnon, M., Petitot, C., Collet, L., Roux, A., Perrot, X., ADPHA study group, 2017. Efficacy of Hearing Aids on the Cognitive Status of Patients with Alzheimer's Disease and Hearing Loss: A Multicenter Controlled Randomized Trial. J. Alzheimers Dis. 58, 123–137. https://doi.org/10.3233/JAD-160793

Noble, W., Gatehouse, S., 2006. Effects of bilateral versus unilateral hearing aid fitting on abilities measured by the Speech, Spatial, and Qualities of Hearing Scale (SSQ). Int J Audiol 45, 172–181. https://doi.org/10.1080/14992020500376933

Noble, W., Jensen, N.S., Naylor, G., Bhullar, N., Akeroyd, M.A., 2013a. A short form of the Speech, Spatial and Qualities of Hearing scale suitable for clinical use: The SSQ12. International Journal of Audiology 52, 409–412. https://doi.org/10.3109/14992027.2013.781278

Noble, W., Jensen, N.S., Naylor, G., Bhullar, N., Akeroyd, M.A., 2013b. A short form of the Speech, Spatial and Qualities of Hearing scale suitable for clinical use: The SSQ12. International Journal of Audiology 52, 409–412. https://doi.org/10.3109/14992027.2013.781278

Noble, W., Tyler, R., Dunn, C., Bhullar, N., 2008. Unilateral and bilateral cochlear implants and the implant-plus-hearing-aid profile: comparing self-assessed and measured abilities. Int J Audiol 47, 505–514. https://doi.org/10.1080/14992020802070770

Nunnally, J.C., 1978. Psychometric theory. McGraw-Hill, New York.

Oates, P.A., Kurtzberg, D., Stapells, D.R., 2002. Effects of Sensorineural Hearing Loss on Cortical Event-Related Potential and Behavioral Measures of Speech-Sound Processing: Ear and Hearing 23, 399–415. https://doi.org/10.1097/00003446-200210000-00002

Ohlenforst, B., Zekveld, A.A., Jansma, E.P., Wang, Y., Naylor, G., Lorens, A., Lunner, T., Kramer, S.E., 2017. Effects of Hearing Impairment and Hearing Aid Amplification on Listening Effort: A Systematic Review 38, 15.

ouvrepo, 2011. Analyse en Composantes Principales : La détermination du nombre d'axes factoriels à retenir via l'analyse parallèle de Horn [WWW Document]. ouvr-e-po. URL http://ouvrepot.over-blog.com/article-analyse-en-composantes-principales-determination-du-nombre-d-axes-factoriels-a-retenir-apres-une-a-79910567.html (accessed 9.13.21).

Palmer, C.V., Adams, S.W., Bourgeois, M., Durrant, J., Rossi, M., 1999. Reduction in Caregiver-Identified Problem Behaviors in Patients With Alzheimer Disease Post-Hearing-Aid Fitting. J Speech Lang Hear Res 42, 312–328. https://doi.org/10.1044/jslhr.4202.312

Parbery-Clark, A., Skoe, E., Lam, C., Kraus, N., 2009. Musician Enhancement for Speech-In-Noise. Ear & Hearing 30, 653–661. https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e3181b412e9

Peelle, J.E., Wingfield, A., 2016. The Neural Consequences of Age-Related Hearing Loss. Trends in Neurosciences 39, 486–497. https://doi.org/10.1016/j.tins.2016.05.001

Pennini, P.T.M., Almeida, K. de, 2021. Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale in assessing the benefit in hearing aid users. Codas 33, e20190196. https://doi.org/10.1590/2317-1782/20202019196

Pichora-Fuller, M.K., Kramer, S.E., Eckert, M.A., Edwards, B., Hornsby, B.W.Y., Humes, L.E., Lemke, U., Lunner, T., Matthen, M., Mackersie, C.L., Naylor, G., Phillips, N.A., Richter, M., Rudner, M., Sommers, M.S., Tremblay, K.L., Wingfield, A., 2016a. Hearing Impairment and Cognitive Energy: The Framework for Understanding Effortful Listening (FUEL) 37, 23.

Pichora-Fuller, M.K., Kramer, S.E., Eckert, M.A., Edwards, B., Hornsby, B.W.Y., Humes, L.E., Lemke, U., Lunner, T., Matthen, M., Mackersie, C.L., Naylor, G., Phillips, N.A., Richter, M., Rudner, M., Sommers, M.S., Tremblay, K.L., Wingfield, A., 2016b. Hearing Impairment and Cognitive Energy: The Framework for Understanding Effortful Listening (FUEL) 37, 23.

Piquado, T., Isaacowitz, D., Wingfield, A., 2010. Pupillometry as a measure of cognitive effort in younger and older adults. Psychophysiology 47, 560–569. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00947.x

Pralus, A., Hermann, R., Cholvy, F., Aguera, P.-E., Moulin, A., Barone, P., Grimault, N., Truy, E., Tillmann, B., Caclin, A., 2021. Rapid Assessment of Non-Verbal Auditory Perception in Normal-Hearing Participants and Cochlear Implant Users. JCM 10, 2093. https://doi.org/10.3390/jcm10102093

Preacher, K.J., MacCallum, R.C., 2003. Repairing Tom Swift's Electric Factor Analysis Machine. Understanding Statistics 2, 13–43. https://doi.org/10.1207/S15328031US0201_02
Putnam, S.P., Rothbart, M.K., 2006. Development of short and very short forms of the Children's Behavior Questionnaire. J Pers Assess 87, 102–112. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa8701_09
Raven, J.C., 1965. Guide to using the Mill Hill vocabulary scale with the progressive matrices scale. H.K. Lewis, London.
Reitan, R.M., 1958. Validity of the Trail Making Test as an Indicator of Organic Brain Damage. Percept Mot Skills 8, 271–276. https://doi.org/10.2466/pms.1958.8.3.271
Revelle, William, 1979. Hierarchical Cluster Analysis And The Internal Structure Of Tests. Multivariate Behavioral Research 14, 57–74. https://doi.org/10.1207/s15327906mbr1401_4
Revelle, W., 1979. Hierarchical Cluster Analysis And The Internal Structure Of Tests. Multivariate Behav Res 14, 57–74. https://doi.org/10.1207/s15327906mbr1401_4
Revelle, W., 1978. ICLUST: A cluster analytic approach to exploratory and confirmatory scale construction. Behavior Research Methods & Instrumentation 10, 739–742. https://doi.org/10.3758/BF03205389
Richardson, J.T.E., 2007. Measures of Short-Term Memory: A Historical Review. Cortex 43, 635–650. https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70493-3
Rönnberg, J., Lunner, T., Zekveld, A., Sörqvist, P., Danielsson, H., Lyxell, B., Dahlström, Ö., Signoret, C., Stenfelt, S., Pichora-Fuller, M.K., Rudner, M., 2013a. The Ease of Language Understanding (ELU) model: theoretical, empirical, and clinical advances. Frontiers in Systems Neuroscience 7. https://doi.org/10.3389/fnsys.2013.00031
Rönnberg, J., Lunner, T., Zekveld, A., Sörqvist, P., Danielsson, H., Lyxell, B., Dahlström, Ö., Signoret, C., Stenfelt, S., Pichora-Fuller, M.K., Rudner, M., 2013b. The Ease of Language Understanding (ELU) model: theoretical, empirical, and clinical advances. Front. Syst. Neurosci. 7. https://doi.org/10.3389/fnsys.2013.00031
Rönnberg, J., Rudner, M., Foo, C., Lunner, T., 2008. Cognition counts: A working memory system for ease of language understanding (ELU). International Journal of Audiology 47, S99–S105. https://doi.org/10.1080/14992020802301167
Roque dos Reis, L., Donato, M., Sousa, R., Escada, P.A., 2017. Tradução, Adaptação Cultural e Validação da Escala Satisfaction with Amplification in Daily Life para o Português de Portugal. Acta Médica Portuguesa 30, 115. https://doi.org/10.20344/amp.7794
Rosemann, S., Thiel, C.M., 2019. The effect of age-related hearing loss and listening effort on resting state connectivity. Sci Rep 9, 2337. https://doi.org/10.1038/s41598-019-38816-z
Rosenzweig, M.R., Postman, L., 1958. Frequency of usage and the perception of words. Science 127, 263–266. https://doi.org/10.1126/science.127.3293.263
Rovetti, J., Goy, H., Pichora-Fuller, M.K., Russo, F.A., 2019a. Functional Near-Infrared Spectroscopy as a Measure of Listening Effort in Older Adults Who Use Hearing Aids. Trends in Hearing 23, 233121651988672. https://doi.org/10.1177/2331216519886722
Rovetti, J., Goy, H., Pichora-Fuller, M.K., Russo, F.A., 2019b. Functional Near-Infrared Spectroscopy as a Measure of Listening Effort in Older Adults Who Use Hearing Aids. Trends in Hearing 23, 2331216519886722. https://doi.org/10.1177/2331216519886722
Rudner, M., Foo, C., Sundewall-Thorén, E., Lunner, T., Rönnberg, J., 2008. Phonological mismatch and explicit cognitive processing in a sample of 102 hearing-aid users. Int J Audiol 47 Suppl 2, S91-98. https://doi.org/10.1080/14992020802304393
Rudner, M., Lunner, T., Behrens, T., Thorén, E.S., Rönnberg, J., 2012. Working memory capacity may influence perceived effort during aided speech recognition in noise. J Am Acad Audiol 23, 577–589. https://doi.org/10.3766/jaaa.23.7.7
Ruf, S., Egger, C., 2018. EuroTrak France 2018 [WWW Document]. www.ehmina.com. URL https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:qSqfPpc6qpcJ:https://www.ehima.com/wp-

