



Étude de la relation entre modulation d'amplitude et synaptopathie cochléaire

Mémoire en vue de l'obtention du **DIPLOME d'ÉTAT AUDIOPROTHÉSISTE**
délivré par l'Université de Toulouse 3 – Paul Sabatier

Soutenu et présenté : **Kamélia SAKHRAOUI**
Année universitaire : **2024 - 2025**
Maitre de mémoire : **Lionel FONTAN**

Remerciements

Je tiens à remercier sincèrement toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Je souhaite tout d'abord exprimer ma profonde gratitude au Docteur Lionel FONTAN, maître de mémoire, pour sa supervision, sa guidance et son investissement tout au long de ce projet. Son expertise, son organisation, ses conseils et son encouragement ont été très précieux, tout en restant dans une atmosphère de confiance et de convivialité.

Je remercie également le Professeur Brian C. J. MOORE pour les éclaircissements qu'il nous a fournis suite à nos nombreuses questions. C'était un immense privilège de collaborer avec de tels professionnels reconnus dans le domaine de la recherche en audiologie.

Je tiens aussi à remercier chaleureusement l'ensemble de l'équipe pédagogique de l'école d'audioprothèse de Cahors pour la qualité de l'enseignement fournie au cours de ces trois années de formation.

Un grand merci à Camille JAMAIN, maître de stage, pour le temps qu'elle m'a accordé afin que je réalise à bien les tests, ainsi que pour son soutien tout au long de cette expérience.

J'adresse toute ma reconnaissance aux participants volontaires qui ont bien voulu nous consacrer du temps pour contribuer à cette étude et faire avancer la recherche.

Je remercie de tout cœur ma famille et en particulier mon grand frère Benadji, pour son soutien indéfectible durant ces trois années. C'est grâce à lui que j'ai trouvé la force de persévérer et le courage de ne pas abandonner. Il m'a aidé à devenir une personne plus accomplie. Merci infiniment à toi.

Enfin, je souhaite adresser mes remerciements à mon binôme Marius DESCLOUX, pour la collaboration et le travail mené ensemble tout au long de cette année.

Engagement sur l'honneur de non-plagiat

Je soussignée **Kamélia Sakhraoui, N° 22204376** inscrite à l'examen conduisant à la délivrance du diplôme d'État d'audioprothésiste, certifie sur l'honneur être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publié sur toutes formes de supports, y compris électronique, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée (Articles L335-2 et L335-3 du Code de la propriété intellectuelle).

Je déclare être informée que dans le cas où un plagiat serait constaté dans un de mes travaux écrits, celui-ci conduirait à la nullité de l'examen et serait passible de sanctions pénales.

En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour produire et écrire ce document.

Fait à Audincourt, le 01/07/2025

Kamélia SAKHRAOUI

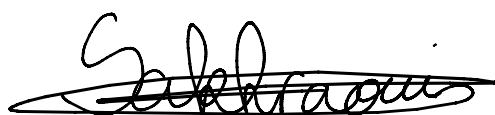
A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Sakhraoui', with a large, stylized initial 'S' at the beginning. The signature is written over a horizontal line.

Table des illustrations

Figures

Figure 1. Illustration de la dégénérescence des fibres du nerf auditif à la suite d'une exposition au bruit.	2
Figure 2. Histogramme de la répartition de la population en fonction de l'âge	8
Figure 3. Frise chronologique de la passation lors des rendez-vous de l'étude	9
Figure 4. Profils audiométriques aériens des participants (oreille droite et gauche confondues).....	12
Figure 5. Répartition des participants acouphénique en fonction de leur score	16
Figure 8. Relation entre le seuil de détection de modulation d'amplitude (en dB HL) et le score NESI (en unité d'exposition au bruit).....	19
Figure 9. Relation du sexe des participants et le seuil de détection de modulation d'amplitude (dB HL).....	20
Figure 11. Relation entre la perception de la parole dans le bruit et le seuil de détection de modulation d'amplitude.....	22
Figure 7. Relation linéaire croissante entre seuil de détection de modulation d'amplitude (en dB HL) et le seuil auditif moyen tonale aérien (PTA) calculé avec les fréquences 500 Hz, 1 000 Hz, 2 000 Hz et 4 000 Hz.....	23
Figure 10. Relation entre les participants ayant eu une pratique musicale et le seuil de détection de modulation d'amplitude (dB HL)	24
Figure 6. Relation du seuil de détection de modulation d'amplitude (dB HL) et de l'ordre de passage dans lequel les tests ont été réalisés.....	25

Table des matières

Remerciements	ii
Engagement sur l'honneur de non-plagiat	iii
Table des illustrations	iv
Introduction.....	1
Matériels et Méthode	6
1. Population étudiée :	6
1.1 Critères d'inclusion :	7
1.2 Critère de non-inclusion :	7
1.3 Participants :	7
2. Méthode :	8
2.1 Entretien préliminaire :	9
2.2 Examen otologique :	9
2.3 CoDex :	9
2.4 Audiométrie tonale :	11
2.5 Tâche de détection de modulations d'amplitude :	12
2.6 NESI :	14
2.7 THI :	15
2.8 EHI :	16
3. Analyses statistiques :	17
Résultats	19
1. Effet du NESI sur les performances au test AMD :	19
2. Effet du sexe sur les performances au test AMD :	20
3. Effet de la perception de la parole dans le bruit sur les performances au test AMD :	21
4. Effet du seuil auditif sur les performances au test AMD :	23
5. Effet de la pratique musicale sur les performances au test AMD :	24
6. Effet de l'ordre de passage sur le test de modulation d'amplitude :	25
Discussion	27
1. Relation entre le NESI et les performances au test AMD :	27
2. Relation entre le sexe et les performances au test AMD :	28
3. Relation entre l'expertise d'écoute et les performances au test AMD :	28
4. Relation entre le seuil auditif (PTA) et les performances au test AMD :	29

5. Relation entre la pratique musicale et les performances au test AMD :	30
6. Relation entre l'ordre de passage et le test de modulation d'amplitude :	30
Conclusion	32
Bibliographie	34
Annexes	40

Introduction

Dans la population de malentendants, de nombreux individus souffrent de difficultés de compréhension en milieu bruyant sans que cela soit visible sur leur audiogramme (Bharadwaj et al. 2014; Ruggles et al. 2011). La proportion de ces individus au sein de la population a été quantifiée dans une étude menée par Tremblay et al. (2015) avec une prévalence globale de 2,9 % sur 2783. Ces résultats ne sont pas négligeables et mettent en évidence l'importance et la présence de ce phénomène dans la société et l'enjeu de santé publique qu'il constitue. Ce trouble auditif est appelé « perte auditive cachée » (Schaette & McAlpine, 2011) ou plus couramment la « surdité cachée ». Du fait de son caractère spécifique où les seuils liminaires sont normaux malgré des difficultés de discrimination de la parole dans le bruit.

Ce phénomène est une forme de synaptopathie désignée par un dysfonctionnement ou une altération des synapses reliant les cellules ciliées internes de la cochlée aux fibres nerveuses auditives. Ce qui entraîne des anomalies de transmission des signaux sonores vers le nerf auditif et perturbe ainsi le processus de communication neuronale essentiel au fonctionnement normal du système auditif. La particularité de la synaptopathie cochléaire est que malgré le dysfonctionnement de transmission du signal sonore l'intégrité des cellules ciliées reste intacte. Cette perte auditive cachée peut avoir diverses causes (Liberman & Kujawa, 2017) telles que l'exposition au bruit intense (Mao & Chen, 2021; Narne et al., 2023), l'âge (Wu et al., 2019) ou encore l'ototoxicité provoquée par certains médicaments (Hakuba et al., 2000).

Les mécanismes cellulaires de ce phénomène sont, dans un premier temps, une perte de connexions synaptiques. Il existe différents types de fibres nerveuses auditives, celles qui codent pour les sons faibles, dites à haut taux spontané, celles qui codent pour les sons moyens et les sons forts aussi appelées à faible taux spontané (Plack et al., 2014). Par la suite, ces connexions se reforment mais avec une réorganisation hasardeuse et une distribution des fibres nerveuses perturbée. En effet, les fibres qui auront survécu à cette réorganisation sont généralement les fibres qui codent pour les sons faibles.

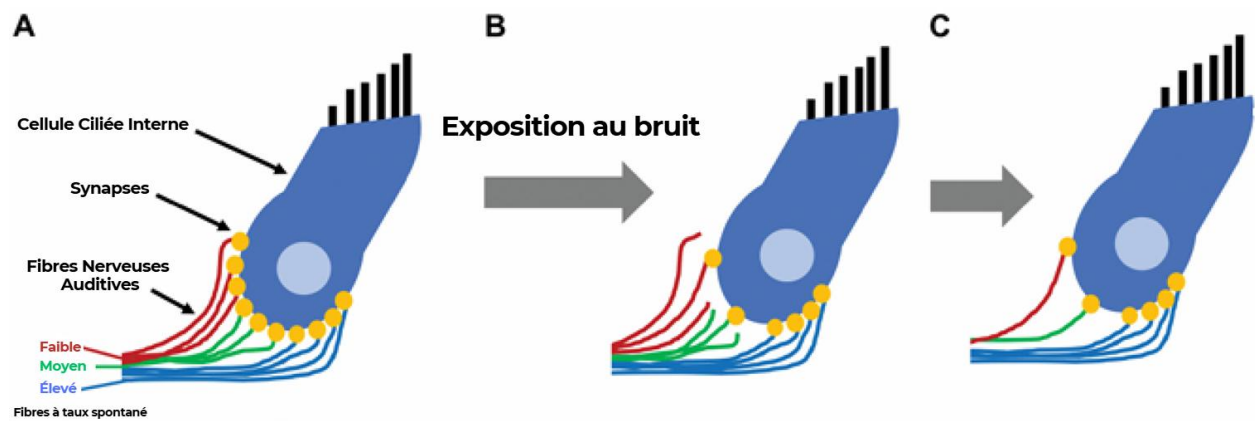


Figure 1. Illustration de la dégénérescence des fibres du nerf auditif à la suite d'une exposition au bruit.

(A) Avant l'exposition au bruit, les synapses entre la cellule ciliée interne illustrée et le nerf auditif sont intactes, tout comme les fibres du nerf auditif.

(B) L'exposition au bruit provoque des lésions synaptiques.

(C) Les fibres du nerf auditif dégénèrent à la suite de la perte de synapses. Les fibres à haut taux spontané, situées sur la face modulaire de la cellule ciliée interne, sont particulièrement touchées. DiNino et al., (2022)

À savoir que les fibres nerveuses à faible taux spontané sont essentielles pour la compréhension de la parole dans les environnements bruyants. De ce fait, les fibres restantes se retrouvent saturées par le flux d'informations.

La qualité d'écoute de ces individus est donc affectée en particulier la perception de la parole dans le bruit (Liberman et al., 2016; Narne et al., 2023; Ruggles et al., 2011), une perte des seuils auditifs dans les hautes fréquences (Narne et al., 2023), la présence d'acouphène et/ou d'hyperacousie (Schaette & McAlpine, 2011; Valderrama et al., 2018). Tous ces désordres auditifs rendent le patient vulnérable et impactent négativement leurs relations sociales, influençant le milieu professionnel, l'état psychologique et physique.

La qualité de vie de ces patients est affectée, c'est pourquoi la synaptopathie cochléaire constitue un véritable enjeu de santé publique et suscite un intérêt croissant ainsi que de nombreux questionnements. Ces dernières années, ce domaine a connu un développement significatif. Les personnes souffrant de surdité cachée sont désormais intégrées dans le système de santé. En effet, l'Arrêté du 14 novembre 2018, chapitre 3 du titre II de la liste des produits et prestations (l'article L. 165-1 du code de la sécurité sociale) fait allusion aux tests d'audiométries vocales dans le bruit réalisés par les audioprothésistes. Cet arrêté explique que s'il y a un « écart du rapport signal sur bruit en dB de plus de 3 dB par rapport à la

norme du test » les patients ont la possibilité d'entrer dans un processus de prise en charge de réhabilitation prothétique. Le système français permet d'avoir de nombreux matériels vocaux normés, validés et accessibles tel que la Vocale Rapide dans le Bruit, le Fra-Matrix, le HINT... Des stratégies, telles que la mise en place d'un couplage acoustique adéquat, un gain faible et/ou une thérapie sonore, ont été pensées et sont en cours de développement pour améliorer la qualité de vie de ces personnes (Roup et al., 2018). Bien évidemment, ce genre de prise en charge spécifique fait appel à une équipe pluridisciplinaire (oto-rhinolaryngologiste, audioprothésiste, orthophoniste...).

De plus, la recherche scientifique s'est fortement développée autour de ce phénomène et pour approfondir la compréhension des mécanismes sous-jacents de la synaptopathie cochléaire, de nombreuses études ont été menées sur des modèles animaux, notamment les souris (Kujawa & Liberman, 2009), les macaques (Dobie & Humes, 2017) ou encore les cochons d'Inde. Malheureusement, ces travaux ne peuvent être comparés à l'Humain car il existe trop de différences anatomiques et neurobiologiques. Dans ce cas spécifique, les recherches invasives chez l'homme ne peuvent être réalisées. En raison de ces caractéristiques subcliniques, invisibles à l'œil nu et complexes d'accès en raison de l'anatomie, ce phénomène a principalement été étudié dans le cadre de recherches post-mortem (Viana et al., 2015). De nos jours, malgré les avancées scientifiques et les connaissances cliniques acquises sur la synaptopathie cochléaire, des lacunes persistent dans la détection de celle-ci chez l'Homme vivant.

La recherche tente de mettre au point un outil de mesure de référence pour détecter et diagnostiquer les synaptopathies cochléaires dans le but de développer la recherche scientifique autour d'un possible traitement (Valderrama et al., 2022). Des tactiques ont été adoptées mais les preuves scientifiques sont encore insuffisantes (DiNino et al., 2022). Par exemple, les études des examens électrophysiologiques s'est beaucoup développée dernièrement tant avec l'analyse de l'Onde I des Potentiels Evoqués Auditifs (PEA), les Otoémission Acoustique (OEA) (Mehraei et al., 2016) et les Envelope Following Response (EFR) (Wilson et al., 2021). De plus, la thérapie par neurotrophines est envisagée pour régénérer les connexions synaptiques endommagées, bien que cela nécessite encore des validations cliniques (Liu et al., 2016; Suzuki et al., 2016). À ce jour, l'outil qui tend à démasquer au mieux la surdité cachée semble être l'audiométrie vocale dans le bruit or

cette mesure clinique n'est pas assez sensible, fiable et spécifique dans le cas particulier de la synaptopathie cochléaire.