content/uploads/2018/07/EuroTrak_2018_FRANCE.pdf+&cd=1&hl=fr&ct=clnk&gl=fr&client=firefox-b-d (accessed 6.13.19).
Ruggles, D.R., Freyman, R.L., Oxenham, A.J., 2014. Influence of Musical Training on Understanding Voiced and Whispered Speech in Noise. PLOS ONE 9, e86980. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0086980
Saarikallio, S.H., 2008. Music in Mood Regulation: Initial Scale Development. Musicae Scientiae 12, 291–309. https://doi.org/10.1177/102986490801200206
Saija, J.D., Akyürek, E.G., Andringa, T.C., Başkent, D., 2014. Perceptual restoration of degraded speech is preserved with advancing age. J Assoc Res Otolaryngol 15, 139–148. https://doi.org/10.1007/s10162-013-0422-z
Savin, H.B., 1963. Word-Frequency Effect and Errors in the Perception of Speech. The Journal of the Acoustical Society of America 35, 200–206. https://doi.org/10.1121/1.1918432
Schlauch, R.S., Anderson, E.S., Micheyl, C., 2014. A demonstration of improved precision of word recognition scores. J Speech Lang Hear Res 57, 543–555. https://doi.org/10.1044/2014_JSLHR-H-13-0017
Schrepp, M., 2020. On the Usage of Cronbach's Alpha to Measure Reliability of UX Scales 15, 12.
Scree plot, 2020. . Wikipedia.
Seashore, C.E., 1919. The psychology of musical talent.
Shapiro, S.S., Wilk, M.B., 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika 52, 591–611. https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591
Sheldon, S., Pichora-Fuller, M.K., Schneider, B.A., 2008. Priming and sentence context support listening to noise-vocoded speech by younger and older adults. The Journal of the Acoustical Society of America 123, 489–499. https://doi.org/10.1121/1.2783762
Shinn-Cunningham, B.G., Best, V., 2008. Selective attention in normal and impaired hearing. Trends Amplif 12, 283–299. https://doi.org/10.1177/1084713808325306
Singh, G., Kathleen Pichora-Fuller, M., 2010. Older adults' performance on the speech, spatial, and qualities of hearing scale (SSQ): Test-retest reliability and a comparison of interview and self-administration methods. International Journal of Audiology 49, 733–740. https://doi.org/10.3109/14992027.2010.491097
Smeds, K., Gotowiec, S., Wolters, F., Herrlin, P., Larsson, J., Dahlquist, M., 2020. Selecting Scenarios for Hearing-Related Laboratory Testing. Ear & Hearing 41, 20S-30S. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000930
Smith, S., Pichora-Fuller, M.K., 2015. Associations between speech understanding and auditory and visual tests of verbal working memory: effects of linguistic complexity, task, age, and hearing loss. Frontiers in Psychology 6, 1394. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01394
Smith, S.L., Pichora-Fuller, K.M., Watts, K.L., La More, C., 2011. Development of the Listening Self-Efficacy Questionnaire (LSEQ). Int J Audiol 50, 417–425. https://doi.org/10.3109/14992027.2011.553205
Smith, S.L., Pichora-Fuller, M.K., Alexander, G., 2016a. Development of the Word Auditory Recognition and Recall Measure: A Working Memory Test for Use in Rehabilitative Audiology 37, 17.
Smith, S.L., Pichora-Fuller, M.K., Alexander, G., 2016b. Development of the Word Auditory Recognition and Recall Measure: A Working Memory Test for Use in Rehabilitative Audiology 37, 17.
Sommers, M.S., Phelps, D., 2016. Listening Effort in Younger and Older Adults: A Comparison of Auditory-Only and Auditory-Visual Presentations. Ear Hear 37 Suppl 1, 62S–8S. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000322
Souza, P., Arehart, K., 2015. Robust relationship between reading span and speech recognition in noise. Int J Audiol 54, 705–713. https://doi.org/10.3109/14992027.2015.1043062
Souza, P., Arehart, K., Neher, T., 2015. Working Memory and Hearing Aid Processing: Literature Findings, Future Directions, and Clinical Applications. Frontiers in Psychology 6. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01894

Souza, P.E., Sirow, L., 2014. Relating Working Memory to Compression Parameters in Clinically Fit Hearing Aids. American Journal of Audiology 23, 394–401. https://doi.org/10.1044/2014_AJA-14-0006

Stanton, J.M., Sinar, E.F., Balzer, W.K., Smith, P.C., 2002. Issues and strategies for reducing the length of self report scales. Personnel Psychology 55, 167–194. https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.2002.tb00108.x

Steiger, J.H., 1980. Tests for comparing elements of a correlation matrix. Psychological Bulletin 87, 245–251.

Stenbäck, V., Marsja, E., Hällgren, M., Lyxell, B., Larsby, B., 2021. The Contribution of Age, Working Memory Capacity, and Inhibitory Control on Speech Recognition in Noise in Young and Older Adult Listeners. J Speech Lang Hear Res 1–11. https://doi.org/10.1044/2021_JSLHR-20-00251

Stenfelt, S., Rönnberg, J., 2009. The Signal-Cognition interface: Interactions between degraded auditory signals and cognitive processes. Scandinavian Journal of Psychology 50, 385–393. https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.2009.00748.x

Strand, J.F., Brown, V.A., Merchant, M.B., Brown, H.E., Smith, J., 2018. Measuring Listening Effort: Convergent Validity, Sensitivity, and Links With Cognitive and Personality Measures. J Speech Lang Hear Res 61, 1463–1486. https://doi.org/10.1044/2018_JSLHR-H-17-0257

Strand, J.F., Ray, L., Dillman-Hasso, N.H., Villanueva, J., Brown, V.A., 2020. Understanding Speech Amid the Jingle and Jangle: Recommendations for Improving Measurement Practices in Listening Effort Research. Audit Percept Cogn 3, 169–188. https://doi.org/10.1080/25742442.2021.1903293

Stratford, P.W., Riddle, D.L., 2005. Assessing sensitivity to change: choosing the appropriate change coefficient. Health Qual Life Outcomes 3, 23. https://doi.org/10.1186/1477-7525-3-23

Sung, Y.-K., Li, L., Blake, C., Betz, J., Lin, F.R., 2016. Association of Hearing Loss and Loneliness in Older Adults. J Aging Health 28, 979–994. https://doi.org/10.1177/0898264315614570

Swaminathan, J., Mason, C.R., Streeter, T.M., Kidd, G., Patel, A.D., 2014. Spatial release from masking in musicians and non-musicians. The Journal of the Acoustical Society of America 135, 2281–2282. https://doi.org/10.1121/1.4877482

Timmer, B.H.B., Hickson, L., Launer, S., 2018a. Do Hearing Aids Address Real-World Hearing Difficulties for Adults With Mild Hearing Impairment? Results From a Pilot Study Using Ecological Momentary Assessment. Trends in Hearing 22, 233121651878360. https://doi.org/10.1177/2331216518783608

Timmer, B.H.B., Hickson, L., Launer, S., 2018b. Do Hearing Aids Address Real-World Hearing Difficulties for Adults With Mild Hearing Impairment? Results From a Pilot Study Using Ecological Momentary Assessment. Trends Hear 22, 2331216518783608. https://doi.org/10.1177/2331216518783608

Titchener, E.B., 1908. Lectures on the elementary psychology of feeling and attention. MacMillan Co, New York. https://doi.org/10.1037/10867-000

Tomioka, K., Okamoto, N., Morikawa, M., Kurumatani, N., 2015. Self-Reported Hearing Loss Predicts 5-Year Decline in Higher-Level Functional Capacity in High-Functioning Elderly Adults: The Fujiwara-Kyo Study. Journal of the American Geriatrics Society 63, 2260–2268. https://doi.org/10.1111/jgs.13780

Tufatulin, G.S., Artyushkin, S.A., 2016. [Validation of the Russian language version of the SSQ questionnaire]. Vestn Otorinolaringol 81, 17–22. https://doi.org/10.17116/otorino201681217-22

Tun, P.A., McCoy, S., Wingfield, A., 2009. Aging, hearing acuity, and the attentional costs of effortful listening. Psychology and Aging 24, 761–766. https://doi.org/10.1037/a0014802

Tyler, R.S., Perreau, A.E., Ji, H., 2009. Validation of the Spatial Hearing Questionnaire: Ear and Hearing 30, 466–475. https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e3181a61efe

Uchida, Y., Sugiura, S., Nishita, Y., Saji, N., Sone, M., Ueda, H., 2019. Age-related hearing loss and cognitive decline — The potential mechanisms linking the two. Auris Nasus Larynx 46, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.anl.2018.08.010

Uhlmann, R.F., Larson, E.B., Rees, T.S., Koepsell, T.D., Duckert, L.G., 1989. Relationship of Hearing Impairment to Dementia and Cognitive Dysfunction in Older Adults. JAMA 261, 1916–1919. https://doi.org/10.1001/jama.1989.03420130084028

Uriarte, M., Denzin, L., Dunstan, A., Sellars, J., Hickson, L., 2005. Measuring Hearing Aid Outcomes Using the Satisfaction with Amplification in Daily Life (SADL) Questionnaire: Australian Data. Journal of the American Academy of Audiology 16, 383–402. https://doi.org/10.3766/jaaa.16.6.6

van Hooren, S. a. H., Anteunis, L.J.C., Valentijn, S. a. M., Bosma, H., Ponds, R.W.H.M., Jolles, J., van Boxtel, M.P.J., 2005. Does cognitive function in older adults with hearing impairment improve by hearing aid use? Int J Audiol 44, 265–271.

Vanstone, A.D., Wolf, M., Poon, T., Cuddy, L.L., 2016. Measuring engagement with music: development of an informant-report questionnaire. Aging Ment Health 20, 474–484. https://doi.org/10.1080/13607863.2015.1021750

Ventry, I.M., Weinstein, B.E., 1982. The Hearing Handicap Inventory for the Elderly: a New Tool. Ear and Hearing 3, 128–134.

Ventura-León, J., Peña-Calero, B.N., 2020. The world should not revolve around Cronbach's alpha ≥ .70. Adicciones 0. https://doi.org/10.20882/adicciones.1576

Verhaeghen, P., 2003. Aging and vocabulary score: A meta-analysis. Psychology and Aging 18, 332–339. https://doi.org/10.1037/0882-7974.18.2.332

Viergever, K., Kraak, J.T., Bruinewoud, Els.M., Ket, J.C.F., Kramer, S.E., Merkus, P., 2021a. Questionnaires in otology: a systematic mapping review. Syst Rev 10, 119. https://doi.org/10.1186/s13643-021-01659-9

Viergever, K., Kraak, J.T., Bruinewoud, E.M., Ket, J.C.F., Kramer, S.E., Merkus, P., 2021b. Questionnaires in otology: a systematic mapping review. Syst Rev 10, 119. https://doi.org/10.1186/s13643-021-01659-9

Vignaux, G., 2011. L'Aventure du corps. Pygmalion.

von Gablenz, P., Otto-Sobotka, F., Holube, I., 2018. Adjusting Expectations: Hearing Abilities in a Population-Based Sample Using an SSQ Short Form. Trends in Hearing 22, 2331216518784837. https://doi.org/10.1177/2331216518784837

Vos, T., Abajobir, A.A., Abate, K.H., Abbafati, C., Abbas, K.M., Abd-Allah, F., Abdulkader, R.S., Abdulle, A.M., Abebo, T.A., Abera, S.F., Aboyans, V., Abu-Raddad, L.J., Ackerman, I.N., Adamu, A.A., Adetokunboh, O., Afarideh, M., Afshin, A., Agarwal, S.K., Aggarwal, R., Agrawal, A., Agrawal, S., Ahmadieh, H., Ahmed, M.B., Aichour, M.T.E., Aichour, A.N., Aichour, I., Aiyar, S., Akinyemi, R.O., Akseer, N., Al Lami, F.H., Alahdab, F., Al-Aly, Z., Alam, K., Alam, N., Alam, T., Alasfoor, D., Alene, K.A., Ali, R., Alizadeh-Navaei, R., Alkerwi, A., Alla, F., Allebeck, P., Allen, C., Al-Maskari, F., Al-Raddadi, R., Alsharif, U., Alsowaidi, S., Altirkawi, K.A., Amare, A.T., Amini, E., Ammar, W., Amoako, Y.A., Andersen, H.H., Antonio, C.A.T., Anwari, P., Ärnlöv, J., Artaman, A., Aryal, K.K., Asayesh, H., Asgedom, S.W., Assadi, R., Atey, T.M., Atnafu, N.T., Atre, S.R., Avila-Burgos, L., Avokphako, E.F.G.A., Awasthi, A., Bacha, U., Badawi, A., Balakrishnan, K., Banerjee, A., Bannick, M.S., Barac, A., Barber, R.M., Barker-Collo, S.L., Bärnighausen, T., Barquera, S., Barregard, L., Barrero, L.H., Basu, S., Battista, B., Battle, K.E., Baune, B.T., Bazargan-Hejazi, S., Beardsley, J., Bedi, N., Beghi, E., Béjot, Y., Bekele, B.B., Bell, M.L., Bennett, D.A., Bensenor, I.M., Benson, J., Berhane, A., Berhe, D.F., Bernabé, E., Betsu, B.D., Beuran, M., Beyene, A.S., Bhala, N., Bhansali, A., Bhatt, S., Bhutta, Z.A., Biadgilign, S., Bicer, B.K., Bienhoff, K., Bikbov, B., Birungi, C., Biryukov, S., Bisanzio, D., Bizuayehu, H.M., Boneya, D.J., Boufous, S., Bourne, R.R.A., Brazinova, A., Brugha, T.S., Buchbinder, R., Bulto, L.N.B., Bumgarner, B.R., Butt, Z.A., Cahuana-Hurtado, L., Cameron, E., Car, M., Carabin, H., Carapetis, J.R., Cárdenas, R., Carpenter, D.O., Carrero, J.J., Carter, A., Carvalho, F., Casey, D.C., Caso, V., Castañeda-Orjuela, C.A., Castle, C.D., Catalá-López, F., Chang, H.-Y., Chang, J.-C., Charlson, F.J., Chen, H., Chibalabala, M., Chibueze, C.E., Chisumpa, V.H., Chitheer, A.A., Christopher, D.J., Ciobanu, L.G., Cirillo, M., Colombara, D., Cooper, C., Cortesi, P.A., Criqui, M.H., Crump, J.A., Dadi, A.F., Dalal, K., Dandona, L., Dandona, R., das Neves, J., Davitoiu, D.V., de Courten, B., De Leo, D.D.,

Defo, B.K., Degenhardt, L., Deiparine, S., Dellavalle, R.P., Deribe, K., Des Jarlais, D.C., Dey, S., Dharmaratne, S.D., Dhillon, P.K., Dicker, D., Ding, E.L., Djalalinia, S., Do, H.P., Dorsey, E.R., dos Santos, K.P.B., Douwes-Schultz, D., Doyle, K.E., Driscoll, T.R., Dubey, M., Duncan, B.B., El-Khatib, Z.Z., Ellerstrand, J., Enayati, A., Endries, A.Y., Ermakov, S.P., Erskine, H.E., Eshrati, B., Eskandarieh, S., Esteghamati, A., Estep, K., Fanuel, F.B.B., Farinha, C.S.E.S., Faro, A., Farzadfar, F., Fazeli, M.S., Feigin, V.L., Fereshtehnejad, S.-M., Fernandes, J.C., Ferrari, A.J., Feyissa, T.R., Filip, I., Fischer, F., Fitzmaurice, C., Flaxman, A.D., Flor, L.S., Foigt, N., Foreman, K.J., Franklin, R.C., Fullman, N., Fürst, T., Furtado, J.M., Futran, N.D., Gakidou, E., Ganji, M., Garcia-Basteiro, A.L., Gebre, T., Gebrehiwot, T.T., Geleto, A., Gemechu, B.L., Gesesew, H.A., Gething, P.W., Ghajar, A., Gibney, K.B., Gill, P.S., Gillum, R.F., Ginawi, I.A.M., Giref, A.Z., Gishu, M.D., Giussani, G., Godwin, W.W., Gold, A.L., Goldberg, E.M., Gona, P.N., Goodridge, A., Gopalani, S.V., Goto, A., Goulart, A.C., Griswold, M., Gugnani, H.C., Gupta, Rahul, Gupta, Rajeev, Gupta, T., Gupta, V., Hafezi-Nejad, N., Hailu, G.B., Hailu, A.D., Hamadeh, R.R., Hamidi, S., Handal, A.J., Hankey, G.J., Hanson, S.W., Hao, Y., Harb, H.L., Hareri, H.A., Haro, J.M., Harvey, J., Hassanvand, M.S., Havmoeller, R., Hawley, C., Hay, S.I., Hay, R.J., Henry, N.J., Heredia-Pi, I.B., Hernandez, J.M., Heydarpour, P., Hoek, H.W., Hoffman, H.J., Horita, N., Hosgood, H.D., Hostiuc, S., Hotez, P.J., Hoy, D.G., Htet, A.S., Hu, G., Huang, H., Huynh, C., Iburg, K.M., Igumbor, E.U., Ikeda, C., Irvine, C.M.S., Jacobsen, K.H., Jahanmehr, N., Jakovljevic, M.B., Jassal, S.K., Javanbakht, M., Jayaraman, S.P., Jeemon, P., Jensen, P.N., Jha, V., Jiang, G., John, D., Johnson, S.C., Johnson, C.O., Jonas, J.B., Jürisson, M., Kabir, Z., Kadel, R., Kahsay, A., Kamal, R., Kan, H., Karam, N.E., Karch, A., Karema, C.K., Kasaeian, A., Kassa, G.M., Kassaw, N.A., Kassebaum, N.J., Kastor, A., Katikireddi, S.V., Kaul, A., Kawakami, N., Keiyoro, P.N., Kengne, A.P., Keren, A., Khader, Y.S., Khalil, I.A., Khan, E.A., Khang, Y.-H., Khosravi, A., Khubchandani, J., Kiadaliri, A.A., Kieling, C., Kim, Y.J., Kim, D., Kim, P., Kimokoti, R.W., Kinfu, Y., Kisa, A., Kissimova-Skarbek, K.A., Kivimaki, M., Knudsen, A.K., Kokubo, Y., Kolte, D., Kopec, J.A., Kosen, S., Koul, P.A., Koyanagi, A., Kravchenko, M., Krishnaswami, S., Krohn, K.J., Kumar, G.A., Kumar, P., Kumar, S., Kyu, H.H., Lal, D.K., Lalloo, R., Lambert, N., Lan, Q., Larsson, A., Lavados, P.M., Leasher, J.L., Lee, P.H., Lee, J.-T., Leigh, J., Leshargie, C.T., Leung, J., Leung, R., Levi, M., Li, Yichong, Li, Yongmei, Li Kappe, D., Liang, X., Liben, M.L., Lim, S.S., Linn, S., Liu, P.Y., Liu, A., Liu, S., Liu, Y., Lodha, R., Logroscino, G., London, S.J., Looker, K.J., Lopez, A.D., Lorkowski, S., Lotufo, P.A., Low, N., Lozano, R., Lucas, T.C.D., Macarayan, E.R.K., Magdy Abd El Razek, H., Magdy Abd El Razek, M., Mahdavi, M., Majdan, M., Majdzadeh, R., Majeed, A., Malekzadeh, R., Malhotra, R., Malta, D.C., Mamun, A.A., Manguerra, H., Manhertz, T., Mantilla, A., Mantovani, L.G., Mapoma, C.C., Marczak, L.B., Martinez-Raga, J., Martins-Melo, F.R., Martopullo, I., März, W., Mathur, M.R., Mazidi, M., McAlinden, C., McGaughey, M., McGrath, J.J., McKee, M., McNellan, C., Mehata, S., Mehndiratta, M.M., Mekonnen, T.C., Memiah, P., Memish, Z.A., Mendoza, W., Mengistie, M.A., Mengistu, D.T., Mensah, G.A., Meretoja, T.J., Meretoja, A., Mezgebe, H.B., Micha, R., Millear, A., Miller, T.R., Mills, E.J., Mirarefin, M., Mirrakhimov, E.M., Misganaw, A., Mishra, S.R., Mitchell, P.B., Mohammad, K.A., Mohammadi, A., Mohammed, K.E., Mohammed, S., Mohanty, S.K., Mokdad, A.H., Mollenkopf, S.K., Monasta, L., Montico, M., Moradi-Lakeh, M., Moraga, P., Mori, R., Morozoff, C., Morrison, S.D., Moses, M., Mountjoy-Venning, C., Mruts, K.B., Mueller, U.O., Muller, K., Murdoch, M.E., Murthy, G.V.S., Musa, K.I., Nachega, J.B., Nagel, G., Naghavi, M., Naheed, A., Naidoo, K.S., Naldi, L., Nangia, V., Natarajan, G., Negasa, D.E., Negoi, R.I., Negoi, I., Newton, C.R., Ngunjiri, J.W., Nguyen, T.H., Nguyen, Q.L., Nguyen, C.T., Nguyen, G., Nguyen, M., Nichols, E., Ningrum, D.N.A., Nolte, S., Nong, V.M., Norrving, B., Noubiap, J.J.N., O'Donnell, M.J., Ogbo, F.A., Oh, I.-H., Okoro, A., Oladimeji, O., Olagunju, T.O., Olagunju, A.T., Olsen, H.E., Olusanya, B.O., Olusanya, J.O., Ong, K., Opio, J.N., Oren, E., Ortiz, A., Osgood-Zimmerman, A., Osman, M., Owolabi, M.O., Pa, M., Pacella, R.E., Pana, A., Panda, B.K., Papachristou, C., Park, E.-K., Parry, C.D., Parsaeian, M., Patten, S.B., Patton, G.C., Paulson, K., Pearce, N., Pereira, D.M., Perico, N., Pesudovs, K., Peterson, C.B., Petzold, M., Phillips, M.R., Pigott, D.M., Pillay, J.D., Pinho, C., Plass, D., Pletcher, M.A., Popova, S., Poulton,

R.G., Pourmalek, F., Prabhakaran, D., Prasad, N.M., Prasad, N., Purcell, C., Qorbani, M., Quansah, R., Quintanilla, B.P.A., Rabiee, R.H.S., Radfar, A., Rafay, A., Rahimi, K., Rahimi-Movaghar, A., Rahimi-Movaghar, V., Rahman, M.H.U., Rahman, M., Rai, R.K., Rajsic, S., Ram, U., Ranabhat, C.L., Rankin, Z., Rao, P.C., Rao, P.V., Rawaf, S., Ray, S.E., Reiner, R.C., Reinig, N., Reitsma, M.B., Remuzzi, G., Renzaho, A.M.N., Resnikoff, S., Rezaei, S., Ribeiro, A.L., Ronfani, L., Roshandel, G., Roth, G.A., Roy, A., Rubagotti, E., Ruhago, G.M., Saadat, S., Sadat, N., Safdarian, M., Safi, S., Safiri, S., Sagar, R., Sahathevan, R., Salama, J., Saleem, H.O.B., Salomon, J.A., Salvi, S.S., Samy, A.M., Sanabria, J.R., Santomauro, D., Santos, I.S., Santos, J.V., Santric Milicevic, M.M., Sartorius, B., Satpathy, M., Sawhney, M., Saxena, S., Schmidt, M.I., Schneider, I.J.C., Schöttker, B., Schwebel, D.C., Schwendicke, F., Seedat, S., Sepanlou, S.G., Servan-Mori, E.E., Setegn, T., Shackelford, K.A., Shaheen, A., Shaikh, M.A., Shamsipour, M., Shariful Islam, S.M., Sharma, J., Sharma, R., She, J., Shi, P., Shields, C., Shifa, G.T., Shigematsu, M., Shinohara, Y., Shiri, R., Shirkoohi, R., Shirude, S., Shishani, K., Shrime, M.G., Sibai, A.M., Sigfusdottir, I.D., Silva, D.A.S., Silva, J.P., Silveira, D.G.A., Singh, J.A., Singh, N.P., Sinha, D.N., Skiadaresi, E., Skirbekk, V., Slepak, E.L., Sligar, A., Smith, D.L., Smith, M., Sobaih, B.H.A., Sobngwi, E., Sorensen, R.J.D., Sousa, T.C.M., Sposato, L.A., Sreeramareddy, C.T., Srinivasan, V., Stanaway, J.D., Stathopoulou, V., Steel, N., Stein, M.B., Stein, D.J., Steiner, T.J., Steiner, C., Steinke, S., Stokes, M.A., Stovner, L.J., Strub, B., Subart, M., Sufiyan, M.B., Sunguya, B.F., Sur, P.J., Swaminathan, S., Sykes, B.L., Sylte, D.O., Tabarés-Seisdedos, R., Taffere, G.R., Takala, J.S., Tandon, N., Tavakkoli, M., Taveira, N., Taylor, H.R., Tehrani-Banihashemi, A., Tekelab, T., Terkawi, A.S., Tesfaye, D.J., Tesssema, B., Thamsuwan, O., Thomas, K.E., Thrift, A.G., Tiruye, T.Y., Tobe-Gai, R., Tollanes, M.C., Tonelli, M., Topor-Madry, R., Tortajada, M., Touvier, M., Tran, B.X., Tripathi, S., Troeger, C., Truelsen, T., Tsoi, D., Tuem, K.B., Tuzcu, E.M., Tyrovolas, S., Ukwaja, K.N., Undurraga, E.A., Uneke, C.J., Updike, R., Uthman, O.A., Uzochukwu, B.S.C., van Boven, J.F.M., Varughese, S., Vasankari, T., Venkatesh, S., Venketasubramanian, N., Vidavalur, R., Violante, F.S., Vladimirov, S.K., Vlassov, V.V., Vollset, S.E., Wadilo, F., Wakayo, T., Wang, Y.-P., Weaver, M., Weichenthal, S., Weiderpass, E., Weintraub, R.G., Werdecker, A., Westerman, R., Whiteford, H.A., Wijeratne, T., Wiysonge, C.S., Wolfe, C.D.A., Woodbrook, R., Woolf, A.D., Workicho, A., Xavier, D., Xu, G., Yadgir, S., Yaghoubi, M., Yakob, B., Yan, L.L., Yano, Y., Ye, P., Yimam, H.H., Yip, P., Yonemoto, N., Yoon, S.-J., Yotebieng, M., Younis, M.Z., Zaidi, Z., Zaki, M.E.S., Zegeye, E.A., Zenebe, Z.M., Zhang, X., Zhou, M., Zipkin, B., Zodpey, S., Zuhlke, L.J., Murray, C.J.L., 2017. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 328 diseases and injuries for 195 countries, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. The Lancet 390, 1211–1259. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32154-2