Des études tendent à s'intéresser aux performances de détection de modulation d'amplitude des participants. Notamment l'étude menée par Füllgrabe et al., (2023) où l'objectif était d'étudier l'impact de l'âge et de l'exposition au bruit sur le test de l'Envelope Regularity Discrimination (ERD). Celui-ci consiste à évaluer les capacités de codage de l'enveloppe temporelle qui est un élément indispensable pour les sujets afin de comprendre dans le bruit. Cette étude était constituée de deux groupes, l'un de 60 personnes malentendantes appelé le « groupe âgé » et l'autre de 20 personnes normo-entendantes appelé le « groupe jeune ». Après la passation des tests, de nombreuses relations significatives ont émergé telles que l'âge ayant un effet significatif sur les performances au test ERD marqué à 4 000 Hz, ou encore, plus l'âge augmente et plus les capacités de codage de l'enveloppe temporelle diminuent. Cependant, aucune relation significative n'a permis de mesurer la synaptopathie cochléaire.

Narne et al. (2023) ont étudié des mesures psychoacoustiques : un test de détection de modulation d'amplitude (AMD), des otoémissions acoustiques et un test de parole dans le bruit entre deux groupes d'individus. Un groupe qui était régulièrement exposé au bruit écoutant de la musique via des écouteurs à des intensités élevées et un groupe témoin qui n'était pas exposé à de telles intensités. Les seuils audiométriques en tonal sur la gamme de fréquence conventionnelle étaient considérés comme normaux chez tous les participants. L'étude démontre que l'écoute régulière de musique à des niveaux élevés peut entraîner des effets subtils mais néfastes sur la détection de la modulation d'amplitude et la perception de la parole dans des situations d'écoute complexes. Des résultats significatifs ont démontré que chez le groupe exposé une dégradation de la sensibilité auditive dans les hautes fréquences était présente et corrélée à une moins bonne compréhension des consonnes dans le bruit. Cette étude constitue un réel tremplin dans la recherche de détection de la synaptopathie cochléaire et souligne l'importance de la sensibilisation dans nos sociétés surtout auprès des jeunes qui sont d'une part de plus en plus à risque d'utiliser des écouteurs pour écouter de la musique à des niveaux élevés et d'autre part de plus en plus tôt. Toutefois, cette étude comporte de nombreuses limites telles que la population étudiée. En effet, seuls des jeunes normo-entendants ont été recrutés ce qui ne reflète pas la

population générale. L'enjeu étant de trouver un test sensible auprès de tous, car n'importe qui peut être affecté par la synaptopathie cochléaire. De plus, les participants étaient « trop jeunes » pour avoir une expérience d'exposition au bruit significative tout au long d'une vie. De plus, l'expertise d'écoute n'a pas été prise en compte, cependant elle influe sur la capacité à réaliser des tâches psychoacoustiques de traitement de l'enveloppe (Füllgrabe et al., 2023).

Notre étude tend à analyser les liens entre l'exposition au bruit, l'âge, l'expertise d'écoute des participants et leur capacité de détection de modulation d'amplitude des signaux auditifs. Le test que nous utiliserons sera identique à celui de l'étude de Narne et al. (2023). Si ces trois variables influencent la capacité au test AMD, cette étude pourra constituer un premier pas vers le développement d'un test psychoacoustique sensible permettant de détecter et de mesurer la synaptopathie cochléaire, utile à la fois pour la recherche et pour la pratique clinique. Nous veillerons à dépasser les limites liées à la population qui sera plus large, avec des variations d'âge et des degrés d'exposition au bruit. L'expertise d'écoute sera prise en considération.

Matériels et Méthode

Cette étude a été validée par le Comité d'Éthique de la Recherche (CER) de l'Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées, dossier numéro 2024_933. Ainsi, l'étude faisait partie d'un processus de recherche respectant la déontologie impliquant la personne humaine, sans danger et garantissant la confidentialité et la sécurité de chaque participant.

Le recrutement de participants et la passation des tests ont été effectués à l'École d'Audioprothèse de Cahors dans le Lot en Occitanie. La méthode de recrutement a été mise en œuvre par la diffusion de flyers (Annexe I) et par l'effet « bouche-à-oreille » des participants vers leur entourage.

La cabine audiométrique était insonorisée respectant la réglementation de l'*Article D4361-19 du Code de la santé publique* (2005) et la norme internationale ISO (Organisation Internationale de Normalisation) 8253-1. De plus, tout le matériel audiométrique de chaque cabine était conforme aux normes techniques et aux exigences réglementaires relatives à la fiabilité et à la sécurité des dispositifs médicaux, de l'*Article L5211-1 du Code de la santé publique* (2022). Incluant, l'étalonnage et la maintenance faisant référence à la norme ISO 389 et au règlement (UE) 2017/745.

1. Population étudiée :

Notre étude comportait 3 variables indépendantes (âge, degré d'exposition au bruit et expertise d'écoute), d'après Green (1991) et sa méthode d'analyse statistique de régression il fallait au minimum 74 sujets ($50 + 3 \times 8 = 74$).

La population devait garantir une répartition homogène en termes de nombre et équilibrée en termes de sexe.

Un entretien préliminaire a été mis en place, lors duquel les participants ont donné leur consentement éclairé et où la passation des tests a été détaillée. Cet entretien nous permettait également d'établir si ces derniers respectaient ou non les critères d'inclusion de l'étude.

1.1 Critère d'inclusion :

Il était nécessaire que tous nos participants aient un **âge supérieur ou égal à 18 ans**, afin d'avoir un large groupe d'individus ayant diverses expériences d'écoute, plus ou moins exposés au bruit fort et d'âges différents pour favoriser la diversité du degré de synaptopathie cochléaire.

1.2 Critères de non-inclusions :

Les participants ayant eu des **troubles auditifs** durant leur enfance (**avant l'âge de 12 ans**) hors otite avec mise en place d'un aérateur transtympanique, ayant subi une **opération chirurgicale de l'oreille** et ayant une **pathologie rétro-cochléaire ou une surdité de transmission** (écart moyen entre le seuil aérien et osseux supérieur à 10 dB HL) étaient exclus de l'étude. Ces critères permettent d'assurer l'intégrité du système auditif adulte, en dehors des atteintes liées à l'âge et à l'exposition au bruit tout au long de la vie.

Afin que les participants entendent un des signaux utilisés lors du test de détection de modulation d'amplitude, qui était diffusé à une intensité de 85 dB SPL (décibels Sound Pressure Level). Il fallait s'assurer qu'ils ne présentent pas **de perte auditive trop importante, supérieure à 65 dB HL (décibels Hearing Loss) à 4 kHz**, visible sur l'audiogramme tonal en conduction aérienne (CA). Dans le cas contraire, ces patients seront écartés de l'étude.

Pour prévenir tout biais et une mauvaise compréhension des consignes lors des tests psychoacoustiques, les participants présentant probablement des troubles cognitifs seront exclus de la recherche. Ceux présentant un score défavorable, catégorie C ou D, au questionnaire CoDEx seront également exclus de l'étude.

1.3 Participants :

Nous avons recruté 101 participants volontaires afin d'éviter des manquements en cas d'exclusion de sujet au cours de l'étude. Treize d'entre eux ont été exclus pour diverses raisons :

- 8 participants avaient des résultats au test AMD non exploitables soit dû à une mauvaise compréhension des consignes, soit à une incapacité à réaliser la tâche
- 3 participants car leur surdité était trop importante à 4 kHz
- 2 participants car l'étiologie de leur perte était inconnue

Au total, les analyses ont donc été réalisées sur 88 participants. Afin de garantir l'équilibre défini : 43 femmes et 45 hommes allant de 18 ans à 78 ans (moyenne = 48,23 ans ; écart type = 19,32 ans) ont participé à la recherche.

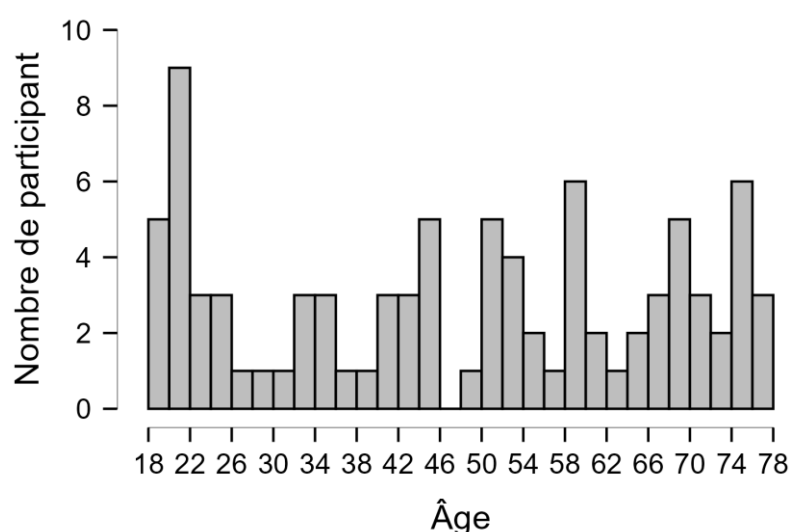


Figure 2. Histogramme de la répartition de la population en fonction de l'âge

2. Méthode :

Toutes les mesures avaient été réalisées lors d'un unique rendez-vous, d'une durée d'environ 1h30. Le protocole avait été réalisé par deux opérateurs, Marius DESCLOUX et moi, étudiants en troisième année d'audioprothèse à l'école de Cahors. Nous nous étions d'abord entraînés sur deux sujets tests. Nous avons au préalable coordonné nos discours afin d'éviter des biais dans les résultats liés à la communication des consignes et de garantir le respect du déroulement de la passation des tests, une **feuille de route** avait été créée (Annexe III).

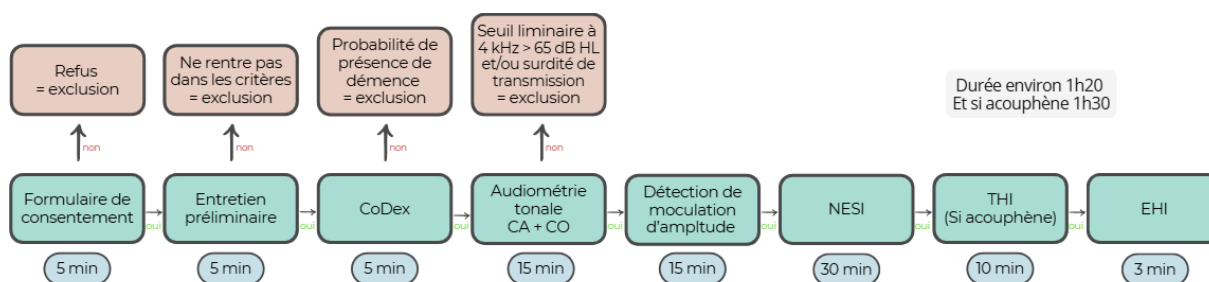


Figure 3. Frise chronologique de la passation lors des rendez-vous de l'étude

2.1 Entretien préliminaire :

La session commençait par un **entretien préliminaire** de 5 minutes, où étaient lues et présentées la **notice d'information** (Annexe IV) et le **recueil du consentement éclairé** (Annexe V) aux participants qui acceptaient et soutenaient l'étude par une signature. Cela nous permettait d'une part de recueillir les données démographiques (âge et sexe) et d'autre part d'avoir une transition pour passer à l'**anamnèse**.

Elle nous donnait la possibilité de déterminer par le biais de questions si les sujets répondaient aux critères d'inclusion ou non, et d'identifier dès le commencement les participants présentant des acouphènes. Elle avait généralement une durée de 5 minutes.

Enfin, nous présentions l'**auto-questionnaire sur l'expertise d'écoute** (Annexe VI).

2.2 Examen otologique :

S'ensuivait l'**otoscopie bilatérale**, l'observation des conduits auditifs externes et des tympans de chaque sujet, à l'aide de l'otoscope lumineux et de spéculums, pour s'assurer qu'ils ne présentaient aucune anomalie à caractère transmissible telle que des bouchons de cérumen ou toutes autres pathologies qui pourraient représenter un obstacle et/ou une mauvaise intégrité de l'oreille telles que les perforations tympaniques, otites ...

2.3 CoDex :

L'évaluation des fonctions cognitives avait été réalisée grâce au **Codex** créé par Belmin et al. (2007). Ce test permettait d'évaluer faiblement et rapidement, 5 minutes, si les sujets

étaient susceptibles de présenter des altérations de la fonction cognitive. Avant d'effectuer le CoDex (Annexe VII), il était essentiel de vérifier que le participant possédait de bonnes capacités visuelles et une bonne dextérité afin de pouvoir passer l'étape de l'horloge sur la feuille. Nous passions ensuite à l'explication des consignes et à la mise en œuvre des trois étapes du CoDex :

Une **tâche de mémorisation**, où le sujet devait répéter et mémoriser 3 mots, comme « clé, ballon, citron », qui étaient à répéter plus tard au cours du test. Cet exercice fait appel à la mémoire à court terme.

Le **test de l'horloge simplifié**, où le sujet devait sur une feuille préalablement imprimée bien placée, dans le cercle de 10 cm de diamètre (Annexe VII), les nombres et les aiguilles d'un cadran d'une montre (sans modèle) de sorte qu'il soit représenté 5h10. L'examineur devait vérifier d'une part que les nombres étaient tous présents et bien positionnés dans le cadre et d'autre part que l'heure était correcte avec la bonne taille d'aiguille. Si toutes ces conditions, n'étaient pas remplies alors ce test était anormal. Cet exercice fait appel aux capacités visuo-spatiales et exécutives. De plus, à la fin de cette évaluation l'examineur demandait au sujet de répéter les 3 mots. S'il y avait des oublis ou erreurs, le test était considéré comme anormal.

Pour avoir les résultats du Codex, il fallait se référer à l'arbre de décision (Annexe VII). Si les 2 tâches étaient bien réalisées alors le test était considéré comme normal avec une probabilité de démence très faible (catégorie A). Si les 2 tâches présentent des erreurs, le test était alors considéré comme anormal avec une probabilité de démence très élevée (catégorie D). Dans ce cas, les sujets étaient invités à aller faire une consultation pour la mémoire. Enfin, si l'une des deux tâches était anormale, le test se poursuivait avec 5 questions d'orientation spatiale :

- Quel est le nom du centre audio où nous nous trouvons ?
- Quel est le nom de la ville où nous sommes ?
- Quel est le nom du département où nous nous trouvons ?
- Quel est le nom de la région où nous nous trouvons ?
- A quel étage sommes-nous ?

Il fallait compter un point par bonne réponse, si le total était égal à quatre ou cinq, le Codex était normal avec une probabilité de démence faible (catégorie B). Si le total était

inférieur à trois, le Codex était alors anormal avec une probabilité de démence élevée (catégorie C). Les individus ayant une probabilité de preuves de démence (catégorie C et D) étaient écartés de l'étude.

Au sein de notre population, 62 participants étaient classés dans la catégorie A et 26 participants dans la catégorie B.