Wagner, A.E., Nagels, L., Toffanin, P., Opie, J.M., Başkent, D., 2019. Individual Variations in Effort: Assessing Pupillometry for the Hearing Impaired. Trends Hear 23, 2331216519845596. https://doi.org/10.1177/2331216519845596

Wallentin, M., Nielsen, A.H., Friis-Olivarius, M., Vuust, C., Vuust, P., 2010. The Musical Ear Test, a new reliable test for measuring musical competence. Learning and Individual Differences 20, 188–196. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2010.02.004

Ward, K.M., Shen, J., Souza, P.E., Grieco-Calub, T.M., 2017a. Age-Related Differences in Listening Effort During Degraded Speech Recognition. Ear & Hearing 38, 74–84. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000355

Ward, K.M., Shen, J., Souza, P.E., Grieco-Calub, T.M., 2017b. Age-Related Differences in Listening Effort During Degraded Speech Recognition: Ear and Hearing 38, 74–84. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000355

Ware Jr., J.E., 1999. SF-36 Health Survey, in: The Use of Psychological Testing for Treatment Planning and Outcomes Assessment, 2nd Ed. Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Mahwah, NJ, US, pp. 1227–1246.

Werner, P.D., Swope, A.J., 2006. The Music Experience Questionnaire: Development and Correlates 19.

West, S., 1885. Case of Aphasia in Which the Chief Lesion was Seated in the Supramarginal and Angular Gyri, Broca's Convolution Being Unaffected. Br Med J 1, 1242–1244.
Widaman, K.F., Little, T.D., Preacher, K.J., Sawalani, G.M., 2011. On creating and using short forms of scales in secondary research, in: Secondary Data Analysis: An Introduction for Psychologists. American Psychological Association, Washington, DC, US, pp. 39–61. https://doi.org/10.1037/12350-003
Wing, H.D., 1961. Standardized tests of musical intelligence. NFER Pub., Windsor, Berks.
Wingfield, A., Aberdeen, J.S., Stine, E.A., 1991. Word onset gating and linguistic context in spoken word recognition by young and elderly adults. J Gerontol 46, P127-129. https://doi.org/10.1093/geronj/46.3.p127
Wingfield, A., Tun, P.A., McCoy, S.L., 2005. Hearing Loss in Older Adulthood: What It Is and How It Interacts With Cognitive Performance. Curr Dir Psychol Sci 14, 144–148. https://doi.org/10.1111/j.0963-7214.2005.00356.x
Winkler, A., Carroll, R., Holube, I., 2020. Impact of Lexical Parameters and Audibility on the Recognition of the Freiburg Monosyllabic Speech Test. Ear Hear 41, 136–142. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000737
Winn, M.B., Wendt, D., Koelewijn, T., Kuchinsky, S.E., 2018. Best Practices and Advice for Using Pupillometry to Measure Listening Effort: An Introduction for Those Who Want to Get Started. Trends in Hearing 22, 233121651880086. https://doi.org/10.1177/2331216518800869
Wright, D., Gagné, J.-P., 2020. Acclimatization to Hearing Aids by Older Adults. Ear & Hearing Publish Ahead of Print. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000913
Zekveld, A.A., Kramer, S.E., 2014. Cognitive processing load across a wide range of listening conditions: insights from pupillometry. Psychophysiology 51, 277–284. https://doi.org/10.1111/psyp.12151
Zekveld, A.A., Kramer, S.E., Festen, J.M., 2011. Cognitive load during speech perception in noise: The influence of age, hearing loss, and cognition on the pupil response. Ear and hearing 32, 498–510.
Zekveld, A.A., Rudner, M., Johnsrude, I.S., Rönnberg, J., 2013. The effects of working memory capacity and semantic cues on the intelligibility of speech in noise. The Journal of the Acoustical Society of America 134, 2225–2234. https://doi.org/10.1121/1.4817926
Zekveld, A.A., Rudner, M., Kramer, S.E., Lyzenga, J., RÃ¶nnberg, J., 2014. Cognitive processing load during listening is reduced more by decreasing voice similarity than by increasing spatial separation between target and masker speech. Front. Neurosci. 8. https://doi.org/10.3389/fnins.2014.00088
Zendel, B.R., Tremblay, C.-D., Belleville, S., Peretz, I., 2015. The Impact of Musicianship on the Cortical Mechanisms Related to Separating Speech from Background Noise. Journal of Cognitive Neuroscience 27, 1044–1059. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00758

VII. Annexes

Annexe 1: publications et communications scientifiques liées à la thèse

I. Articles soumis dans des revues scientifiques internationales à comité de lecture

- En premier auteur

- **Ferschneider M,** Moulin A. **(2021)** *Listening effort and hearing abilities in hearing-impaired patients: two sides of the same coin.* **Ear and Hearing**, (under review).

- En deuxième auteur

Lou Seropian, Mathieu Ferschneider, Fanny Cholvy, Christophe Micheyl, Aurélie Bidet-Caulet, Annie Moulin (2021) Comparing methods of analysis in pupillometry: application to the assessment of listening effort in hearing-impaired patients. **HELIYON** (under review).

II. Articles dans des revues professionnelles en Français sans comité de lecture

- **Ferschneider M**, Cazals B, Henriot N, Gallego S, Moulin A, **(2019)** Validation de la version française du questionnaire de Satisfaction SADL (Satisfaction with Amplification in Daily Life). Les cahiers de l'audition. N°5/2019, 29-35.

- **Ferschneider M,** Gallego, S, Moulin, A., **(2022)** Utilisation du Questionnaire d'habiletés auditives `` Parole, audition spatiale et qualité d'audition ' (Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale) (SSQ) en audioprothèse. les cahiers de l'audition, 1, 38–43.

- **Ferschneider M**, Cholvy F, Kreiss M, Bigeard T, Berger P, Gallego S, Moulin A. **(2022)** Effort d'écoute et capacités auditives : 2 côtés d'une même médaille ?. Les cahiers de l'audition, 3/2022, 29-35.

- Moulin A, **Ferschneider M (2019)** Effort d'écoute et Pupillométrie en Audioprothèse. Les cahiers de l'audition. N°2/2019, 14-17.
- Hochart A, **Ferschneider M**, Henriot N, Valla L, Moulin A **(2019)** *Traduction et Adaptation culturelle du SADL (Satisfaction with amplification in daily life) en français*. Les cahiers de l'audition. N°4/2019, 29-35.

III. Communications scientifiques en congrès

Conférences nationales en tant qu'orateur invité

- **Ferschneider M,** Moulin A. **(2021)** Effort d'écoute et capacités auditives : 2 côtés d'une même médaille. **Enseignement Post Universitaire (EPU) national** des audioprothésistes. 26 Novembre et 27 Novembre 2021 à la Cité des Sciences et de l'industrie, Paris.
- **Ferschneider M,** Moulin A. **(2021)** Evaluation subjective de l'audition par questionnaires. Communication orale **aux 23ième Assises d'ORL** de Nice. 10 Juin et 12 Juin 2021 à l'Acropolis - Palais des Congrès de Nice.
- **Ferschneider M,** Moulin A. **(2020)** L'effort d'écoute : Analyse et implication. Communication orale aux **22ième Assises d'ORL** de Nice. 30 Janvier et 1er Février 2020 à l'Acropolis - Palais des Congrès de Nice.
- Moulin A, **Ferschneider M (2021)** Comment évaluer l'effort d'écoute. Ateliers du 16ième congrès de la société française d'Audiologie, 15-16 octobre 2021. Palais des congrès de la grande motte (Montpellier).
- Moulin A, **Ferschneider M (2021)** La prothèse auditive : Quelles évaluations ? Du dépistage à la prescription jusqu'à la vérification de l'efficacité. Webinar «Audiologie» 4 février 2021.

Communications à des congrès internationaux

Communications orales

- **Ferschneider M**., Hochart A., Cazals B., Henriot N., Moulin A. Towards a French language version of the Satisfaction with Amplification in Daily Life questionnaire (SADL). Oral communication at the **14th congress of the European Federation of Audiological Societies**, 22-25 may 2019, Lisbon (Portugal). Abstract published in *Journal of Hearing Science*, **2019**; 9(1) Supplement: 72:: ID: 03964.

Communications affichées

- **Ferschneider M.,** Ghrenassia, R., Aguera, P.E., Moulin, A. (2021) Application of a new French Speech in Noise Perception test: Audimages test, on a Population of Hearing Aid Wearers. Poster selected for poster discussion at the **virtual 15th congress of the European Federation of Audiological Societies**, 20-21 may 2021.
- **Ferschneider M**., Cholvy, F., Gallego, S., Moulin, A. (2021) Validation of the Extended Version of the Effort Assessment Scale, and comparison with the Speech Spatial Qualities of hearing scale short-form in a large population of hearing-aid wearers Poster selected for poster discussion at the **virtual 15th congress of the European Federation of Audiological Societies**, 20-21 may 2021.

- **Ferschneider, M,** R. Ghrenassia, D, Amsellem, P. Berger , A. Pralus, G. Ginzburg, PE Aguera, Anne Caclin, A. Moulin **(2021)** Cognitive Factors and Speech in Cocktail Party Noise Perception in Hearing-aid Wearers. Communication affichée à **NeuroFrance 2021**, International Virtual Meeting,19-21 may 2021
- F**erschneider M.,** Gallego S., Moulin A. Influence of design principles of word lists on speech in noise discrimination scores in a population of hearing-haid wearers. Poster selected for poster discussion at the **14th congress of the European Federation of Audiological Societies**, 22-25 may 2019, Lisbon (Portugal). Abstract published in *Journal of Hearing Science*, **2019;** 9(1) Supplement: 127-128:ID: 03918 – P089.
- **Ferschneider M.,** Gallego S., Moulin A. Single sided deafness and hearing asymmetry : specific patterns on several hearing questionnaires. Poster presented at the **14th congress of the European Federation of Audiological Societies**, 22-25 may 2019, Lisbon (Portugal). Abstract published in *Journal of Hearing Science*, **2019**; 9(1) Supplement: 169-170: ID: 03967 – P126.
- Loriot, C., **Ferschneider, M**., Aguera, PE., Ghrenassia, R., Ginzburg, J., Pralus, A., Caclin, A., Moulin, A.: Verbal and Musical Short-term memory assessment in hearing-aids wearers. Poster selected for poster discussion at the **virtual 15th congress of the European Federation of Audiological Societies**, 20-21 may **2021**.
- Loriot, C., **Ferschneider, M**., Moulin, A, Development of an Auditory Leisure Questionnaire for Hearing-Aid Users. Oral communication at the virtual **15th congress of the European Federation of Audiological Societies**, 20-21 may **2021.**
- Seropian L., **Ferschneider M.,** Cholvy F., Gallego S., Micheyl C., Moulin A. Pupillometry: new insights to effectively assess listening effort in hearing impaired people. Poster selected for poster discussion at the 1**4 th congress of the European Federation of Audiological Societies**, 22-25 may 2019, Lisbon (Portugal). Abstract published in Journal of Hearing Science, 2019; 9(1) Supplement: 149-150:: ID: 03901 – P079.
- Seropian L., **Ferschneider M.,** Cholvy F., Gallego S., Moulin A. Self-reported listening effort measured by an extended version of the Effort Assessment Scale (EEAS). Poster presented at the **14th congress of the European Federation of Audiological Societies,** 22-25 may 2019, Lisbon (Portugal). Abstract published in Journal of Hearing Science, 2019; 9(1) Supplement:170: ID: 03902 – P127.
- Moulin A., **Ferschneider M.,** Vergne J., Gallego S., Micheyl C. The 15iSSQ : a 15 item SSQshort-form : factor : cluster : reliability and comparative analyses. Poster selected for poster discussion at the **14th congress of the European Federation of Audiological Societies**, 22-25may 2019, Lisbon (Portugal). Abstract published in Journal of Hearing Science, 2019; 9(1) Supplement: 149:: ID: 03877 – P075.

Communications affichées en congrès national

- **Ferschneider M**, Moulin A **(2021)** Application d'un nouveau test d'audiométrie vocale à choix forcé : l'Audimage, sur une population de patients appareillés. Communication affichée au **16ième congrès de la société Française d'Audiologie**, 15-16 octobre 2021. Palais des congrès de la grande motte.

- **Ferschneider M**, Stéphane Gallego S, Moulin A **(2019)** *Mesure du handicap et du bénéfice de la réhabilitation de pertes auditives asymétriques à l'aide de questionnaires.* Communication affichée au **41ème Congrès national d'audioprothèse** du 22/23 mars 2019 au Palais des congrès, Paris. Abstract et poster publiés dans les Actes du congrès national d'audioprothèse, 2019.
- **Ferschneider M**, Gallego S, Moulin A **(2019)** *Influence des principes de conception des listes de mots sur les scores d'intelligibilité dans le bruit, mesurés chez une population de sujets appareillés.* Communication affichée au **41ème Congrès national d'audioprothèse** du 22/23 mars 2019 au Palais des congrès, Paris. Abstract et poster publiés dans les Actes du congrès national d'audioprothèse, 2019.
- Hochart A, **Ferschneider M**, Henriot N, Valla L, Moulin A **(2019)** *Traduction et Adaptation culturelle du SADL (Satisfaction with amplification in daily life) en Français*. Communication affichée au **41ème Congrès national d'audioprothèse** du 22/23 mars 2019 au Palais des congrès, Paris. Abstract et poster publiés dans les Actes du congrès national d'audioprothèse, 2019. Communication lauréate du **premier prix du poster scientifique**.

Autres : journées scientifiques de l'école doctorale

- **M. Ferschneider,** PE Aguera, R. Ghrenassia, J. Ginzburg, A. Pralus, A. Caclin, A. Moulin. **(2021)** Speech-in-noise Perception and Short-term Memory in Hearing-Aids Wearers. Communication afichée à la journée scientifique de l'école doctorale NSCo, (online session 29 January 2021**).**

Annexe 2 : résultats scientifiques complémentaires

2.1 Tableau récapitulatif et caractéristiques des différentes versions du questionnaire SADL retrouvées dans la bibliographie

Caractéristiques																	
Pays	France	Bresil	Portugal	Australie	USA	Bresil 2	Chinoise	Honk kong	Iran	Australie		USA 1	Allemagne	Bresil		USA Iowa	USA 4
Validation	Oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non	non		non	non	non		non	non
Auteurs	Nous	garcia mondelli and al. 2011	Roque dos reis and al, 2017	Uriarte M and al, 2016	COX 2001	Kozlowski L and al, 2017	Te-yung fang and al, 2013	Anna Chi Shan Kam	Rezvan Dashti1, Farzad Faraji Khiavi2, Seyyed Jalal Sameni3, and Arash Bayat4	Mcleod B and al, 2001		COX 1999	Hartmut Meister * , Linda Grugel * , Markus Meis † & Juergen Kiessling ‡	Nayara Freitas Fernandes1 Maria Valéria Schmidt Goffi-Gomez1 Ana Tereza De Matos Magalhães1 Robinson Koji Tsuji1 Rubens Vuono De Brito1		Hua Ou* Camille C. Dunn Ruth A. Bentler* Xuyang Zhang*	Holly Hosford-Dunn* Jerry Halpern'
Titre		Cultural Adaptation of the SADL (Satisfaction with Amplification in Daily Life) questionaire for Brazilian Portuguese	Translation, Cultural Adaptation and Validation of the Satisfaction with Amplification in Daily Life Scale for European Portuguese	Measuring Hearing Aid Outcomes Using the Satisfaction with Amplification in Daily Life (SADL) Questionnaire: Australian Data	Validation of the SADL Questionnaire	Satisfaction of Elderly Hearing Aid Users	Validation of the Chinese version "satisfaction with amplification in daily life (SADL)" survey for hearing-aid users	Hearing-aid outcomes in Chinese adults: Clinical application and psychometric properties of the Chinese version of the Satisfaction with Amplifi cation in Daily Life questionnaire	Satisfaction with Hearing Aids among Aged Patients with Different Degrees of Hearing Loss and Length of Daily Use	An Investigation of the Applicability of the Inventory, Satisfaction With Amplification in Daily Life, at 2 Weeks Post Hearing Aid Fitting		Measuring Satisfaction With Amplification in Daily Life: The SADL Scale	Use of self-assessment inventories in hearing-aid provision: German versions of ECHO and SADL	Satisfaction and quality of life in users of auditory brainstem implant		Measuring Cochlear Implant Satisfaction in Postlingually Deafened Adults with the SADL Inventory	Clinical Application of the SADL scale in private practice 11 Predictive Validity of Fitting Variables
Population																	
nombre participant	245	30	147	1014	196	91	155	125	40	45	75	257	520 tot 462 pour SADL	adultes: 10	enfants:9	135	374
age moyen	72	66.36	66.09	75.32		66.65	57	67.1	74.62	75.7	76.3	76	69	39	8		
age min	32	19	16	29	23	60	4	49.6	66			61		25	4		
age max	97	88	93	104	98	96	90	85	86			91		58	14		
% homme	48	63	54	54.4	53.6	57	54	96	30	46.4	43	58	59			48	
% femme	52	37	46	45.6	46.4	43	46	4	10	53.6	57	42	41			52	
%binaural	83			54.8		73.3	57	18	0	75.1	72					35 avec aide auditive controlatérale	
% reponses manquantes					0.03												
perte auditive legere						15	43		0								
moy						46	81		20								
severe						26	28		11								
profonde						4											
moyenne perte auditive (dB)	54.5			40.21				59.6		41.1	39.9		48.1				
Appareillage auditif																	
ITC					39		73										195
BTE					118		57	65									97
ITE					39		13	51									82
Implant cochléaire														10	9	100	
BONE							2										
depuis cb de tps portez vs vos app actuels								3.6						3	3		
moins 6 semaines	13		16					3									
6 semaines à 11 mois	39		34					13	5								
1 à 5 ans	81		80						31								
plus 5 ans	17		17						4								
depuis cb de tps etes vous app																	
plus 10 ans	27	0	67	160		28	22	106	8								
1 a 10 ans	82	14	55	354		28	84		5								
6 à 11 mois	28	16	18	487		16	39		1								
inf à 6 mois	7	0	7	13		19	10		26								
temps de port/jour																	
jamais	0			30													
moins 1h	0			51	8			8									
entre 1 et 4h	2			355	20		23	43	4								
entre 4 et 8h	20		22	274	35		59	24	7								
PLUS DE 8H			125	304	133		70		29								
entre 8 et 12h	51							26									
plus de 12h	77							11									
niveau de gene sans aa																	
aucune	0																
legere	10		9														
moyenne	55		74														
importante	58		64														
tres importante	25																
entendez vous bien au tel sans aa																	
oui	54		47														
non	95		100											non	non		
Analyse																	
Comp avec COX USA			oui	OUI			oui	oui						non	non		
Crombach gene			oui	non	oui		oui	oui	oui 0.8					non	non	oui	
crombach sous échelles			oui	non	oui		oui	oui						non	non	oui et analyse de cluster	
Corre perte auditive			non	oui		oui			Oui					non	non		oui
autre questionnaire			non	oui OHS Client Satisfaction Survey										WHOQOL-Bref	KINDLR questionnaire		
Test rest		oui dans la journée	non				oui							non	non	oui (63 patients)	
relation avec test reco voc							oui							non	non		

Mean sadl question	France	Bresil	Portugaise	australienne	COX 1999	COX 2001	Bresil 2	Chinoise	Australie 2		Allemagne	Honk kong
1	6.03	6.35	6.1		4.9			5	5.1	4.6	Voir graphe !	4.68
2	2.69047619	4.53	4.01		3.5			6	5.5	4.6		3.64
3	6.63	6.85	6.23		5.7			5	6	5.2		5.18
4	3.73591549	3.16	5.42		5.5			6	5.9	5.8		3.72
5	5.64285714	6.1	5.51		4.6			5	4.7	4.2		4.62
6	6.53355705	6.8	6.45		5.6			5	6	5.3		4.77
7	4.13636364	3.41	4.13		4.1			6	6.4	5.1		2.98
8	6.17785235	6.33	5.5		5			4	5.4	5.1		5.05
9	5.51027397	6.8	5.76		4.2			5	4.1	3.9		4.69
10	5.56333333	6	5.22		4.4			4	4.6	4.4		4.29
11	4.76732673	6.16	4.57		3			5	3.9	3		4.08
12	6.73310811	6.93	6.61		6.1			5	6.6	6.1		5.12
13	5.34353741	2.83	5.7		6.4			6	6.9	6.4		4.86
14	3.48287671	5.38	3.5		3.5			3	5.8	5		3.76
15	5.18661972	6.52	5.62		4.9			5	5.2	5.2		4.24
Spearman correlation sadl question												
1					0.76			0.83				0.52
2					0.38			0.76				0.43
3					0.72			0.85				0.63
4					0.49			0.79				0.03
5					0.69			0.86				0.35
6					0.8			0.86				0.48
7					0.39			0.69				0.2
8					0.33			0.83				0.51
9					0.67			0.9				0.5
10					0.57			0.76				0.45
11					0.3			0.84				0.44
12					0.46			0.72				0.42
13					0.41			0.77				0.07
14					0.45			0.71				0.5
15					0.45			0.87				0.53