2.4 Audiométrie tonale :

Nous procédions maintenant à la détection des seuils liminaires en conduction aérienne, en utilisant l'audiomètre MADSEN Astrera2 et le casque aérien PELTOR H7A. Les données audiométriques des sujets avaient été récoltées et visualisées via un fichier patient individuel sur le logiciel Noah. Nous expliquions clairement les consignes de passation et s'assurons que le sujet les avait comprises puis nous mettions le casque sur les oreilles du sujet. Nous avons veillé à ce que le sujet soit placé de sorte que les gestes et l'écran de l'ordinateur du testeur ne soient pas visibles pour éviter des biais de compensation. Le test était effectué oreilles séparées en commençant par la meilleure oreille, la méthode ascendante était utilisée avec des pas de 5 dB et avec des sons purs diffusés à différentes intensités. En commençant par la fréquence 1 000 Hz puis en respectant l'ordre conventionnel des fréquences par octaves : 250 Hz, 500 Hz, 1 000Hz, 2 000 Hz, 4 000 Hz et 8 000 Hz. Les sujets devaient signaler lorsqu'ils percevaient un son dans le casque, par un signe de main ou en pressant sur une poire. Ce test nous permettait de confirmer ou non l'éligibilité du sujet à être dans les critères d'inclusion en fonction de sa perte qui ne devait pas être trop importante au niveau de 4 000 Hz afin que le sujet puisse effectuer le test de détection de modulation d'amplitude.

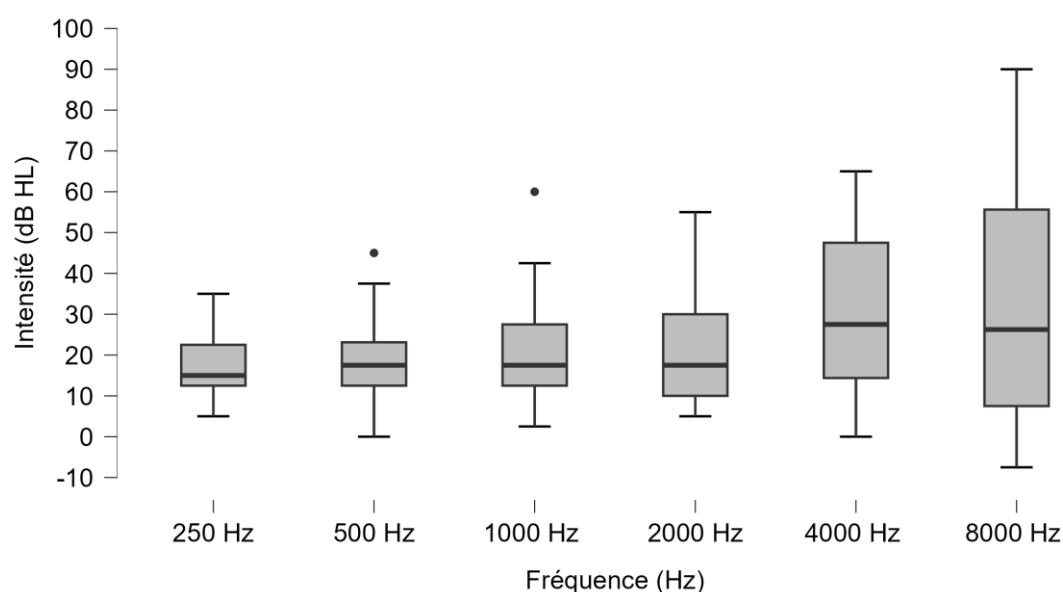


Figure 4. Profils audiométriques aériens des participants (oreille droite et gauche confondues). Chaque boîte correspond aux seuils auditifs (en dB HL) mesurés pour chaque fréquence donnée de 500 Hz à 8000 Hz. Les limites des boîtes représentent l'étendue interquartile, la ligne noire à l'intérieur de boîte représente la médiane, les lignes verticales fines représentent les valeurs extrêmes non aberrantes et les points noirs indiquent les valeurs aberrantes. Nous observons une élévation progressive des seuils avec les fréquences, traduisant une perte auditive plus marquée dans les hautes fréquences.

Nous mesurons également les hautes fréquences avec un autre casque, SENNHEISER HDA 300. La passation du test était la même que pour l'audiométrie tonale sur les fréquences conventionnelles mais seulement ici pour les fréquences suivantes : 9 000 Hz, 10 000 Hz, 11 200 Hz, 12 500 Hz, 14 000 Hz et 16 000 Hz. Cet exercice nous permettait de faire des analogies avec l'étude de Narne et al., (2023).

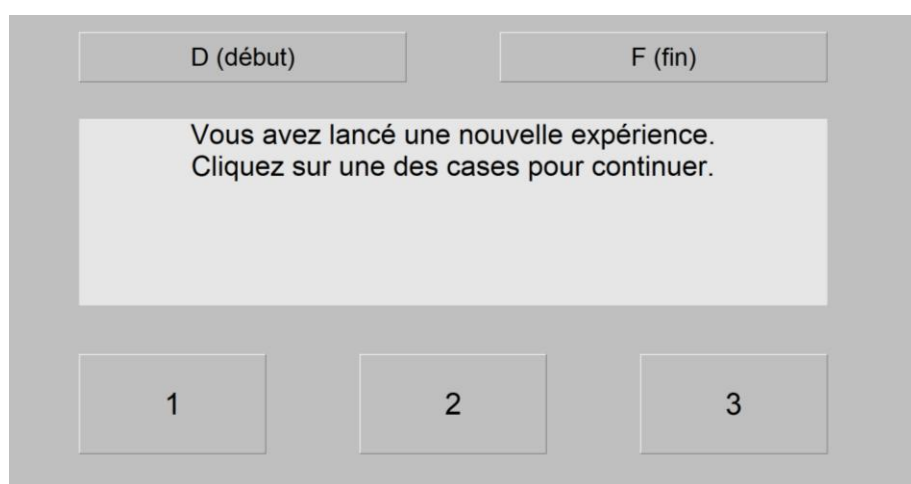
Ensuite, nous faisons l'audiométrie tonale en CO, la passation était la même que les tests précédents. La différence était le type de transducteur, on utilisait ici le vibreur osseux RADIOEAR B71W placé contre la mastoïde sans contact avec le pavillon et en testant seulement les fréquences : 500 Hz, 1 000 Hz, 2 000 Hz et 4 000 Hz. Ce test nous permettait aussi de confirmer l'éligibilité du sujet, par rapport aux critères, en nous assurant qu'il ne présentait pas de différence entre les seuils audiométriques moyens en CA et en CO supérieure à 10 dB, faisant référence à une surdité de transmission. La durée de l'audiométrie tonale était d'environ 15 minutes, tout dépendait des participants.

2.5 Tâche de détection de modulations d'amplitude (test AMD) :

Ce test consistait à mesurer la capacité des participants à détecter les modulations d'amplitude dans des signaux auditifs.

Cette mesure est réalisée en monaurale à 85 dB SPL (Sound Pressure Level), le participant équipé d'un casque, RADIOEAR DD450, écoute des triplets de sons courts (500 ms) séparés par des courts silences chacun (300 ms). En plus des triplets de sons s'ajoute un bruit masquant uniforme, le TEN « Threshold Equalizing Noise » permettant de comparer les performances auditives d'un individu à celles d'un individu normo-entendant. De ce fait, il permet de restreindre la portée des cellules ciliées internes de la membrane basilaire en termes de fréquence, afin d'éviter l'activation des fibres adjacentes que nous ne souhaitons pas examiner. Il est caractérisé par sa capacité à masquer les neurones voisins sur une vaste gamme de fréquences. Ce bruit TEN est fixé à 60 dB SPL/ERB où ERB signifie la largeur de bande rectangulaire équivalente du filtre pour les normo-entendants.

Au sein de chaque triplet, deux des trois sons, sélectionnés au hasard, correspondaient à des sinusoïdes de fréquence de 4 000Hz et dont l'intensité (85 dB SPL) ne variait pas. Le troisième son représentait la cible à détecter par le participant : il s'agit de la même sinusoïde, mais dont l'intensité variait avec une fréquence de modulation de 8 Hz. La tâche, pour le participant, consistait à identifier la cible parmi les trois sons présentés, en cliquant sur le rectangle correspondant. Les trois sons étaient représentés par des rectangles sur une interface d'ordinateur placée face du participant :



Le logiciel utilisé faisait varier l'amplitude de la modulation cible en suivant une procédure adaptative afin de déterminer l'amplitude minimale qui permettait au participant

de détecter la modulation. Ce seuil de détection minimale était mesuré deux fois dans chaque oreille. Le choix de l'oreille testée en premier, droite ou gauche, était alterné en fonction de l'ordre de passage des participants : le premier débutait par l'oreille droite, le second par l'oreille gauche et ainsi de suite, cela pour chaque opérateur. De ce fait, le test AMD comporte 4 phases pour une durée de 45 minutes.

2.6 NESI :

L'identification et la quantification des environnements bruyants au cours de la vie des participants avaient été estimées grâce au Noise Exposure Structured Interview (NESI) créé par Guest et al. (2018) (Annexe VIII). Tout d'abord, les participants étaient sollicités pour identifier les activités qu'ils considéraient comme bruyantes rencontrées tout au long de leur vie. Pour illustrer l'idée, une activité est considérée comme bruyante lorsqu'il fallait élever la voix pour communiquer avec quelqu'un à 1,2 mètre, sans l'utilisation de protections auditives ni trouble de l'audition et le champ visuel dégagé sur le visage et les mouvements de la personne.

Le NESI était décomposé en 3 grands items : exposition au bruit liée aux activités professionnelles, exposition au bruit durant les loisirs et l'exposition au bruit causé par des armes à feu. Chacune de ces catégories comprenait des sous-items. La segmentation de la vie en période d'exposition, en année, devait être faite. C'est-à-dire diviser la vie en périodes où les habitudes d'exposition au bruit étaient constantes en termes de durée, de fréquence et d'intensité. Ensuite, une estimation de la durée d'exposition était réalisée pour chacune des activités identifiées précédemment, en commençant par le nombre d'heures puis de jours et enfin en semaines par an. Finalement, une estimation du niveau sonore était effectuée, en dB SPL en utilisant le tableau de communication vocale (Annexe VIII) qui établissait une corrélation entre la difficulté de communication et le niveau sonore.

Pour la catégorie qui prenait en compte les armes à feu, le participant devait préciser le nombre de tirs réalisés ainsi que le calibre d'arme utilisé. Si des protections auditives avaient été utilisées, l'efficacité d'atténuation du son était prise en considération et évaluée selon le « Guide de la protection auditive » (Annexe VIII).

Après avoir collecté toutes ces données, il était possible de calculer l'estimation globale d'exposition au bruit tout au long de la vie du participant. Le score était en unité

d'exposition au bruit, sachant qu'une unité correspond à une exposition d'un an (2080 heures) à 90 dB A.

$$UNE = \frac{Y \times W \times D \times H}{2080} \times 10^{\frac{(L-90)}{10}}$$

Avec UNE = Unités d'exposition au bruit (Noise Exposure Unit), Y = Nombre total d'années d'exposition à l'activité bruyante, W = Nombre de semaines par an où l'individu est exposé au bruit, D = Nombre de jours par semaine d'exposition, H = Nombre d'heures par jour d'exposition, L = Niveau sonore en décibels (dBA), 2080 = Facteur de normalisation basé sur une année de travail standard de 40 heures par semaines sur 52 semaines (2080).

Le score était calculé pour chaque item et ces résultats étaient ensuite additionnés pour obtenir le score total. Il fallait environ 30 minutes pour remplir le questionnaire.

2.7 THI :

Seuls les participants mentionnant avoir des acouphènes recevaient cet auto-questionnaire pour évaluer l'impact des acouphènes sur la qualité de vie. Le Tinnitus Handicap Inventory (THI) (Annexe IX) avait été développé par Newman et al. (1996) puis traduit en français et validé par Ghulyan-Bédikian et al. (2010).

Ce questionnaire est constitué de 25 questions, réparties dans 3 catégories : fonctionnel avec 11 questions, émotionnel avec 9 questions et catastrophique avec 5 questions. Les sujets avaient 3 options de réponse : « oui » faisant référence à 4 points, « parfois » à 2 points et « non » à 0 point. A la fin, en additionnant les réponses, nous obtenions un score sur 100, se déclinant en 5 degrés de handicap :

- Degré 1 de 0 à 16 : peu ou pas de handicap
- Degré 2 de 18 à 36 : handicap léger
- Degrés 3 de 38 à 56 : handicap modéré
- Degrés 4 de 58 à 76 : handicap sévère

- Degrés 5 de 78 à 100 : handicap catastrophique

Etant donné le caractère lésionnel que possèdent la synaptopathie cochléaire et les acouphènes, les relations entre ces deux phénomènes étaient intéressantes à analyser comme le démontrent plusieurs recherches (Arehart, 2008). Par conséquent, cela nous communiquait des données quantitatives pertinentes. Il fallait environ 10 minutes pour remplir le questionnaire.

Au sein de notre population, 20 participants présentaient des acouphènes. Les scores allant de 4 à 60 (moyenne = 20,3 ; médiane = 20) :

- 9 participants étaient dans le 1^{er} degré de handicap
- 9 participants étaient dans le 2^{ème} degré de handicap
- 1 participant était dans le 3^{ème} degré de handicap
- 1 participants étaient dans le 4^{ème} degré de handicap

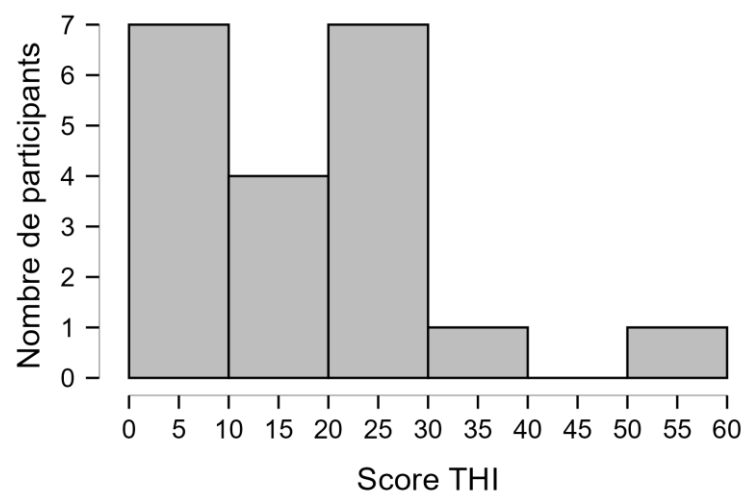


Figure 5. Répartition des participants acouphéniques en fonction de leur score

2.8 EHI :

Oldfield (1971) a élaboré l'Edinburgh Handedness Inventory (EHI) (Annexe X), c'est un test qui permettait d'avoir rapidement, complété en 3 minutes, une évaluation quantitative standardisée de la latéralité manuelle des participants à savoir droitier, gaucher ou ambidextre. Nous présentions le formulaire au participant et nous lui détaillions les modalités pour le compléter en précisant bien qu'il devait se baser sur ses pratiques

habituelles. On utilisait les données de ce questionnaire en cas d'écarts de performances lors de l'audiométrie tonale en fonction de l'oreille utilisée c'est-à-dire droite ou gauche.

L'EHI comprend une liste d'activités courantes qui requièrent une main dominante, comme écrire, lancer, se brosser les dents... Le sujet se familiarisait avec la liste et complétait le tableau avec des « + » dans la colonne correspondant à la main préférée pour l'activité.