SADL subscale	Pays	N	Mean	Median	min	max	standard devi	A CRONBACH
Positive effect	France	150	5.98766816	6.57				
services and costs		150	5.14105505					
negative factors		150	3.75575448					
personal image		150	5.10616438					
global		150	4.98287077					
Positive effect	Bresil	30	6.5		5.3	7	0.49	
services and costs		30	6.26	6.7	3.1	7	0.93	
negative factors		30	4.73	4.67	2.15	7	1.5	
personal image		30	5.43	6	2.7	7	1.6	
global		30	5.88	5.85	4.8	7	0.67	
Positive effect	Portugaise	147	5.88		2.5	7	0.89	0.87
services and costs		147	5.25		2.33	6.67	0.86	0.52
negative factors		147	4.24		1	7	1.26	0.3
personal image		147	5.57		2.67	7	0.99	0.29
global		147	5.4		2.67	6.73	0.69	0.75
Positive effect	australienne	961	4.98		1	7	1.21	
services and costs		835	5.7		1	7	1.14	
negative factors		940	4.74		1	7	1.38	
personal image		953	5.86		1	7	0.93	
global		813	5.27		2.43	7	0.81	
Positive effect	COX 1999	225	4.9					0.88
services and costs		126	5.4					0.61
negative factors		217	3.6					0.54
personal image		92	5.6					0.59
global		257	4.9					0.85
Positive effect	COX 2001	196						
services and costs		196						0.43
negative factors		196						
personal image		196						0.46
global		196						0.82
Positive effect	Bresil 2	91	5.42	5.5	1	7	1.11	
services and costs		91	5.98	6.33	2.67	7	0.89	
negative factors		91	3.2	3	1	6.67	1.33	
personal image		91	3.61	3.33	1	7	1.05	
global		91	4.73	4.8	2.87	6.33	0.66	
Positive effect	Chinoise	155	5					0.92
services and costs		155	4.5					0.65
negative factors		155	5.4					0.63
personal image		155	5					0.71
global		155	5					0.92
	Australie 2	2 WEEKS						
Positive effect		45	5.1					
services and costs		45	5.9					
negative factors		45	5.5					
personal image		45	6					
global		45	5.5					
		1 YEAR						
Positive effect		75	4.6					
services and costs		75	5.4					
negative factors		75	4.3					
personal image		75	5.8					
global		75	4.9					
	Bresil 3	Enfants						
Positive effect		9	2.7		1	3.8	0.9	
services and costs		9	6.1		0	7	2.5	
negative factors		9	1		0.3	2.3	0.5	
personal image		9	3		2	4.3	0.6	
global		9	2.9		2	3.5	0.4	
		Adultes						
Positive effect		19	4.1		3.6	6.1	0.9	
services and costs		19	5.1		0	7	2.5	
negative factors		19	2.4		1	4.3	0.5	
personal image		19	3.2		0.5	4.3	0.6	
global		19	3.6		2.8	4.5	0.4	
	USA iowa							
Positive effect		135	6.2				0.8	
services and costs		135	5				1.3	
negative factors		135	5.5				1.1	
personal image		135	4.7				1.3	
global		135	5.6				0.8	
	Honk kong							
Positive effect		125	4.66				1.12	
services and costs		125	4.09				1.33	
negative factors		125	3.2				1.37	
personal image		125	4.32				1.2	
global		125	4.19				0.88	
	Iran							
Positive effect		40	5.85					
services and costs		40	4.83					
negative factors		40	3.55					
personal image		40	4.45					
global		40	4.19					

			Total				Sans la section aptitudes musicales			
			Avant appareillage		Après appareillage		Avant appareillage		Après appareillage	
Section	Items	Echelle double:avant/après	Item.Total	Alpha.Without	Item.Total	Alpha.Without	Item.Total	Alpha.Without	Item.Total	Alpha.Without
Aptitudes musicales	1		0.866563	0.9775295	0.879288	0.9732669				
	2		0.878451	0.977677	0.851089	0.973636				
	3		0.819086	0.9778139	0.846405	0.9735352				
	4		0.814996	0.978025	0.818095	0.9739049				
	5		0.944658	0.9771362	0.937047	0.9728606				
Musique au quotidien	6	X	0.663112	0.9788435	0.732275	0.9743401	0.69875	0.9674896	0.763504	0.9606514
	7	X	0.912157	0.9772656	0.900693	0.9730198	0.898628	0.9654078	0.899794	0.9589437
	8	X	0.443822	0.9797545	0.461239	0.9756012	0.460217	0.9691769	0.458905	0.9632348
	9	X	0.971646	0.9768707	0.981489	0.9724853	0.963447	0.9647703	0.962876	0.9582999
	10	X	0.943543	0.977442	0.738767	0.9740107	0.874987	0.9659213	0.740531	0.9606889
Emotions	11	X	0.944406	0.9771247	0.88495	0.9731939	0.928329	0.9652569	0.882657	0.9593808
	12	X	0.796288	0.977888	0.745509	0.9739717	0.789313	0.9664867	0.744879	0.9606697
	13	X	0.960841	0.9771635	0.977769	0.9728306	0.931805	0.9653252	0.943801	0.9588596
	14	X	0.985717	0.9767895	0.942045	0.9728003	0.980131	0.9645989	0.942163	0.9586804
	15	X	0.785878	0.9780395	0.727748	0.9741607	0.809949	0.9666376	0.741233	0.9609857
	16	X	0.758086	0.9780448	0.762282	0.9738612	0.742589	0.9667649	0.745456	0.9605781
	17	X	0.960841	0.9771635	0.977769	0.9728306	0.931805	0.9653252	0.943801	0.9588596
Socio-économie	18	X	0.94292	0.9770637	0.921425	0.9729232	0.616685	0.9681855	0.60417	0.9622868
	19	X	0.821863	0.9777943	0.826805	0.9735357	0.833496	0.965981	0.841078	0.9595892
	20	X	0.959388	0.9769749	0.963611	0.9726713	0.935484	0.9651294	0.944148	0.9586801
	21	X	0.72722	0.9783189	0.68654	0.9745248	0.661529	0.9675815	0.623817	0.9620217
	22	X	0.84871	0.9776192	0.854747	0.9734029	0.850419	0.9659732	0.856154	0.9596906
	23	X	0.838904	0.9776466	0.856667	0.973364	0.830263	0.9661234	0.853063	0.9597122
Satisfaction	24	X	**0.686628**	0.978408	**0.399435**	0.9754222	0.690364	0.9671953	0.426411	0.9630189
	25	X	0.816623	0.9777451	0.583338	0.9748829	0.718545	0.9669865	0.532253	0.9625477
	26	X	0.569633	0.9788702	0.415522	0.975563	0.58567	0.967941	0.428018	0.9632061
	27		**0.27663**	0.9800565	**0.234404**	0.9763296	0.207711	0.970424	0.161486	0.9651019
	28		0.443435	0.9799803	0.447273	0.9759737	0.461115	0.9699076	0.459518	0.964088
	29		0.8616	0.9784754	0.859334	0.9744427	0.835349	0.9676947	0.836786	0.9617584
	30		0.3897	0.9793911	0.452671	0.9753009	0.433346	0.9688917	0.505933	0.9628269

	Total	Avant appareillage	Après appareillage
Alpha de Cronbach	0.9885213	0.9786981	0.9748227
Interval de confiance ha	0.9867648	0.9739622	0.9692253
Interval de confiance ba	0.9901504	0.9829358	0.9798314

2.3 Matrice de corrélation entre les différentes sections du questionnaire LoA et les variables externes.

*p<0.05 **p<0.01 ***p<0.001	LoA total avant	LoA total après	LoA Aptitudes	LoA Quotidien avant	LoA Quotidien après	LoA Emotion avant	LoA Emotion après	LoA SocioEco avant	LoA SocioEco après	LoA Satisfaction avant	LoA Satisfaction après	Age	Age des aides auditives actuelles	Gamme de l'aide auditive	Nombre de canaux de l'aide auditive	Temps de port des aides auditives (H/jour)	Perte sur la meilleure oreille (dB HL)	Seuil prothétique Meilleur correction (dB HL)
LoA total avant																		
LoA total après	0.9292***																	
LoA Aptitudes	0.7031***	0.6056***																
LoA Quotidien avant	0.8441***	0.7891***	0.4279**															
LoA Quotidien après	0.8075***	0.8611***	0.3983**	0.9436***														
LoA Emotion avant	0.8448***	0.7949***	0.4187**	0.6704***	0.6396***													
LoA Emotion après	0.7584***	0.8557***	0.3128*	0.6194***	0.6978***	0.9057***												
LoA SocioEco avant	0.8557***	0.7262***	0.571***	0.6851***	0.625***	0.6992***	0.5641***											
LoA SocioEco après	0.7844***	0.8795***	0.4225**	0.6394***	0.7232***	0.6859***	0.7603***	0.7834***										
LoA Satisfaction avant	0.5202***	0.6155***	0.2144	0.2973*	0.3661*	0.3792**	0.4755***	0.2885*	0.4981***									
LoA Satisfaction après	0.4228**	0.5742***	0.1169	0.2338	0.3405*	0.3138*	0.4558**	0.1806	0.4554**	0.9597***								
Age	-0.3895**	-0.4066***	-0.3623*	-0.161	-0.1848	-0.3663*	-0.3367*	-0.3494*	-0.3884**	-0.2702	-0.2837							
Age des aides auditives actuelles	-0.324*	-0.2895	-0.2641	-0.2076	-0.2045	-0.3946**	-0.3323*	-0.2971	-0.2611	-0.03368	0.03413	0.2462						
Gamme de l'aide auditive	-0.164	-0.1849	-0.1154	-0.03451	-0.07625	-0.1271	-0.1101	-0.2262	-0.2726	-0.2512	-0.2367	0.05059	0.08133					
Nombre de canaux de l'aide auditive	0.1219	0.1128	0.1151	0.05976	0.07809	0.08189	0.03614	0.1586	0.164	0.08607	0.0539	-0.001497	-0.2752	-0.8976***				
Temps de port des aides auditives (H/jour)	0.165	0.1861	0.09884	0.111	0.1449	0.03738	0.0543	0.1984	0.2008	0.254	0.2634	-0.2	0.05874	-0.1877	0.06842			
Perte sur la meilleure oreille (dB HL)	-0.1572	-0.09456	-0.187	-0.1423	-0.1244	-0.1703	-0.09888	-0.1645	-0.02004	0.1434	0.149	0.3553*	0.09063	-0.09753	0.04144	0.05018		
Seuil prothétique Meilleur correction (dB HL)	-0.1123	-0.1455	-0.08322	-0.1686	-0.2258	-0.103	-0.1457	-0.1472	-0.1043	0.1083	0.02867	0.2602	-0.07692	-0.1329	0.1891	-0.2723	0.5482***	

2.4 Liste complète des items SSQ, avec les 10 sous-échelles pragmatiques correspondantes, et avec une indication de leur inclusion dans les différents formulaires abrégés SSQ