Si le participant avait une forte préférence et ne faisait jamais appel à l'autre main, il indiquait « ++ » dans la colonne appropriée. Si aucune préférence n'était ressentie, il notait alors « + » dans les deux colonnes. Si l'une des tâches n'avait jamais été réalisée, la case devait rester vide.

Une fois le tableau complété, l'opérateur additionnait les scores de préférence pour chaque main et la relation Laterality Quotient (LQ) était appliquée :

$$C_{lat} = \frac{(Droite - Gauche)}{(Droite + Gauche)}$$

Le degré de préférence manuelle était défini selon le coefficient de latéralisation manuelle si le score variait entre [0,1 ; 1] le participant était droitier, si le score était entre l'intervalle [-1 ; - 0,1] le participant était gaucher et si le coefficient était égal à 0 le sujet est ambidextre.

Au sein de notre population, 80 participants étaient droitiers, 3 étaient ambidextres et 5 étaient gauchers.

3. Analyses statistiques :

Les données statistiques ont d'abord été collectées dans un tableau Excel au fur et à mesure de la passation des tests par les opérateurs. L'analyse des données a ensuite été réalisée à l'aide du logiciel R et les librairies lmerTest et emmeans excel, ainsi que sur le logiciel JASP (version 0.19.1.0) et Excel.

Le modèle statistique le plus adapté au traitement de nos données était le modèle linéaire mixte. Ce choix se justifie par la nature de l'étude, qui comporte plusieurs variables, des mesures répétées et quatre conditions expérimentales par participant. Ce modèle

présente à la fois une forte puissance statistique et une grande flexibilité, notamment pour intégrer des interactions complexes entre variables.

En effet, le modèle linéaire mixte permet d'expliquer une variable dépendante par des variables indépendantes tout en prenant en compte la variabilité inter-individuelle. De plus, il permet aussi d'isoler l'effet réel d'une variable d'intérêt tout en contrôlant les autres variables.

Le modèle testé incluait toutes les variables listées dans le tableau de résultats (ANNEXE X) et également le facteur « participant » traité comme un facteur aléatoire.

Ce modèle statistique nous donne accès à plusieurs données. Nous avons pour chaque variable traitée, une valeur d'estimation, qui nous permet d'obtenir l'effet moyen estimé d'une variable indépendante (âge, sexe, score NESI, expertise d'écoute...) sur une variable dépendante (seuil au test AMD). Ce qui correspond à la différence moyenne attendue entre deux profils, en contrôlant toutes les autres variables du modèle.

Nous avons aussi accès à une valeur d'erreur standard (SE) qui permet de mesurer la précision de l'estimation, à savoir que plus le SE est petit, plus l'estimation est précise. De plus, cette valeur nous permet de construire les intervalles de confiance.

Enfin, la valeur de p-value permet de mesurer si les résultats obtenus sont dus au hasard ou s'ils sont vraiment significatifs. A savoir que plus la valeur de p-value est petite, plus l'effet statistique est significatif.

La variable dépendante analysée était le seuil de modulation d'amplitude (seuil du test AMD).

Résultats

1. Effet du NESI sur les performances au test AMD :

Afin de quantifier l'exposition au bruit des participants, le NESI a été utilisé.

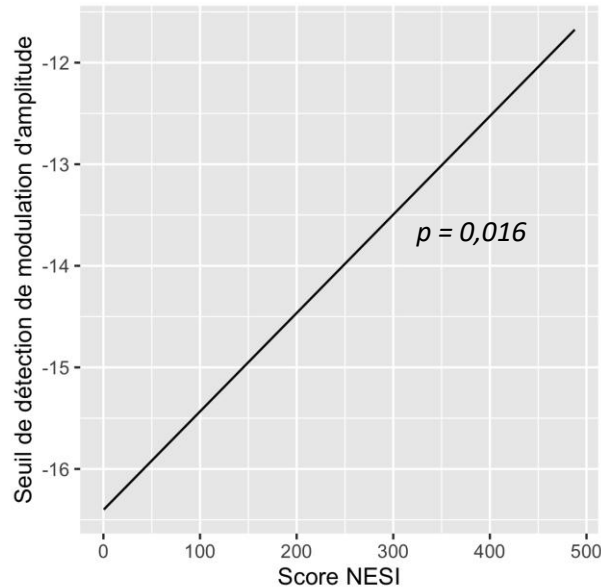


Figure 6. Relation entre le seuil de détection de modulation d'amplitude (en dB HL) et le score NESI (en unité d'exposition au bruit)

Le modèle linéaire mixte démontre un effet significatif du score NESI sur le seuil de détection de modulation d'amplitude. On remarque que plus le score NESI est élevé, c'est-à-dire que le participant a été exposé au bruit au cours de sa vie, plus les performances au test AMD diminuent (estimation = 0,655* ; SE = 0,270 ; p = 0,016*).

Autrement dit, une augmentation du score NESI est associée à une élévation significative du seuil de détection de modulation d'amplitude, marquant une moins bonne capacité à percevoir les modulations d'amplitude. Le modèle linéaire mixte se base sur une estimation théorique, ce qui signifie qu'on considère que toutes les autres variables (âge, sexe, expertise d'écoute...) sont maintenues à leur valeur moyenne afin qu'elles soient contrôlées statistiquement et leur effet est neutralisé afin d'éviter tout effet sur la variable étudiée ici le NESI. Si on fait une comparaison entre deux profils, l'un avec un score NESI bas

(0,361 unités d'exposition au bruit) et l'autre avec un score NESI élevé (487,849 unités d'exposition au bruit). La différence théorique au test AMD sera équivalente à la différence entre -16,4 dB HL et -11,7 dB HL. De plus, cette différence significative est confirmée par l'analyse des intervalles de confiance : pour le profil avec un score NESI bas, l'intervalle de confiance sera compris entre [-18,5 ; -14,32], tandis que pour le profil avec un score NESI élevé l'intervalle de confiance sera compris entre [-13,8 ; -9,55], cela met bien en évidence une distinction notable entre les deux groupes de participants.

SYNTHÈSE

Corrélation positive entre le score NESI et le seuil AMD : plus le score NESI est élevé, plus le seuil AMD est élevé.

2. Effet du sexe sur les performances au test AMD :

Durant le recrutement de participants, nous avons essayé d'obtenir un équilibre entre les sexes (43 femmes et 45 hommes) afin de confirmer ou non un impact sur les performances au test AMD en fonction des sexes.

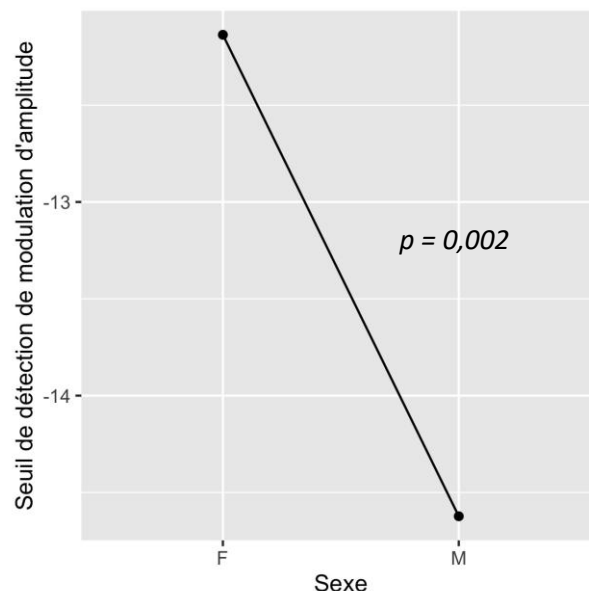


Figure 7. Relation du sexe des participants et le seuil de détection de modulation d'amplitude (dB HL)

Suite à l'analyse du modèle linéaire mixte, un effet significatif du sexe du participant sur les performances au test de modulation d'amplitude (estimation = -2,486* ; SE = 0,784 ; p-value = 0,002**). On observe que les hommes obtiennent de meilleures performances au test AMD comparés aux femmes. Dans la même logique statistique où toutes les autres variables sont contrôlées afin d'analyser seulement l'effet du sexe. Le groupe des hommes présentait un seuil moyen au test AMD de -14,6 dB HL (SE = 0,565 ; intervalle de confiance 95 % = [-15,7 ; -13,5]) et les femmes présentaient un seuil moyen au test AMD de -12,1 dB HL (SE = 0,690 ; intervalle de confiance = [-13,5 ; -10,8]). D'après le modèle linéaire mixte, on note une différence significative moyenne de -2,489 dB HL en faveur des hommes.

SYNTHÈSE

Effet significatif du sexe sur les performances au test AMD : les hommes sont plus performants que les femmes à la tâche de détection de variations d'amplitude.

3. Effet de la perception de la parole dans le bruit sur les performances au test AMD :

Au sein de l'auto-questionnaire sur l'expertise d'écoute, la question 1a faisait référence aux difficultés de perception de la parole dans les environnements bruyants :

« Je trouve difficile de comprendre ce que quelqu'un dit lorsque l'environnement est bruyant ?

(Pas du tout d'accord) 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10 (Tout à fait d'accord) »

Chaque participant a répondu à cette question en entourant le chiffre qui correspondait le mieux à son profil (moyenne = 6,07).

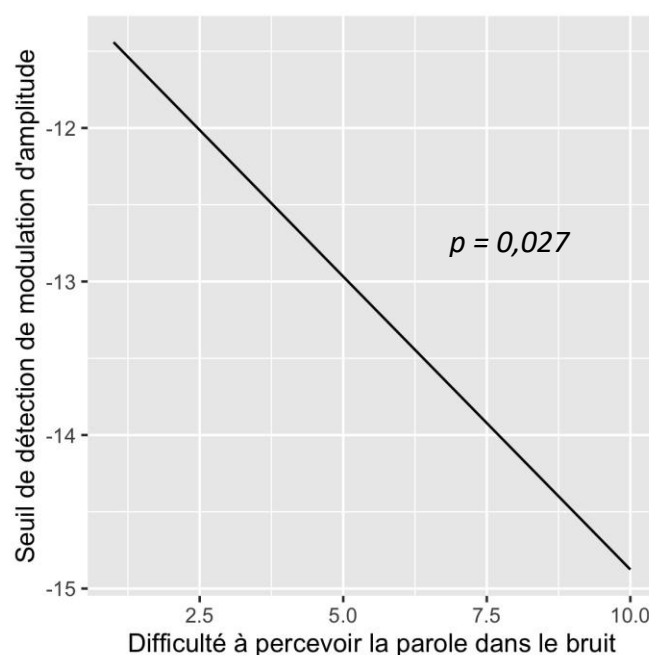


Figure 8. Relation entre la perception de la parole dans le bruit et le seuil de détection de modulation d'amplitude

Le modèle linéaire mixte met en évidence un effet significatif de la difficulté à comprendre dans le bruit sur les performances au test AMD. Les résultats montrent que plus le participant déclare avoir des difficultés de compréhension dans le bruit, meilleures sont les performances au test AMD, avec des seuils de modulation d'amplitude plus bas (estimation = - 0,382* ; SE = 0,172 ; p-value = 0,027*).

D'après l'approche statistique de nos profils théoriques, le groupe ayant répondu 1 à la question aurait un seuil moyen au test AMD de -11,4 dB HL, tandis que le groupe ayant répondu 10 à la question aurait un seuil moyen au test AMD de -14,9 dB HL. Cette différence est soulignée par les intervalles de confiance de [-13,4 ; -9,48] pour le groupe affirmant une absence de difficulté de compréhension dans les environnements bruyants comparés à [-16,6 ; -13,18] pour le groupe rapportant avoir des difficultés en milieu bruyant.

SYNTHÈSE

Corrélation négative entre l'évaluation subjective des difficultés de compréhension dans le bruit et les performances au test AMD : plus les participants déclaraient avoir des difficultés, plus ils étaient performants au test AMD.

4. Effet du seuil auditif sur les performances au test AMD :

Le modèle linéaire mixte démontre un effet significatif du seuil auditif moyen (PTA 500 Hz – 4 000 Hz) sur le seuil de détection de modulation d’amplitude. On remarque que plus la PTA est élevée, ce qui correspond à une audition altérée, moins les participants sont performants au test AMD, c’est-à-dire que leurs capacités de détection des variations de modulation d’amplitude diminuent progressivement (estimation = 0,105* ; SE = 0,043 ; p-value = 0,015*).

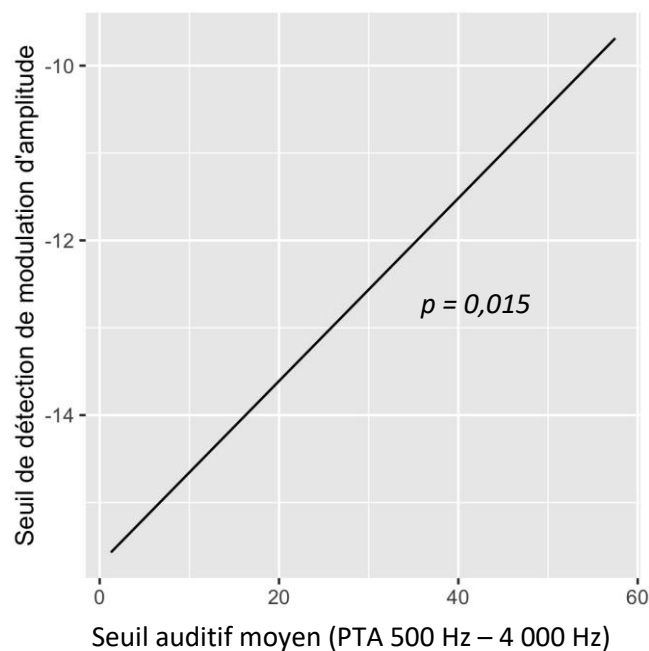


Figure 9. Relation linéaire croissante entre seuil de détection de modulation d’amplitude (en dB HL) et le seuil auditif moyen tonale aérien (PTA) calculé avec les fréquences 500 Hz, 1 000 Hz, 2 000 Hz et 4 000 Hz

Si l’on compare deux profils types : l’un ayant une PTA faible (1,25 dB HL), alors que l’autre ayant une PTA plus élevée (57,5 dB HL). La différence théorique entre leurs scores au test AMD serait comprise entre -15,57 dB HL et -9,69 dB HL. De plus, cette différence significative est confirmée par l’analyse des intervalles de confiance : pour le profil avec une bonne audition, l’intervalle de confiance sera compris entre [-17,6 ; -13,54], tandis que pour le profil malentendant l’intervalle de confiance sera compris entre [-12,8 ; -6,53].

SYNTHÈSE

Corrélation positive entre le seuil auditif moyen (PTA) et le seuil AMD : plus l'audition est altérée, plus le seuil AMD est élevé avec des performances au test AMD moins bonnes.

5. Effet de la pratique musicale sur les performances au test AMD :

Notre protocole comportait un auto-questionnaire sur l'expertise d'écoute. Dans cet auto-questionnaire, la question 2b faisait référence au fait d'être musicien ou ancien musicien :

« Jouez-vous, ou avez-vous joué à un moment de votre vie, d'un instrument de musique à raison d'au moins 1 heure par semaine ? Oui/Non »

Nous notons que 26 des 88 participants ont répondu oui.

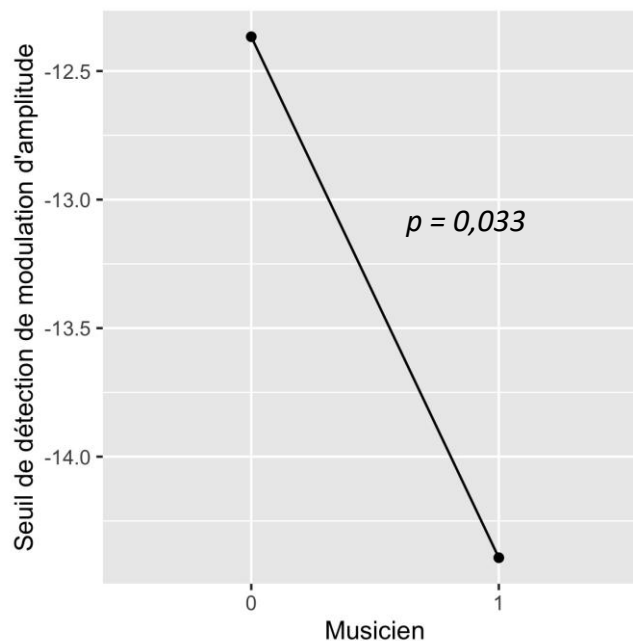


Figure 10. Relation entre les participants ayant eu une pratique musicale et le seuil de détection de modulation d'amplitude (dB HL)

Selon le modèle linéaire mixte, un effet significatif du statut de musicien a été mis en évidence sur les performances au test de modulation d'amplitude (estimation = 0,105* ; SE = 0,043 ; $p = 0,015^*$). On remarque en comparant nos deux groupes : les participants ayant

pratiqué de la musique obtiennent de meilleures performances que les non-musiciens. Un seuil moyen au test AMD de -14,4 dB HL pour les musiciens comparé à -12,4 dB HL pour les non-musiciens. D'après la différence moyenne estimée par le modèle linéaire mixte entre ces deux groupes, on obtient une différence significative de -2,027 dB HL, confirmant que la pratique musicale a un effet sur la sensibilité aux variations d'amplitude. Cette différence est aussi mise en évidence par les intervalles de confiance qui sont entre [-15,9 ; -12,9] pour les musiciens comparés à [-13,5 ; -11,2] pour les non-musiciens.

SYNTHÈSE

Effet significatif de la pratique musicale sur les performances au test AMD : les musiciens sont plus performants que les non-musiciens à la tâche de détection de variations d'amplitude.

6. Effet de l'ordre de passage sur le test de modulation d'amplitude :

Le test de détection de modulation d'amplitude comportait quatre rangs, à savoir que plus le score au test AMD est faible, plus les participants étaient performants.

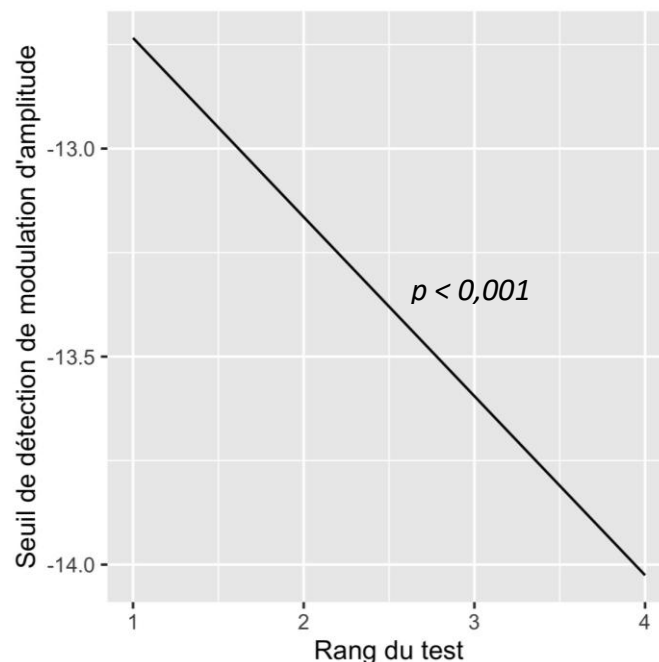


Figure 11. Relation du seuil de détection de modulation d'amplitude (dB HL) et de l'ordre de passage dans lequel les tests ont été réalisés

Selon le modèle linéaire mixte, un effet significatif de l'ordre de passage a été observé sur les seuils de détection de modulation d'amplitude. On remarque une diminution progressive des seuils de détection de modulation d'amplitude entre la première phase et la quatrième phase, indiquant alors une amélioration des performances au fur et à mesure de la répétition de la tâche (estimation = -0,430 ; SE = 0,112 ; p-value < 0,001***).

Alors dans ce modèle on note une réduction du seuil d'environ 0,4 dB HL était associée à chaque phase. Les participants ayant de meilleures performances, des capacités de détection des variations de modulations d'amplitude plus fines au seuil de plus en plus faible.

SYNTHÈSE

Effet significatif de l'ordre de passage sur les performances au test AMD : plus le participant passe de phases, plus son seuil a tendance à baisser.

Discussion

L'hypothèse émise était que les performances à la tâche de modulation d'amplitude étaient influencées par l'exposition au bruit, le sexe, l'expertise d'écoute et les caractéristiques audiométriques.

1. Relation entre le NESI et les performances au test AMD :

Au cours de notre analyse statistique, nous observons une corrélation positive entre le NESI et le seuil au test AMD ($p\text{-value} = 0,016$). Plus le score NESI est élevé, plus les seuils au test AMD sont élevés, ce qui signifie que les performances sont de plus en plus mauvaises.

Cet effet confirme l'hypothèse selon laquelle l'exposition au bruit est associée à une dégradation des connexions synaptiques, impactant la transmission et le codage des structures fines du son. Cependant, les informations issues de la structure fine des sons sont essentielles pour la compréhension de la parole, notamment dans les environnements bruyants. Cet effet peut donc expliquer la baisse des performances observée au test AMD. Par conséquent, l'hypothèse où l'exposition au bruit peut engendrer des effets nocifs sur les mécanismes de l'audition entraînant des difficultés de compréhension malgré un audiogramme considéré comme étant normal est confirmée.

A noté que les résultats obtenus sont en accord avec ceux de l'étude de Füllgrabe et al. (2020) mais en contradiction avec ceux de l'étude de Füllgrabe et al. (2023). Cette contradiction peut s'expliquer par divers facteurs. La variabilité de la population étudiée : taille de l'échantillon, sélection et profils des participants. Par exemple, certains participants ayant des scores élevés au NESI pouvaient avoir développé une expertise d'écoute liée à leurs professions, comme les ingénieurs du son, ou encore liée à leur loisir, comme les musiciens. De plus, les tests psychoacoustiques utilisés ne sont pas exactement les mêmes et ne mesurent pas les mêmes mécanismes auditifs.

Ces résultats suggèrent que les effets de l'exposition au bruit sur le codage temporel des sons dépendent de nombreux facteurs, qu'il faut contrôler afin de pouvoir faire des comparaisons justes entre toutes les études.

2. Relation entre le sexe et les performances au test AMD :

Nous observons une influence du sexe des participants sur les performances au test AMD : les femmes obtiennent des résultats inférieurs à ceux des hommes. Le modèle linéaire mixte indique une valeur d'estimation de -2,486 et une p-value de 0,002, marquant ainsi la significativité de ce phénomène.

Cette différence intersexe a déjà été mise en évidence dans d'autres études similaires (Füllgrabe et al., 2020, 2023 ; Moore et al., 2019), présentant toujours cette même tendance : un avantage pour les hommes. Cette différence n'est pas clairement explicable mais elle pourrait se justifier par des facteurs biologiques, hormonaux et prénataux (Aloufi et al., 2023).

De plus, d'autres facteurs peuvent intervenir tels que l'exposition au bruit. Il a été prouvé que les hommes étaient statistiquement plus exposés au bruit, notamment au cours de leur vie professionnelle (Van Dijk et al., 2016), ce qui peut potentiellement renforcer certains mécanismes compensatoires. D'autres facteurs encore comme la motivation ou la stratégie utilisée lors du test AMD peuvent également entrer en jeu.

3. Relation entre l'expertise d'écoute et les performances au test AMD :

Nous trouvons une corrélation négative significative entre la Q1a, portant sur la perception de la parole dans le bruit, de l'auto-questionnaire sur l'expertise d'écoute et les performances au test AMD (p-value = 0,027). Autrement dit, plus les participants déclaraient avoir des difficultés de compréhension dans le bruit, plus ils étaient performants à la tâche de modulation d'amplitude. Nous nous attendions à constater l'inverse, c'est pourquoi ces résultats sont très surprenants.

Ce phénomène peut s'expliquer par la potentielle non-fiabilité des réponses à l'auto-questionnaire. En effet, cet exercice était subjectif. Il se pourrait que les participants aient

surestimé ou sous-estimé leurs taux de difficultés auditives comparés à la réalité. Ou encore que tous les participants n'avaient pas la même définition d'environnement bruyant.

De plus, ce décalage entre perception subjective de chacun et capacités objectives mesurées par les tests psychoacoustiques avait déjà été étudié et mis en avance par Füllgrabe et al., (2020). Par conséquent, il faut bien nuancer le ressenti des participants par rapport aux tests objectifs car cela ne se reflète pas toujours. Cette approche n'est donc pas fiable et les auto-questionnaires ne sont pas assez sensible pour détecter les synaptopathies cochléaires.

4. Relation entre le seuil auditif (PTA) et les performances au test AMD :

Lors de l'analyse des résultats, une corrélation significative positive entre les seuils audiométriques moyens (PTA) et le seuil AMD a été soulignée ($p\text{-value} = 0,015$). Cela signifie que plus l'audition est altérée, plus le seuil AMD est élevé, c'est-à-dire que les performances au test AMD sont moins bonnes. Ce fait avait aussi été constaté lors de l'étude de Narne et al., (2023). De ce fait on peut se dire que l'hypothèse est soutenue. Cependant, cette observation est surprenante puisque lors des recherches antérieures comme Füllgrabe et al., (2023), les performances au test psychoacoustique (ERD) n'étaient pas corrélées aux seuils audiométriques.

Füllgrabe et al., (2023) avaient émis l'hypothèse que les performances au test ERD n'étaient pas corrélées aux seuils auditifs en dessous de 60 dB HL mais que des seuils supérieurs impliquant des pertes plus profondes, avec plus d'altération, pourraient avoir un impact sur le test ERD. En revanche, cela ne s'applique pas dans notre recherche. Cette différence peut s'expliquer par de nombreux facteurs, comme la divergence de protocoles mis en œuvre, la variabilité des profils des participants et surtout la variabilité des pertes auditives chez les participants dans les deux études.

Nous pouvons donc supposer que le test AMD est potentiellement un indicateur sensible de dysfonctionnements auditifs périphériques classiques comme une élévation du seuil auditif, l'élargissement des filtres fréquentiels ou encore le phénomène de recrutement. Cependant cette relation entre les seuils audiométriques et les performances à

la tâche de modulation d'amplitude n'est peut-être pas assez sensible dans le cas des surdités cachées.

5. Relation entre la pratique musicale et les performances au test AMD :

Suite à l'analyse statistique, on note un effet significatif de la pratique musicale sur les performances au test AMD ($p\text{-value} = 0,033$). En effet, les participants ayant pratiqué une activité musicale sont plus performants à la tâche de détection de modulation l'amplitude que les non-musiciens.

Cela suggère que les musiciens sont potentiellement plus attentifs que les non-musiciens et aussi que l'entraînement musical pourrait affiner les capacités de perception auditive.

Cependant, certaines études antérieures ne constatent pas d'effet significatif en faveur des profils qui pratiquent la musique, comme celle de Füllgrabe et al., (2020) ou encore celle Narne et al., (2023).

Ce qui suggère que l'effet de la pratique musicale pourrait dépendre d'autres facteurs, tels que le type de test utilisé, la durée ou l'intensité de l'entraînement musical, ou encore l'âge auquel la pratique de musique a commencé.

De ce fait, on peut se demander si les musiciens développent de meilleures capacités à extraire les indices temporels nécessaires à la perception de la parole dans le bruit, comparé aux non-musiciens. Étant donné l'incohérence, cette variable ne peut être considérée comme fiable et doit faire l'objet d'une analyse plus poussée.

6. Relation entre l'ordre de passage et le test de modulation d'amplitude :

Enfin, on observe une influence de l'ordre de passage sur les performances au test AMD ($p\text{-value} < 0,001$). C'est-à-dire qu'au fur et à mesure de la passation du test, les seuils des participants ont tendance à diminuer, c'est-à-dire à être plus performants. Ce phénomène peut s'expliquer par un effet d'apprentissage ou de familiarisation de la tâche.

Ce type d'effet a déjà été mis en évidence par Moore *An Introduction to the Psychology of Hearing* (2012) lors de ses études précédentes sur d'autres tests

psychoacoustiques. La seule subtilité est que cet effet doit être contrôlé, afin d'éviter tout biais dans l'analyse des données. Comme cela a été réalisé dans notre étude, cela passe par la randomisation de l'ordre de passage entre les participants et l'intégration du rang comme une variable dans notre modèle statistique.

Conclusion

L'objectif de notre recherche visait à analyser l'influence de l'exposition au bruit, de l'expertise d'écoute, de l'âge, des caractéristiques audiométriques et du sexe sur les capacités de détection de modulations d'amplitude. Le but était d'identifier des effets significatifs suffisamment marqués afin de les cibler et de potentiellement développer un test capable de détecter la synaptopathie cochléaire basé sur ces données.

Tout en dépassant les limites de l'étude de Narne et al., (2023). En effet, la population étudiée ne comportait pas assez de profils variés : un groupe exposé à des intensités élevées et un groupe témoin peu exposé mais tous « jeunes ». Lors du recrutement, nous avons essayé de varier le plus possible les profils en terme d'âge, de sexe, et d'exposition au bruit. De plus, cette recherche avait mis en évidence des résultats significatifs démontrant que chez leur groupe de participants exposés une dégradation de la sensibilité auditive dans les hautes fréquences était présente et corrélée à une moins bonne compréhension des consonnes dans le bruit. Cependant cette tendance n'a pas été observée dans notre étude.

Au cours de notre analyse statistique, nous avons observé des effets significatifs : le score NESI était également corrélé aux capacités de détection de modulation d'amplitude, confirmant que le test AMD est sensible aux dégradations de codage des structures fines des sons, indispensables à la compréhension de la parole dans le bruit.

Les seuils audiométriques se sont révélés corrélés aux performances des participants au test AMD, ce qui signifie que ce test psychoacoustique est sensible au dysfonctionnement auditif mais pas suffisamment spécifique à la détection de la synaptopathie cochléaire.