Numero d'items	Sous échelles	Items du SSQ	Sous échelles selon la version SSQ10	Formes courtes			15iSSQ
		Questions abrégées (Bahn et al., 2012)	(Gatehouse & Akeroyd, 2006)	SSQ5	SSQ12	SSQ15	
1	Parole	Ecoute de la parole avec le TV allumée	Ecoute dans le buit		x		x
2		Ecoute de la parole avec le TV allumée	Ecoute dans le calme				
3		Discussion avec 5 personnes que l'on voit	Ecoute dans le calme				
4		Discussion avec 5 personnes que l'on voit	Ecoute dans le buit		x	x	x
5		Ecoute de la parole avec un bruit de fond	Ecoute dans le buit			x	x
6		Discussion avec 5 personnes que l'on ne voit pas	Ecoute dans le buit				x
7		Discussion dans un environement reverberant	Parole en discussion			x	
8		Ignorer les voix parasites de même hauteur	Parole en discussion	x			
9		Ignorer les voix parasites d'hauteur différentes	Parole en discussion			x	
10		Ecoute de la parole avec la TV allumée	parole avec plusieurs interlocuteurs		x	x	
11		Suivre une conversation dans une discussion	Parole en discussion		x		x
12		Suivre le changement de conversation dans un groupe	parole avec plusieurs interlocuteurs		x		
13		Avoir une conversation au téléphone					
14		Suivez une personne qui parle et téléphone	parole avec plusieurs interlocuteurs				
1	Ecoute Spatial	Localiser la tondeuse à gazon	Localisation				
2		Localiser la personne qui parle autour de la table	Localisation				x
3		Latéraliser un locuteur à gauche ou à droite	Localisation	x			
4		Localisez un claquement de porte dans une maison inconnue	Localisation				
5		Localiser un buit au-dessus ou en dessous dans la cage d'escalier	Localisation			x	
6		Localiser les aboiements de chien	Localisation		x	x	x
7		Localiser d'où vient la voiture sur la route	Distance et mouvement			x	x
8		Évaluer la distance des sons	Distance et mouvement				
9		Juger la distance d'un véhicule	Distance et mouvement	x	x	x	
10		Identifier le mouvement latéral d'une voiture	Distance et mouvement				
11		Identifier les mouvements latéraux (voix ou pas)	Distance et mouvement				x
12		Identifier l'approche ou le recul (voix ou pas)	Distance et mouvement			x	
13		Identifiez si la voiture s'approche ou s'éloigne	Distance et mouvement		x		
14		sons internes ou externes					
15		Son plus proche que prévu	Distance et mouvement				
16		Son plus loin que prévu	Distance et mouvement				
17		Sons à l'emplacement prévu					x
1	Qualité	Séparation de deux sons	Séparation des sons				
2		Sons apparaissant brouillés	Séparation des sons		x		
3		Musique et voix comme sons séparés	Séparation des sons			x	
4		Identifier différentes personnes selon leur voix	Identification des sons et des objets			x	x
5		Distinguer la musique familière	Identification des sons et des objets				x
6		Distinguer différents sons	Identification des sons et des objets				x
7		Identifier les instruments en musique	Identification des sons et des objets		x		
8		Ecoute naturelle de la musique	Qualité sonore et écoute naturel			x	x
9		Clarté des sons du quotidien	Qualité sonore et écoute naturel	x	x	x	x
10		Naturel des autres voix	Qualité sonore et écoute naturel			x	
11		Naturel des sons du quotidien	Qualité sonore et écoute naturel				
12		Naturel de sa propre voix	Qualité sonore et écoute naturel				
13		Jugement de l'humeur par la voix	Identification of sounds and objects				
14		Besoin de concentration a l'écoute	Effort d'écoute	x	x		
16		Effort de conversation					
17		Lorsque vous conduisez en voiture					
18		Lorsque vous être passagé en voiture	Effort d'écoute				
19		Capacité à ignorer les sons concurrents	Effort d'écoute				

2.5 Caractéristiques des différents tests cognitifs.

	Nom du Test	Précisions sur la fonction testée	Temps passation	En francais	Validé	Spécificité	Sensibilité
Test de niveau cognitif global	*WAIS-4*		1h15 /1h45	oui	oui		
	MMS (Folstein)		10 min	oui	oui	80%	90%
	3MS de Teng			oui	oui	97%	91%
	Echelle hiérarchisée de la démence de Cole		15/30 min	oui	oui		
	CDR de Hughes		60 min	oui	non		
	GDS de Reisberg		10 min	oui	non		
	BCR de Reisberg		au moins 1 H	oui	?		
	ADAS-Cog		45 à 90 minutes	oui	oui		
	EFRC De Gil		15 min	oui	oui		
	Batterie d'évaluation cognitive (BEC 96)		20 min	oui	oui		
	DRS de Mattis		1H	oui	non	99%	97%
	Sever impairment Battery (SIB)		20 à 40 min	oui	oui		
	Batterie d'évaluation courte (B2C)		11 min	oui	oui	85%	93.80%
	Bac 40		15 min	oui	oui		
	Echelle de Blessed		25/30 min	oui	non		
	7 minutes screen		12 min	oui	oui		
	MOCA (Montréal cognitive assessement)		10 min	oui	oui		
Tests Visuo-spatail	*Hierarchic Dementia Scale (HDS)*						
	Test de l'horloge		2 min	oui	oui		
	Intersectng pentagones :		2 min	oui	oui		
	Test de la figure complexe de Rey		15 min	oui	oui		
	Test de Rétention Visuelle de Benton (BVRT)		15 min	oui	oui		
	Visual Patterns Test		10 min	oui	?		
	Artest		?	oui	?		
	Batterie de décision visuelle d'objets		?	oui	?		
	Cubes de Corsi		10 min	oui	oui		
Test Spécifiques fonctions executives	*La batterie du Grefex*	batterie d'évaluation globale comportant 7 épreuves sur la fluence verbale, l'inhiition	45 min	oui	oui	0.94	0.42
	BREF (Batterie rapide d'efficience frontale) ou FAB (Frontal Assessment Battery)	batterie d'évaluation globale sur conceptualisation, flexibilité mentale, programmation, sensibilité à l'interférence, contrôle inhibiteur, autonomie environnementale	1H	oui	oui		
	Fluences verbales catégorielle (animaux) et lexicale (lettre «P») ou Set Test d'Isaac :	Test la fluence verbale	15min	oui	oui		
	Digit Symbol Test	Test attention séléctive et la mémoire de travail					
	Trail Making test A et B :	Test vitesse de traitement et la fléxibilité mentale					
	Test de classement de cartes du Wisconsin.	Test la Fléxibilité mentale	12 à 20 min	oui	oui		
	Test d'empan sérié. Digit Ordering Test(DOT)	Test la Fléxibilité mentale	10min	oui	oui		
	The Hayling and Brixton Tests	Test l'inhibition	10 min	oui	oui		
Tests spéciiques à l'attention	*La batterie BAWL (Batterie Attention William Lennox)*	batterie d'évaluation globale de l'attention	1H46	oui	oui		
	Symbol digit modalities test (SDMT):	test attention selective	5 min	oui	oui		
	d2 test Concentration Endurance Test : Conçu par Brickenkammp (1981)	test attention selective	10 min	oui	oui		
	Visual Search and Attention Test (VSAT) : Ce test développé par Trenerry, Crosson et al. (1990)	test attention selective	6 min	oui	oui		
	Continuous Performance Test (CPT) : Originalement conçu par Rosvold et al. (1956),	Test attention soutenue	14 min	oui	oui		
	Empan attentionnel Essai 1 du California Verbal Learning Test (CVLT) :	Mesures d'encodage	20 min	oui	oui		
	Auditory Consonant Trigrams (CCC) : Ce test, également nommé le Brown-Peterson (Brown, 1958 ; Peters	Résistance à l'interférence	10 min	oui	oui		
	PASAT (Paced Auditory Serial Addition Test) : Élaboré par Gronwall et Sampson, (1974),	Manipulation mentale	20 min	oui	oui		
	Brief Test of Attention (BTA) : Ce test conçu par Schretlen et ses collègues (1996a; 1996b)	Manipulation mentale	10 min	oui	oui		
	Test de STROOP	Manipulation mentale	5 min	oui	oui		
Tests spéciiques à la mémoire	*Weschler memory scale revised Mem -IV:*	Batterie d'évaluation globale de la mémoire	1h à 2h	oui	oui		
	Batterie SKT de Arnold	Batterie d'évaluation globale de la mémoire	15 min	oui	non		
	Trail Making test A et B	Test de la mémoire de travail	15 min	oui	oui		
	Le test de rétention visuelle de Benton,forme «reconnaissance» : Hélène Amieva	Test de la mémoire de travail	5 à 10 min	oui	oui		
	Double tâche de Baddeley	Test de la mémoire de travail	6 min	?	oui		
	Digit Symbol Test	Test de la mémoire de travail	10 min	oui	oui		
	Digit Span Bacward	Test de la mémoire de travail	15 min	oui	oui		
	California Verbal Naming Test	Test de la mémoire déclarative (Mémoire épisodique)	20 min	oui	oui		
	Rappel de la figure de Rey	Test de la mémoire déclarative (Mémoire épisodique)	15min	oui	oui		
	Le TEMPau : test episodique de mémoire du passé autobiographique (Piolino, 1999)	Test de la mémoire déclarative (Mémoire épisodique)	1 mois	oui	oui		
	Histoire du lion de Barbizet	Test de la mémoire déclarative (Mémoire épisodique)	15 min	oui	oui		
	Test 5 mots de Dubois	Test de la mémoire déclarative (Mémoire épisodique)	2 min	oui	oui		
	DMS 48	Test de la mémoire déclarative (Mémoire épisodique)	20 min	oui	oui		
	Le test de Grober et Bushke (1987) ou l'épreuve de rappel libre/rappel indicé à 16 items (RL/RI 16)	Test de la mémoire déclarative (Mémoire épisodique)	20 min minimum	oui	oui		
	15 mots de Rey	Test de la mémoire déclarative (Mémoire épisodique)	13 à 17 min	oui	oui		
	Le test (RI-48)	Test de la mémoire déclarative (Mémoire épisodique)	30 min	oui	oui		
	Batterie GRECO Mémoire Sémantique	Test de la mémoire déclarative (Mémoire sémantique)	2h30	oui	oui		
	TOP10/30	Test de la mémoire déclarative (Mémoire sémantique)	40 min	oui	oui		
	EVE 30	Test de la mémoire déclarative (Mémoire sémantique)	1H	oui	oui		
	La batterie d'efficience mnésique BEM 144	Test de la mémoire déclarative (Mémoire sémantique)	?	oui	oui		
	Reading Span Test	Test de la mémoire de travail	20 min	oui	oui		
	Word Auditory Recognition and Recall Measure (WARRM)	Test de la mémoire de travail	20 min	non	oui		

2.6 Matrice de corrélation entre les scores au test MCT et Audimage et les différents facteurs externes.

*p < 0;05 **p < 0.01 ***p < 0.001	MCT Musicale (1sec)	MCT Musicale (2sec)	MCT Verbale (2sec)
SRT Audimage Facile OA	**-0.48*** **	**-0.36** **	-0.16
SRT Audimage Difficile OA	**-0.45*** **	**-0.36** **	-0.09
SRT Audimage Facile ON	**-0.40** **	-0.24	-0.12
SRT Audimage Difficile ON	**-0.43*** **	-0.21	-0.15

*p < 0;05 **p < 0.01 ***p < 0.001	15iSSQTotal	15iSSQParole	15iSSQSpatiale	15iSSQQualité
SRT Audimage Facile OA	**-0.35** **	-0.24	-0.24	**-0.41** **
SRT Audimage Difficile OA	**-0.32***	**-0.29***	-0.17	**-0.39** **
SRT Audimage Facile ON	-0.23	-0.20	-0.12	**-0.30***
SRT Audimage Difficile ON	-0.17	-0.18	-0.05	-0.22