De plus, l'ordre de passage du test de modulations d'amplitude avait un impact sur les performances de celui-ci. Nous rappelant alors l'importance de contrôler nos données dans l'analyse statistique.

Enfin, un effet significatif a été observé concernant le sexe, la pratique musicale des participants et leur auto-évaluation sur les difficultés de compréhension. Toutefois, malgré ces résultats significatifs, ces trois paramètres semblent dépendre tout de même d'autres

facteurs extérieurs puisque des résultats contradictoires ont été observés dans d'autres études antérieures (Füllgrabe et al., 2023; Narne et al., 2023).

Pour conclure, le test AMD manque de sensible, de fiable ou encore de spécifique pour être considéré comme un outil de diagnostic de la synaptopathie cochléaire. En revanche, il constitue un indicateur pertinent à explorer dans le cadre de futures recherches, visant à développer un test apte à détecter les synaptopathie cochléaire.

Bibliographie

- Aloufi, N., Heinrich, A., Marshall, K., & Kluk, K. (2023). Sex differences and the effect of female sex hormones on auditory function : A systematic review. *Frontiers in Human Neuroscience*, 17, 1077409. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1077409>
- Arehart, K. H. (2008). *Cochlear Hearing Loss : Physiological, Psychological and Technical Issues, Second Edition (Wiley Series in Human Communication Science)*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 124(5), 2665-2666.
<https://doi.org/10.1121/1.2982418>
- Arrêté du 14 novembre 2018, chapitre 3 du titre II de la liste des produits et prestations prévue à l'article L. 165-1 du code de la sécurité sociale. (s. d.). Consulté 5 décembre 2024, à l'adresse <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000037615111>
- Article D4361-19 du Code de la santé publique. (2005).
https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000006914295
- Article L5211-1 du Code de la santé publique. (2022).
https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000046126069
- Belmin, J., Pariel-Madjlessi, S., Surun, P., Bentot, C., Feteanu, D., Lefebvre Des Noettes, V., Onen, F., Drunat, O., Trivalle, C., Chassagne, P., & Golmard, J.-L. (2007). The cognitive disorders examination (Codex) is a reliable 3-minute test for detection of dementia in the elderly (validation study on 323 subjects). *La Presse Médicale*, 36(9), 1183-1190.
<https://doi.org/10.1016/j.lpm.2007.03.016>

- Bharadwaj, H. M., Verhulst, S., Shaheen, L., Liberman, M. C., & Shinn-Cunningham, B. G. (2014). Cochlear neuropathy and the coding of supra-threshold sound. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2014.00026>
- DiNino, M., Holt, L. L., & Shinn-Cunningham, B. G. (2022). Cutting Through the Noise : Noise-induced Cochlear Synaptopathy and Individual Differences in Speech Understanding Among Listeners with Normal Audiograms. *Ear and hearing*, 43(1), 9-22. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000001147>
- Dobie, R. A., & Humes, L. E. (2017). Commentary on the regulatory implications of noise-induced cochlear neuropathy. *International Journal of Audiology*, 56(sup1), 74-78. <https://doi.org/10.1080/14992027.2016.1255359>
- Füllgrabe, C., Fontan, L., Vidal, É., Massari, H., & Moore, B. C. J. (2023). Effects of hearing loss, age, noise exposure, and listening skills on envelope regularity discrimination. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 154(4), 2453-2461. <https://doi.org/10.1121/10.0021884>
- Füllgrabe, C., Moody, M., & Moore, B. C. J. (2020a). No evidence for a link between noise exposure and auditory temporal processing for young adults with normal audiograms. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 147(6), EL465-EL470. <https://doi.org/10.1121/10.0001346>
- Füllgrabe, C., Moody, M., & Moore, B. C. J. (2020b). No evidence for a link between noise exposure and auditory temporal processing for young adults with normal audiograms. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 147(6), EL465-EL470. <https://doi.org/10.1121/10.0001346>

- Ghulyan-Bédikian, V., Paolino, M., Giorgetti-D'Esclercs, F., & Paolino, F. (2010). Propriétés psychométriques d'une version française du Tinnitus Handicap Inventory. *L'Encéphale*, 36(5), 390-396. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2009.12.007>
- Green, S. B. (1991). How Many Subjects Does It Take To Do A Regression Analysis. *Multivariate Behavioral Research*, 26(3), 499-510. https://doi.org/10.1207/s15327906mbr2603_7
- Guest, H., Dewey, R. S., Plack, C. J., Couth, S., Prendergast, G., Bakay, W., & Hall, D. A. (2018). The Noise Exposure Structured Interview (NESI) : An Instrument for the Comprehensive Estimation of Lifetime Noise Exposure. *Trends in Hearing*, 22, 2331216518803213. <https://doi.org/10.1177/2331216518803213>
- Hakuba, N., Koga, K., Gyo, K., Usami, S., & Tanaka, K. (2000). Exacerbation of Noise-Induced Hearing Loss in Mice Lacking the Glutamate Transporter GLAST. *The Journal of Neuroscience*, 20(23), 8750-8753. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.20-23-08750.2000>
- Kujawa, S. G., & Liberman, M. C. (2009). Adding Insult to Injury : Cochlear Nerve Degeneration after “Temporary” Noise-Induced Hearing Loss. *The Journal of Neuroscience*, 29(45), 14077-14085. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2845-09.2009>
- Liberman, M. C., Epstein, M. J., Cleveland, S. S., Wang, H., & Maison, S. F. (2016). Toward a Differential Diagnosis of Hidden Hearing Loss in Humans. *PLOS ONE*, 11(9), e0162726. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162726>
- Liberman, M. C., & Kujawa, S. G. (2017). Cochlear synaptopathy in acquired sensorineural hearing loss : Manifestations and mechanisms. *Hearing Research*, 349, 138-147. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2017.01.003>

- Liu, L., Chen, Y., Qi, J., Zhang, Y., He, Y., Ni, W., Li, W., Zhang, S., Sun, S., Taketo, M. M., Wang, L., Chai, R., & Li, H. (2016). Wnt activation protects against neomycin-induced hair cell damage in the mouse cochlea. *Cell Death & Disease*, 7(3), e2136-e2136.
<https://doi.org/10.1038/cddis.2016.35>
- Mao, H., & Chen, Y. (2021). Noise-Induced Hearing Loss : Updates on Molecular Targets and Potential Interventions. *Neural Plasticity*, 2021, 1-16.
<https://doi.org/10.1155/2021/4784385>
- Mehraei, G., Hickox, A. E., Bharadwaj, H. M., Goldberg, H., Verhulst, S., Liberman, M. C., & Shinn-Cunningham, B. G. (2016). Auditory Brainstem Response Latency in Noise as a Marker of Cochlear Synaptopathy. *The Journal of Neuroscience*, 36(13), 3755-3764.
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4460-15.2016>
- Moore, B. C. J., Sęk, A. P., Vinay, & Füllgrabe, C. (2019). Envelope regularity discrimination. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 145(5), 2861-2870.
<https://doi.org/10.1121/1.5100620>
- Narne, V. K., Jain, S., Bharani, Ravi, S. K., Almudhi, A., Krishna, Y., & Moore, B. C. J. (2023). The effect of recreational noise exposure on amplitude-modulation detection, hearing sensitivity at frequencies above 8 kHz, and perception of speech in noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 153(5), 2562.
<https://doi.org/10.1121/10.0017973>
- Newman, C. W., Jacobson, G. P., & Spitzer, J. B. (1996). Development of the Tinnitus Handicap Inventory. *Archives of Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, 122(2), 143-148. <https://doi.org/10.1001/archotol.1996.01890140029007>
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness : The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)

- Plack, C. J., Barker, D., & Prendergast, G. (2014). Perceptual Consequences of “Hidden” Hearing Loss. *Trends in Hearing*, 18, 2331216514550621.
<https://doi.org/10.1177/2331216514550621>
- Roup, C. M., Post, E., & Lewis, J. (2018). Mild-Gain Hearing Aids as a Treatment for Adults with Self-Reported Hearing Difficulties. *Journal of the American Academy of Audiology*, 29(06), 477-494. <https://doi.org/10.3766/jaaa.16111>
- Ruggles, D., Bharadwaj, H., & Shinn-Cunningham, B. G. (2011). Normal hearing is not enough to guarantee robust encoding of suprathreshold features important in everyday communication. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(37), 15516-15521. <https://doi.org/10.1073/pnas.1108912108>
- Schaette, R., & McAlpine, D. (2011). Tinnitus with a Normal Audiogram : Physiological Evidence for Hidden Hearing Loss and Computational Model. *The Journal of Neuroscience*, 31(38), 13452-13457. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2156-11.2011>
- Suzuki, J., Corfas, G., & Liberman, M. C. (2016). Round-window delivery of neurotrophin 3 regenerates cochlear synapses after acoustic overexposure. *Scientific Reports*, 6(1), 24907. <https://doi.org/10.1038/srep24907>
- Tremblay, K. L., Pinto, A., Fischer, M. E., Klein, B. E. K., Klein, R., Levy, S., Tweed, T. S., & Cruickshanks, K. J. (2015). Self-Reported Hearing Difficulties Among Adults With Normal Audiograms : The Beaver Dam Offspring Study. *Ear and hearing*, 36(6), e290-e299. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000195>
- Valderrama, J. T., Beach, E. F., Yeend, I., Sharma, M., Van Dun, B., & Dillon, H. (2018). Effects of lifetime noise exposure on the middle-age human auditory brainstem response,

- tinnitus and speech-in-noise intelligibility. *Hearing Research*, 365, 36-48.
<https://doi.org/10.1016/j.heares.2018.06.003>
- Valderrama, J. T., De La Torre, A., & McAlpine, D. (2022). The hunt for hidden hearing loss in humans : From preclinical studies to effective interventions. *Frontiers in Neuroscience*, 16, 1000304. <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.1000304>
- Van Dijk, P., Başkent, D., Gaudrain, E., De Kleine, E., Wagner, A., & Lanting, C. (Éds.). (2016). *Physiology, Psychoacoustics and Cognition in Normal and Impaired Hearing* (Vol. 894). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-25474-6>
- Viana, L. M., O'Malley, J. T., Burgess, B. J., Jones, D. D., Oliveira, C. A. C. P., Santos, F., Merchant, S. N., Liberman, L. D., & Liberman, M. C. (2015). Cochlear neuropathy in human presbycusis : Confocal analysis of hidden hearing loss in post-mortem tissue. *Hearing Research*, 327, 78-88. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2015.04.014>
- Wilson, J. L., Abrams, K. S., & Henry, K. S. (2021). Effects of Kainic Acid-Induced Auditory Nerve Damage on Envelope-Following Responses in the Budgerigar (*Melopsittacus undulatus*). *JARO: Journal of the Association for Research in Otolaryngology*, 22(1), 33-49. <https://doi.org/10.1007/s10162-020-00776-x>
- Wise, A. K., Richardson, R., Hardman, J., Clark, G., & O'Leary, S. (2005). Resprouting and survival of guinea pig cochlear neurons in response to the administration of the neurotrophins brain-derived neurotrophic factor and neurotrophin-3. *The Journal of Comparative Neurology*, 487(2), 147-165. <https://doi.org/10.1002/cne.20563>
- Wu, P. Z., Liberman, L. D., Bennett, K., De Gruttola, V., O'Malley, J. T., & Liberman, M. C. (2019). Primary Neural Degeneration in the Human Cochlea : Evidence for Hidden Hearing Loss in the Aging Ear. *Neuroscience*, 407, 8-20.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2018.07.053>

Annexes

ANNEXE I. Flyer.....	1
ANNEXE II. Feuille de route	2
ANNEXE III. Notice d'information et consentement éclairé	9
ANNEXE IV. Fiche d'entretien.....	11
ANNEXE V. Auto-questionnaire sur l'expertise d'écoute.....	12
ANNEXE VI. Questionnaire du Codex	13
ANNEXE VII. NESI	14
ANNEXE VIII. Questionnaire du THI.....	22
ANNEXE IX. Questionnaire du EHI	23
ANNEXE X. Tableau résultats.....	24

ANNEXE I. Flyer



APPEL À PARTICIPATION

Ensemble, faisons avancer la science de l'audition !

PARTICIPEZ À UNE EXPÉRIENCE SCIENTIFIQUE VISANT À
MIEUX CONNAÎTRE LA RELATION ENTRE L'AUDITION ET
L'EXPOSITION AU BRUIT (DURÉE 1H15 MAXIMUM)

NOUS RECHERCHONS :

Adultes (18 ans et plus)

Exposés plus ou moins
aux activités bruyantes
(BTP, armée, crèche,
musique, concerts ...)

Des Volontaires



PROFITEZ D'UN BILAN
AUDITIF

GRATUIT

École d'Audioprothèse, CCI du Lot,
94 Rue Hautesserre, 46 000 Cahors

Contactez-nous pour participer :

 etudecahors.audio2024@gmail.com

 06 52 80 24 72

 07 79 16 68 85

Cette étude est validée par le
Comité d'Éthique de la Recherche
de l'Université de Toulouse
(dossier n° 2024_933)

ANNEXE II. Feuille de route

Feuille de route du protocole expérimental

1. (Avant la passation)

Préparation du matériel de test :

Matériel	CHECK oui / non
Notice d'information et formulaire de consentement éclairé (x 2 exemplaires), cf. annexes	
Stylos	
Fiche d'entretien (cf. annexes) + autoquestionnaire sur l'expertise d'écoute	
Questionnaire du CoDex, fiche pour le dessin et annexe avec les 3 mots (cf. annexes)	
Questionnaire du NESI (cf. annexe à inclure)	
Questionnaire du THI (cf. annexes)	
Questionnaire EHI pour déterminer la latéralité (cf. annexes)	

Préparation du matériel d'audiométrie :

- Avoir un otoscope propre et des spéculums
- Faire l'otoscopie de manière bilatérale
- Allumer l'ordinateur et ouvrir l'interface "Noah 4"
- Créer une fiche pour chaque patient (Nom, Prénom, Âge)
- Se rendre sur le logiciel Otometrics
- Vérifier d'être sur le test d'audiométrie "tonale"
- Régler le stimulus en sons purs non pulsés
- Vérifier le transducteur de sortie
- Vérifier les pas de 5dB
- Afficher toutes les fréquences

Préparation du logiciel AMD (si l'ordinateur n'était pas déjà allumé) :

- Allumer l'ordinateur et choisir la session Lionel Fontan (mdp : **s3cr3t!**)
- Ne jamais connecter l'ordinateur à Internet !
- Brancher la carte son et le casque
- Vérifier que le jack derrière la carte son est bien enfoncé

- Vérifier sur les paramètres audio du PC que la sortie audio est bien "Main Out 1/2 (Studio 26/c)" et que "Volume principal" est bien à **100**
- Lancer MATLAB depuis le bureau
- Vérifier que le répertoire courant de MATLAB est bien "afc"

Déterminer un code pour le participant, sous la forme : **code de l'expérimentateur (K ou M), numéro de participant (2 chiffres en débutant par 01) suivi des initiales du participant en capitales**. Exemple : "K01LF" et le noter sur la fiche d'entretien (cf. annexes).

Mettre un panneau sur la porte : **silence, expérience en cours**.

Couper le téléphone portable dès l'accueil du participant. Éteindre la clim si besoin (penser à aérer entre deux participants).

2. Lecture de la lettre d'information

Donner la notice au participant, lui dire qu'il y a toutes les informations de l'expérience et que l'on doit recueillir son consentement. Dire que l'on va lire la notice rapidement ensemble et donner les informations principales :

- *Nous allons d'abord recueillir votre consentement*
- *Le test dure environ 1h30 ;*
- *Le test comprend un court entretien, plusieurs tests d'écoute pour vérifier les capacités auditives, puis à la fin un entretien plus complet sur l'historique d'exposition au bruit ;*
- *Le test ne comporte pas de risque et a été validé par le comité d'éthique de l'université de Toulouse ;*
- *Le participant peut arrêter l'expérience dès qu'il le souhaite, pour quelque raison que ce soit.*

3. Recueil du consentement éclairé

Faire signer le recueil en deux exemplaires, ranger l'un dans un dossier, et donner l'autre au participant.

4. Entretien préliminaire

- 1) La fiche d'entretien est remplie par l'expérimentateur, en posant des questions au participant.
- 2) L'autoquestionnaire sur l'expertise d'écoute (cf. annexes) est remis au participant. L'expérimentateur le lit avec lui et le participant le remplit. L'expérimentateur écrit le code du participant sur la fiche lorsqu'il la récupère.

5. CoDEX

Le questionnaire du CoDEX (cf. annexes) est administré au participant.

Consignes:

Préparer une feuille imprimée avec un cercle et la feuille avec les 3 mots.

- *Je vais vous poser quelques questions pour évaluer votre mémoire.*
- *Dans un premier temps je vais vous demander de lire ces 3 mots : clé, ballon, citron.*

Montrer la feuille présentant les 3 mots à retenir.

- *Je vais vous demander de les mémoriser puisque je vous les redemanderai dans quelques minutes.*
- *Pouvez-vous me répéter ces 3 mots une première fois s'il vous plaît ? Gardez-les en mémoire.*
- *Maintenant, je vous donne un stylo et une feuille. Sur celle-ci se trouve un cercle représentant le cadran d'une horloge. Je vais vous demander de dessiner dans ce cercle les chiffres que l'on voit habituellement sur le cadran d'une horloge.*
- *Ensuite, vous allez dessiner les aiguilles pour représenter l'heure de 5h10.*

Réalisation du test

- *Enfin, pouvez-vous me rappeler les 3 mots que vous avez lu et que je vous ai demandé de mémoriser au début.*

Rappel des trois mots

Si une tâche est normale et l'autre anormale, continuer le test avec 5 questions d'orientation spatiale (chaque bonne réponse vaut un point).

Je vais à présent vous poser 5 questions pour terminer :

- *Quel est le nom de l'établissement où nous nous trouvons ? (CCI du Lot, Purple Campus, Ecole d'audioprothèse de Cahors)*
- *Quel est le nom de la ville où nous sommes ? (Cahors)*
- *Quel est le nom du département où nous nous trouvons ? (Lot)*
- *Quel est le nom de la région où nous nous trouvons ? (Occitanie/Midi Pyrénées)*
- *A quel étage sommes-nous ? (Etage 1/Etage 2)*

Score:

- Si réponses correctes aux tests de mémorisation et de dessin d'horloge: catégorie A.

- Si réponses incorrectes aux tests de mémorisation et de dessin d'horloge : catégorie D.
- Si réponse incorrecte à l'un de ces 2 tests et score aux 5 questions ≥ 4 : catégorie B.
- Si réponse incorrecte à l'un de ces 2 tests et score aux 5 questions ≤ 3 : catégorie C.

Codex anormal pour les catégories C et D: probabilité de démence. Conseiller au patient de consulter son médecin traitant en lui amenant le résultat de ce test (bilan en milieu spécialisé, idéalement en consultation mémoire).

Score CoDEX du participant : _____ *(Si > B, exclusion mais tests audiométriques aériens réalisés quand même, avec debriefing)*

6. Audiométrie tonale aérienne

Otoscopie bilatérale : vérification de l'intégrité des conduits auditifs externes et des tympanes afin d'écartier quelconques anomalies.

Audiométrie tonale pour déterminer les seuils d'audition en CA avec le casque PELTOR H7A pour ces fréquences et dans l'ordre suivant : 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, 8000 Hz, 1000 Hz, 500 Hz, 250 Hz. Puis pour les hautes fréquences avec le casque Sennheiser HDA 300, dans cet ordre : 9000 Hz, 10 000 Hz, 11 200 Hz, 12 500 Hz, 14 000 Hz, 16 000 Hz.

L'audiométrie est faite oreille par oreille en commençant par la meilleure oreille autodéclarée, sinon droite (10 min). Des sons non wobulés et la méthode ascendante ont été utilisés. La méthode ascendante consiste dans un premier temps à présenter clairement le son à une intensité audible puis si le son est entendu réduire l'intensité par paliers de 10 dB jusqu'à ce que le patient n'entende plus le son et augmenter par paliers de 5 dB jusqu'à ce qu'il le perçoive à nouveau (procédure 10 down 5 up). Chaque seuil sera confirmé 2 fois.

Consignes pour l'expérimentateur : ne pas regarder le participant, cacher les mains, varier la durée de chaque son de manière aléatoire entre 1 et 3 s, varier aussi les espaces entre sons.

Consignes:

- *Nous allons tester votre audition. Nous allons le faire 2 fois, une première fois avec le casque classique sur les oreilles, et une seconde fois avec le vibreur osseux positionné derrière votre oreille. Lors du premier test nous allons utiliser deux casques différents.*
- *Pendant ces tests, je vais vous demander de regarder droit devant vous ou fermer les yeux.*
- *Je vais vous faire écouter des sons intermittents de type "bip bip", une 1ère fois de manière assez forte pour que vous puissiez l'identifier et dès que vous commencez à entendre un son, même s'il vous semble très faible, vous me dites "oui". On cherche la limite à partir de laquelle vous commencez à entendre. Nous allons commencer par votre meilleure, sinon la droite.*

En cas d'asymétrie ≥ 50 de en CA et systématiquement en CO, masquer l'oreille controlatérale :

en CA:

1 min = / son test + Rinne oreille masquée - TTC + 4 = 1 son test + Rinne oreille masquée - 35

/ max = / son test + TTC + 4 = 1 son test + 65

en CO

1 min = / son test + Rinne oreille masquée + 4 = 1 son test + Rinne oreille masquée + 15

1 max = / son test + TTC + 4 = 1 son test + 65

- Vous allez également entendre un bruit de souffle dans l'oreille droite/gauche, essayez de faire abstraction de celui-ci et restez concentrer sur les bips diffusés à gauche/droite.

Noter les seuils à 4000 Hz pour chaque oreille :

- Oreille droite : _____

- Oreille gauche : _____

Vérifier le critère d'inclusion : si au moins un des deux seuils est supérieur à 65 dB HL, exclusion.

Alterner à chaque participant l'oreille pour débiter les tests AMD, peut importe le niveau de perte à 4000Hz :

DROITE ou GAUCHE

7. Audiométrie tonale osseuse

La procédure et les consignes sont identiques que pour l'audiométrie tonale en CA cependant le transducteur ne sera pas le même. En CO, nous utiliserons le casque RADIOEAR B71W et seulement pour les fréquences : 1000 Hz, 2000 Hz et le 4000 Hz.

L'expérimentateur calcule la différence entre la moyenne des seuils aériens pour les fréquences 1, 2, et 4kHz et la moyenne des seuils osseux pour les fréquences 1, 2, et 4kHz :

Moyenne_{OSSEUSEod} (1,2,4) — Moyenne_{AERIENNEod} (1,2,4) = _____ dB (Si > 10, exclusion)

Moyenne_{OSSEUSEog} (1,2,4) — Moyenne_{AERIENNEog} (1,2,4) = _____ dB (Si > 10, exclusion)

8. Test AMD

8.1 Entraînement

- 1) Enlever un jack du casque pour ne diffuser que dans l'oreille qui a la perte la plus faible à 4000 Hz (cf. résultats de l'audiométrie tonale aérienne)
- 2) Lancer l'entraînement dans MATLAB en tapant la commande :

`afc('main', 'AM_TRAIN_4k', 'CODE_PARTICIPANT_TRAIN_XXXX', 'cd3')`

où CODE_PARTICIPANT correspond au code attribué au participant dans la phase de préparation, et 'XX' à l'oreille testée (OD ou OG). Exemple :

`afc('main', 'AM_TRAIN_4k', 'K01LF_TRAIN_DROITE', 'cd3')`

- 3) Donner la consigne au participant :

- Je vais maintenant placer ce casque sur votre tête. Vous allez entendre des sons uniquement dans l'oreille (DROITE ou GAUCHE). À chaque essai, vous allez entendre 3 sons séparés par des silences. L'objectif pour vous est d'identifier lequel des trois sons est différent des deux autres — vous pouvez le considérer comme un intrus, en quelque sorte.
- En fait, par rapport aux deux autres sons, l'intrus est un son dont l'intensité fluctue, comme dans le son suivant (**faire écouter la sinusoïde fluctuante seule Exemple 2**). Attention la stimulation est directe quand on appuie sur entrée !! Les autres sons ne changent pas d'intensité, ils ont un volume constant, comme dans ce son (**faire écouter la sinusoïde non fluctuante Exemple 1**). Vous, vous devez trouver lequel des trois sons présente une intensité fluctuante, comme dans ce son (**refaire écouter la sinusoïde fluctuante seule Exemple 2**). D'accord ? La difficulté sera que des sons sont diffusés en même temps que du bruit, comme dans ce son. Vous pouvez faire abstraction de ce bruit et vous concentrer sur le signal utile. (**faire écouter la sinusoïde fluctuante dans du bruit Exemple 3**).

Demander aux participants si la consigne est claire et réexpliquer au besoin.

- Lorsque les sons sont joués, vous allez voir les boutons 1, 2 et 3 s'illuminer ; chacun des boutons correspond aux premier, deuxième, et troisième son que vous entendez. Votre rôle consiste à cliquer avec la souris sur le bouton qui correspond au son qui est différent des deux autres selon vous.
- À chaque fois après la diffusion des trois sons, vous verrez le message "Parmi les sons 1, 2 et 3", lequel était différent ?" s'afficher. Il faut bien attendre que ce message s'affiche avant de faire votre choix. Et dès que vous donnez votre réponse, les trois prochains sons sont joués. La tâche va devenir de plus en plus difficile, cela est normal, ne vous inquiétez pas. Si vous ne savez pas, cliquez sur un bouton au hasard. À chaque réponse vous

aurez une indication qui vous dira si votre réponse était correcte ou non. Vous avez des questions ? Si vous êtes prêt, je vous mets le casque et on fait un entraînement."

- 4) Mettre le casque au participant en faisant attention au côté et en réglant le passe.
Penser à alterner l'oreille pour débiter les tests entre les participants.
- 5) Pendant l'entraînement, faire attention à ce que fait le participant :
 - Si lors des 3-4 premiers essais, il ne semble pas avoir compris et ne détecte pas le son cible, lui demander d'enlever le casque et discuter avec lui pour lui réexpliquer la tâche
 - Si il n'attend pas de voir le message "Parmi les sons 1, 2 et 3, lequel était différent ?" avant de cliquer sur le bouton, lui rappeler après l'entraînement
- 6) Après l'entraînement :
 - Remercier et encourager le participant
 - Lui demander s'il a des questions et s'il est prêt à débiter le test.

8.2 Test dans la première oreille (la même que lors de l'entraînement)

- 7) Lancer le test dans MATLAB en tapant la commande :

```
afc('main', 'AM_4k', 'CODE_PARTICIPANT_TEST_XXXX', 'cd3')
```

où CODE_PARTICIPANT correspond au code attribué au participant dans la phase de préparation, et "XX" à l'oreille testée (OD ou OG). Exemple :

```
afc('main', 'AM_4k', 'K01LF_TEST_DROITE', 'cd3')
```

ATTENTION : Le test est effectué pour trouver deux seuils par oreille. Lorsque le premier seuil est terminé, le message "Essai terminé. Cliquer sur "D" pour un nouvel essai ou "F" pour terminer." s'affiche. À ce moment-là, enlever le casque au participant, lui dire que l'on va refaire un deuxième test dans la même oreille, lui demander s'il est prêt, remettre le casque en faisant attention et cliquer sur "D").

À la fin de la mesure des deux seuils, le message "Expérience achevée. Cliquez sur "F" pour terminer." s'affiche. Enlever le casque au participant, l'encourager, et lui demander s'il est prêt pour faire le même test dans l'autre oreille.

8.3 Test dans la deuxième oreille

- 1) Changer le branchement jack pour diffuser dans la deuxième oreille.
- 2) Mettre le casque au participant en faisant attention au côté et en réglant le passe.

- 3) Lancer le test dans MATLAB en tapant la commande :

```
afc('main', 'AM_4k', 'CODE_PARTICIPANT_TEST_XXXX', 'cd3')
```

en faisant attention à bien changer l'oreille mentionnée après "TEST_".

- 4) Lorsque le message "Essai terminé. Cliquer sur "D" pour un nouvel essai ou "F" pour terminer." s'affiche, enlever le casque au participant, lui dire que l'on va refaire le dernier test dans la même oreille, lui demander s'il est prêt, remettre le casque en faisant attention et cliquer sur "D").
- 5) Lorsque l'expérience est terminée, remercier le participant.

9. Entretien du NESI

Consignes :

1. PRÉSENTATION DU NESI

Nous allons maintenant tenter d'estimer votre exposition au bruit tout au long de votre vie. Pour cela, on va d'abord identifier les activités qui vous ont amené à être dans des situations bruyantes. Ensuite, on va estimer combien de temps vous avez passé dans ces situations et l'intensité à laquelle vous étiez exposé.

2. ACTIVITÉS BRUYANTES : LOISIRS, TRAVAIL, ÉTUDES

2.1. IDENTIFICATION DES ACTIVITÉS BRUYANTES

Les situations bruyantes qu'on va identifier sont les situations lors desquelles, on imagine que vous et moi étions à cette distance d'environ 1,2 m (*mimer la distance*) et vous auriez dû élever la voix pour pouvoir communiquer avec moi. Tout ceci, en sachant que vous devez bien voir le visage et les gestes, que la personne en face n'est ni de perte d'audition ni de protection.

Ceci est un point de repère permettant d'identifier ces activités, même si elles ne se prêtent pas toujours à la discussion.

Ces situations peuvent avoir eu lieu durant des loisirs (y compris la chasse), au travail ou encore pendant vos études.

On va aussi prendre note de l'utilisation d'écouteurs ou de casques, pour écouter de la musique par exemple, à un volume assez haut, si cela a déjà été votre cas.

Pour commencer, vous allez prendre quelques minutes pour noter les activités bruyantes auxquelles vous avez été exposés au cours de toute votre vie.