*p < 0;05 **p < 0.01 ***p < 0.001	SADL Effet positif	SADL Service et coût	SADL Car. Négatives	SADL Im. Personnelle	SADL Global
SRT Audimage Facile OA	0.2763	-0.08603	0.1246	-0.2405	-0.06916
SRT Audimage Difficile OA	0.1928	-0.06038	0.1616	-0.2243	-0.05601
SRT Audimage Facile ON	0.1886	0.01416	0.1062	-0.2304	-0.07339
SRT Audimage Difficile ON	0.2008	0.03571	0.1633	-0.182	-0.005246

*p < 0;05 **p < 0.01 ***p < 0.001	MillHill	MOCA	Âge
SRT Audimage Facile OA	**-0.49***	**-0.66*** **	**0.59*** **
SRT Audimage Difficile OA	**-0.45***	**-0.63*** **	**0.51*** **
SRT Audimage Facile ON	-0.20	**-0.42***	**0.56*** **
SRT Audimage Difficile ON	-0.19	**-0.46***	**0.52*** **

*p < 0;05 **p < 0.01 ***p < 0.001	Âge aides auditives actuelles	Perte sur la meilleur oreille	Plus forte correction	Temps de port par jour aide auditive	Nombres de canaux
SRT Audimage Facile OA	0.03	**0.63*** **	**0.26***	0.09	0.1
SRT Audimage Difficile OA	-0.01	**0.55*** **	**0.30***	0.11	0.09
SRT Audimage Facile ON	-0.15	**0.51*** **	0.12	0.12	0.135
SRT Audimage Difficile ON	-0.10	**0.54*** **	0.15	0.09	0.11

*p < 0;05 **p < 0.01 ***p < 0.001	EEAS Total	EEAS Silence	EEAS Bruit	Effort Subj. EVA MCT Musicale (1sec)	Effort Subj. EVA MCT Musicale (2sec)	Effort Subj. EVAMCT Verbale (2sec)
Effort Subj. EVA Audimage OA	**0.31***	0.17	0.26	**0.49*** **	**0.43*** **	**0.39****
Effort Subj. EVA MCT Musicale (1sec)	**0.26***	0.16	0.18			
Effort Subj. EVA MCT Musicale (2sec)	0.16	0.07	0.07			
Effort Subj. EVAMCT Verbale (2sec)	**0.29***	**0.31***	0.15			

*p < 0;05 **p < 0.01 ***p < 0.001	EEAS Total	EEAS Silence	EEAS Bruit	EEAS1	EEAS2	EEAS3	EEAS4	EEAS5	EEAS6	EEAS7	EEAS8	EEAS9	EEAS10
SRT Audimage Facile OA	**0.27***	**0.36****	0.24	**0.2996***	0.16	**0.3022***	0.19	0.15	**0.3476***	0.22	**0.274***	0.24	0.07
SRT Audimage Difficile OA	**0.19**	0.24	0.15	0.26	0.08	0.25	0.18	0.14	**0.3443***	0.21	0.20	0.18	0.06
SRT Audimage Facile ON	**0.19**	**0.16**	**0.2**	0.176	0.1366	0.09572	0.212	0.1678	0.2299	0.2472	0.09168	0.157	-0.04237
SRT Audimage Difficile ON	0.09	0.07	0.09	0.1404	0.06324	0.04117	0.1623	0.1303	0.2209	0.2284	0.06187	0.1297	-0.06693

*p < 0;05 **p < 0.01 ***p < 0.001	EEAS Total	EEAS Silence	EEAS Bruit	EEAS1	EEAS2	EEAS3	EEAS4	EEAS5	EEAS6	EEAS7	EEAS8	EEAS9	EEAS10
MCT Musicale (1sec)	-0.12	**-0.26***	-0.01	-0.19	0.03	-0.18	0.03	0.00	-0.31	0.0	**-0.31***	-0.05	-0.01
MCT Musicale (2sec)	-0.17	**-0.34****	-0.03	**-0.36****	-0.01	-0.25	-0.02	-0.09	**-0.37***	0.00	-0.22	-0.02	0.00
MCT Verbale (2sec)	-0.08	-0.22	0.03	0.176	0.14	0.10	0.21	0.17	0.23	0.25	0.09	0.16	-0.04

*p < 0;05 **p < 0.01 ***p < 0.001	15iSSQTotal	15iSSQParole	15iSSQSpatiale	15iSSQQualité
MCT Musicale (1sec)	**0.34****	0.19	**0.39****	**0.30***
MCT Musicale (2sec)	0.25	0.08	**0.27***	**0.30***
MCT Verbale (2sec)	0.19	0.09	**0.28***	0.05

*p < 0;05 **p < 0.01 ***p < 0.001	SADL Effet positif	SADL Service et coût	SADL Car. Négatives	SADL Im. Personnelle	SADL Global
MCT Musicale (1sec)	-0.26	0.01	-0.17	-0.04	-0.29
MCT Musicale (2sec)	-0.19	0.30	-0.09	0.00	**-0.38***
MCT Verbale (2sec)	**-0.38***	-0.19	-0.16	-0.15	-0.23

*p < 0;05 **p < 0.01 ***p < 0.001	MillHill	MOCA	Âge
MCT Musicale (1sec)	**0.42***	0.14	-0.24
MCT Verbale (2sec)	0.36	-0.01	-0.10
MCT Verbale (2sec)	**0.55****	0.27	0.07

*p < 0;05 **p < 0.01 ***p < 0.001	Âge aides auditives actuelles	Perte sur la meilleur oreille	Plus forte correction	Temps de port par jour aide auditive	Nombres de canaux
MCT Musicale (1sec)	-0.08	-0.05	0.02	-0.03	0.04
MCT Musicale (2sec)	-0.15	-0.07	-0.20	0.14	0.08
MCT Verbale (2sec)	0.04	0.17	0.08	-0.07933	**0.27***

Annexe 3 : Versions des différents questionnaires utilisés

3.2 Listes des questions du Questionnaire Loisir Auditif (LoA) et Questionnaire Eval Loa

Questions du questionnaire de Loisirs auditifs

Aptitudes musicales :

1. Je pense avoir (aucune, quelques, de très grandes) aptitudes musicales :
2. Lorsque j'étais enfant (avant 12 ans), on écoutait de la musique autour de moi (jamais, rarement, souvent, toujours)?
3. Mon éducation musicale est : inexistante, cours à l'école, école de musique, conservatoire ?
4. Je me considère comme un(e) musicien(ne) : je ne suis pas musicien, amateur, semi professionnel, professionnel.
5. Je me suis investi(e) dans une pratique régulière, quotidienne d'un instrument de musique ou du chant pendant (-1 an/5 ans/ 10 ans et plus) ans.

Quotidien :

6. Si je m'ennuie, j'écoute de la musique pour passer le temps. (-1 fois par mois/1 fois par mois/ quelques fois par semaine/+1 fois par jour)
7. J'écoute de la musique lorsque je fais certaines tâches (la cuisine, le nettoyage, le bricolage, travail, …) (-1 fois par mois/1 fois par mois/ quelques fois par semaine/+1 fois par jour)
8. Lorsque je suis seul ou avec ma famille ou mes amis proches, il m'arrive de chanter ou de fredonner. (-1 fois par mois/1 fois par mois/ quelques fois par semaine/+1 fois par jour)
9. A l'écoute d'une musique, je peux discerner les différents instruments de musiques présent (jamais/rarement/souvent/toujours)
10. J'arrête ce que je fais pour écouter la musique qui est jouée. (jamais/rarement/souvent/toujours)

Emotion :

11. Je ressens des émotions (tristesse ou joie) lorsque j'écoute de la musique (jamais/rarement/souvent/toujours)
12. Ecouter de la musique m'aide à me détendre (jamais/rarement/souvent/toujours)
13. J'aime me détendre en écoutant de la musique (jamais/rarement/souvent/toujours)
14. Je suis enthousiaste à l'idée d'entendre la musique que j'aime (jamais/rarement/souvent/toujours)
15. Je bouge mon corps au rythme de la musique (par exemple, en tapant des pieds ou en bougeant la tête). (jamais/rarement/souvent/toujours)
16. J'ai tendance à apprécier la musique pour sa beauté. (pas du tout d'accord/neutre/tout à fait d'accord)
17. Il m'arrive "d'attraper" les émotions que j'entends dans la musique (jamais/rarement/souvent/toujours)

Socio-économique

18. J’ai des activités sociales autour de la musique (chorale, concert, dance, musique amateur) (-1 fois par mois/1 fois par mois/ quelques fois par semaine/+1 fois par jour)
19. Je dépense de l'argent pour acheter des enregistrements, CD, assister à des concerts, …(peu fréquemment/fréquemment/très fréquemment) (jamais/rarement/souvent/toujours)
20. J’ai de l'intérêt pour les morceaux de musique que j'aime (par exemple, pour en savoir plus sur le musicien en question ou pour connaître le style ou le genre de la chanson).
21. En termes de style (rock, Jazz, classique, variété) mes goûts musicaux sont : (peu varié/plutôt varié/très varié)
22. Lorsque j'écoute de la musique familière, je me rappelle des événements de mon passé. (jamais/rarement/souvent/toujours)
23. L’écoute de la musique m’est agréable (pas du tout d’accord/neutre/tout à fait d’accord)

Satisfaction

24. Lorsque j’écoute de la musique cela me parait : inaudible/ déformé/ clair et naturel (inaudible/très déformé/déformé/clair et naturel)
25. Si musicien(ne), la pratique de mon instrument m’est (très désagréable/neutre/très agréable)
26. J’écoute en général de la musique (TV, radio, CD, concert) en moyenne : (-1 fois par mois/+1 fois par mois/+1 fois par semaine/+1h jour/+10h Jour)
27. Lorsque j’écoute de la musique, je porte mes appareils auditifs (Jamais/rarement/la moitié du temps/souvent/toujours)
28. J’utilise la fonction streaming Bluetooth pour écouter de la musique directement dans mes appareils auditifs (Jamais/rarement/la moitié du temps/souvent/toujours)
29. Mes appareils auditifs m’aident à mieux entendre la musique (pas du tout d’accord/neutre/tout à fait d’accord)
30. Mes appareils auditifs m’aident à mieux apprécier la musique (pas du tout d’accord/neutre/tout à fait d’accord)

Evaluation du Questionnaire d'écoute musicale

1. Combien de question vous ont posées problème ?

2.Les questions vous ont-elles semblées très faciles à comprendre ou, au contraire, très difficiles ? (très faciles/très difficiles)

3. La présentation générale, la lisibilité du texte vous ont-elles aidé (semblées facilitatrices) ou au contraire, vous ont-elles gêné ? (très facilitatrice/très gênante)

4. Le remplissage du questionnaire vous a t'il semblé court, long, beaucoup trop long ? (très court/beaucoup trop long)

5.Les situations décrites dans les questions vous ont elles semblé artificielles ou proches des situations de votre vie quotidienne ? (très artificielles/ très proches du quotidien)

6. Le remplissage du questionnaire vous a-t-il demandé beaucoup d'effort de réflexion ? (pas d'effort/effort intense)

7. Avez-vous généralement beaucoup hésité dans vos réponses (vous avez l'impression d'avoir tout rempli au hasard), ou au contraire, les réponses vous-ont elles semblées généralement évidentes ? (beaucoup hésité/réponses évidentes)