Je vais vous donner une liste de quelques activités bruyantes courantes qui pourraient vous aider à vous souvenir. Si vous avez expérimenté l'une de ces activités mais que vous ne l'avez pas trouvée bruyante, vous ne la notez pas bien sûr. Ne vous limitez pas non plus à cette liste.

[On lui donne une feuille blanche, un stylo et les Exemples de bruits récréatifs]

2.2. SEGMENTATION D'UNE ACTIVITÉ BRUYANTE EN PÉRIODES

On va examiner une activité en détail. Quelle est l'activité qui a le plus contribué à votre exposition au bruit selon vous ? [...]

On va se concentrer sur cette activité. Est-ce que vous l'avez toujours pratiqué de manière stable en fréquence (période) et en niveau de bruit ? Ou est-ce que vous pensez à différentes périodes durant lesquelles vos habitudes concernant cette activité ont changé ? Si c'est le cas, on va tenter de déterminer ces périodes correspondant à un certain nombre d'années pendant lesquelles il n'y a pas eu de changements majeurs dans la fréquence de cette activité, dans son niveau de bruit ou dans la durée du bruit.

Je vous donne un exemple : vous avez pu pratiquer l'activité très fréquemment de 16 à 22 ans et moins fréquemment de 22 à 30 ans. Dans ce cas, on regardera chaque période séparément. Vous comprenez ? [...]

Quelle période allons-nous regarder en premier ? [...]

2.3. DURÉE D'EXPOSITION DURANT LA PÉRIODE

On va tenter d'estimer combien de temps vous avez passé à pratiquer cette activité (durant cette période). Pour cela, on va essayer de déterminer à quelle fréquence vous pratiquiez cette activité (sur cette période). Vous allez essayer de me dire combien d'heures vous consacriez à cette activité à chaque fois que vous la pratiquiez. [...] Maintenant, vous allez tenter de me dire combien de jours par semaine. [...] Et enfin combien de semaines par an. [...]

2.4. NIVEAU D'EXPOSITION DURANT LA PÉRIODE

On va tenter d'estimer à quel point cette activité était bruyante. Comme je l'ai décrit précédemment, imaginez que vous et moi sommes à cette activité et que nous essayons de communiquer à 1,2m l'un de l'autre, que devriez-vous faire pour communiquer avec moi ? [Montrer la Table de communication vocale]

Auriez-vous besoin de parler normalement, d'élever la voix, de parler fort, de parler très fort, de crier, de vous rapprocher à 0,6 m de moi (soit de moitié) pour crier, ou carrément de crier dans mon oreille ? [...]

2.5. UTILISATION DE PROTECTIONS AUDITIVES DURANT LA PÉRIODE

Autre question, quand vous pratiquiez cette activité pendant cette période, avez-vous déjà utilisé une protection auditive ? [...]

Pourriez-vous estimer la proportion du temps en % pendant laquelle vous les avez portées ? [...]

Est-ce que vous pourriez vous rappeler approximativement de quels types elles étaient ? Voici quelques exemples.

[Montrer le Guide de protection auditive] [...]

2.6. EXPOSITION AU BRUIT AU COURS D'UNE AUTRE PÉRIODE

On vient d'étudier cette activité de telle période à telle période. Vous me disiez que vous avez pratiqué cette même activité bruyante de manière différente au cours de votre vie. Pouvez-vous me dire quelle période on va étudier maintenant ? [...]

[On estime l'exposition au bruit pour chaque autre période : étapes 2.3 à 2.5]

2.7. IDENTIFICATION D'UNE AUTRE ACTIVITÉ BRUYANTE

On va maintenant passer à l'activité bruyante suivante. D'après vous, laquelle a contribué de manière importante à votre exposition au bruit ? En sachant encore une fois que cette activité peut être liée à un loisir, une activité professionnelle ou encore à vos études.

[On estime l'exposition au bruit pour chaque nouvelle activité bruyante : étapes 2.2 à 2.6]

3. APPAREIL D'ÉCOUTE PERSONNEL

3.1. UTILISATION D'APPAREIL D'ÉCOUTE PERSONNEL

Comme je vous l'ai indiqué au départ, on va également s'intéresser à l'utilisation d'écouteurs ou de casques avec un volume d'écoute réglé de façon élevée. On entend par « élevé » un volume réglé à plus de 70 % du volume maximal. Pour vous aider, depuis 2013, les appareils permettant d'écouter de la musique (téléphone, MP3) donnent un message d'avertissement lorsqu'ils estiment que le volume est trop fort (≥ 85 dB A). Avez-vous déjà vu ce genre d'alerte, ou eu le sentiment d'écouter à plus de 70% du volume maximal quand vous utilisiez des écouteurs ? [...]

3.2. SEGMENTATION DE L'UTILISATION D'APPAREIL D'ÉCOUTE PERSONNEL EN PÉRIODES

Pouvez-vous me dire de quelle année à quelle année vous avez écouté aussi fort et de manière assez stable (par ex, sur un trajet pour aller en cours, au travail...) ? On peut ici aussi étudier différentes périodes si vous pensez que c'est nécessaire. [...]

3.3. DURÉE D'EXPOSITION À L'APPAREIL D'ÉCOUTE PERSONNEL

On va maintenant regarder combien de temps vous avez été exposé au bruit via les écouteurs ou le casque pendant cette période. Vous allez essayer de me dire combien d'heures en moyenne vous écoutiez la musique avec écouteurs à chaque fois. [...] Maintenant, vous allez tenter de me dire combien de jours par semaine. [...] Et enfin combien de semaines par an. [...]

3.4. NIVEAU D'ÉCOUTE AVEC L'APPAREIL D'ÉCOUTE PERSONNEL

On va tenter d'estimer le volume auquel vous écoutiez avec écouteurs. Je vais vous poser plusieurs questions.

Votre appareil d'écoute (téléphone, MP3) a-t-il été acheté dans l'UE ? [...]

Si non : Sauriez-vous me dire comment vous aviez tendance à régler le volume en général ? Au maximum, à 90 %, 80 %, 70 % du volume maximum, ou bien à moins de 70 % du volume maximum ? [Montrer la Table des appareils d'écoute personnels] [...]

Si oui : L'achat date d'avant ou d'après 2013 ? [...]

Si avant 2013 : Sauriez-vous me dire comment vous aviez tendance à régler le volume en général ? Au maximum, à 90 %, 80 %, 70 % du volume maximum, ou bien à moins de 70 % du volume maximum ? [Montrer la Table des appareils d'écoute personnels] [...]

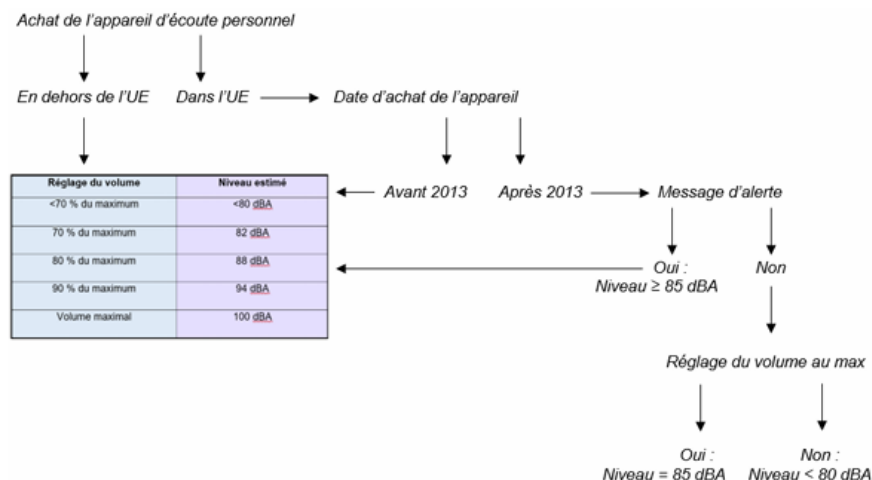
Si après 2013 : Avez-vous déjà vu le message d'alerte indiquant que le volume est trop fort ? [...]

Si oui : Niveau ≥ 85 dBA (cf. Table).

Si non : Le volume était-il réglé au max ? [...]

Si oui : Niveau = 85 dBA.

Si non : Niveau < 80 dBA donc utilisation non comptabilisée.



3.5. EXPOSITION À L'APPAREIL D'ÉCOUTE PERSONNEL AU COURS D'UNE AUTRE PÉRIODE

Est-ce qu'il y a eu d'autres périodes, différentes ou non, d'écoute *via* écouteurs ou casque ? [...]. De quelle année à quelle année ? [...]

[On estime l'exposition pour chaque autre période d'utilisation de l'appareil d'écoute personnel : étapes 3.3 et 3.4]

4. EXPOSITION AU BRUIT D'ARMES À FEU

Enfin, on va s'intéresser à l'exposition au bruit lié aux armes à feu. Avez-vous déjà tiré avec une arme à feu ? [...] De quel type s'agissait-il ? Carabine, fusil de chasse, arme de poing, fusils de faible calibre (.22 et .17) ? [...]

Pour information, on ne tient pas compte des armes à air comprimé et des tirs réalisés avec protection auditive.

Pouvez-vous me donner approximativement le nombre de cartouches tirées lorsque vous n'aviez pas de protection auditive (seuls tirs comptabilisés) ?

[Fusils de faible calibre (.22 et .17) : moins d'unités d'exposition au bruit attribués dans tableau Excel]

Score :

Noter le nombre total d'unités d'exposition au bruit dans la section « Résultats » de la Fiche de suivi patient.

10. Questionnaire du THI (Si acouphène)

- Demander au participant s'il présente un acouphène
- Si oui, lui donner la fiche du THI (cf. annexes) à remplir. **Noter le code du participant sur la fiche lorsqu'il a fini de la remplir.**

11. Test de latéralité EHI

- Prendre la fiche du test de latéralité (cf. annexes), et poser les questions au participant. À la fin, ne pas oublier de noter le code du participant sur la fiche.

Vous allez me dire avec quel main vous réalisez ces activités en sachant que ça peut être les deux.

12. Débriefing

- 1) Imprimer les audiogrammes tonaux aériens gauche et droite du participant (jusqu'à 8 kHz).
- 2) Lui faire le débriefing : « *Nous vous remercions sincèrement pour votre participation à cette expérimentation, qui est, comme je vous l'ai dit, très importante à la fois pour la science, mais aussi pour la prise en charge des personnes qui souffrent de difficultés auditives liées au vieillissement ou à l'exposition au bruit au cours de leur vie. Ne vous inquiétez pas si les tests étaient difficiles, cela est tout à fait normal, nous avons essayé en quelque sorte d'atteindre les limites de vos capacités auditives. En ce qui concerne l'analyse de vos seuils de détection auditive, c'est-à-dire les niveaux de volume auxquels vous commencez à percevoir des sons, voici vos audiogrammes pour l'oreille droite, en rouge, et pour l'oreille gauche, en bleu. Ils montrent les seuils auditifs pour chaque fréquence testée.* »

[Ici, l'expérimentateur explique au participant l'allure de ses courbes de seuils auditifs et lui indique le cas échéant le degré de perte auditive associée : légère, moyenne, ou forte. Dans tous les cas de sévérité, ou bien en cas de gêne auditive déclarée par le participant, l'expérimentateur recommandera une visite chez un médecin ORL pour un bilan pouvant éventuellement conduire à une prise en charge des difficultés de perception auditive rencontrées].

13. Récupération des données après la passation d'un participant

Documents

- Ranger la fiche de consentement dans un classeur "CONSETEMENTS".
- Ranger les fiches papiers (entretien, questionnaires) remplies lors de la passation dans un classeur "QUESTIONNAIRES"

Données : procédure générale

Les données à enregistrer (hors test AMD) sont saisies sur un fichier Excel sur l'ordinateur personnel de l'expérimentateur, ET saisies sur le tableau partagé sur le Drive. Après chaque nouveau participant, l'expérimentateur télécharge la version actuelle du tableau du Drive et l'enregistre sur son ordinateur personnel, avec un nouveau nom pour ne pas écraser les anciennes versions.

Données du questionnaire préliminaire

Enregistrer les réponses au questionnaire préliminaire et à l'auto questionnaire sur l'expertise d'écoute.

Données du CoDEX

Enregistrer le score CoDEX final.

Données d'audiométrie tonale aérienne

Enregistrer tous les seuils.

Données d'audiométrie tonale osseuse

Enregistrer tous les seuils.

Données du logiciel AMD

Récupérer tous les fichiers .dat dans le dossier **RESULTS_AM_DETECTION** et les placer dans le dossier **RESULTS_SAUVEGARDE**. Les téléverser également sur le drive dans le dossier **DONNEES_AMD**.

Données de l'entretien du NESI

Le score final du NESI est enregistré. Garder les calculs sur des fichiers perso pour pouvoir vérifier.

Données relatives à la présence d'un acouphène

La variable présence d'un acouphène (oui/non) est enregistrée, ainsi que le score final du THI dans le cas de la présence d'un acouphène.

Données relatives à la latéralité du participant

L'information sur la latéralité (droitier, gaucher, ambidextre) est enregistrée.

ANNEXE III. Notice d'information et consentement éclairé

NOTICE D'INFORMATION ET CONSENTEMENT ÉCLAIRÉ

Titre du projet : Relation entre la perception de l'enveloppe temporelle, l'âge et le degré d'exposition au bruit

Avant d'accepter de participer à ce projet de recherche, veuillez prendre le temps de lire et de comprendre les renseignements qui suivent. Ce document vous explique le but de ce projet de recherche, ses procédures, avantages, risques et inconvénients. **Nous vous rappelons que vous pouvez interrompre votre participation à l'étude à tout moment sans avoir à vous justifier. Un refus de participer n'aura aucune conséquence sur votre relation avec l'équipe de recherche qui la propose.**

Cette étude a reçu un avis favorable du Comité d'Éthique de la Recherche de Toulouse
(avis n°2024_933, en date du 20 novembre 2024).

Chercheur titulaire responsable scientifique du projet :

Lionel FONTAN
Responsable Recherche et Développement
Archean LABS
20 place Prax-Paris 82000 Montauban
Téléphone : 06.61.88.34.07
Courriel : lfontan@archean.tech1

Lieu de recherche :

École d'audioprothèse de Cahors
9 rue Hauteserre
46000 Cahors

But du projet de recherche : Ce projet vise à valider un logiciel permettant d'évaluer la capacité de distinguer des sons dont l'intensité varie au cours du temps, et de sons dont l'intensité ne varie pas. Dans l'avenir, ce logiciel pourra permettre d'identifier des difficultés d'audition qui ne sont pas visibles avec les tests d'audition classiques (les tests de détection de sons à différentes intensités).

Ce que l'on attend de vous (méthodologie) : Si vous acceptez de participer à cette étude, vous allez d'abord répondre à un court questionnaire (durée : 5 minutes) qui

permettra d'enregistrer des informations telles que votre âge, votre sexe, et votre expérience dans l'écoute de sons. Ensuite, vous effectuerez un court test destiné à évaluer vos performances cognitives (durée : 5 minutes). Puis nous allons mesurer votre aptitude à entendre des sons à certaines fréquences (durée : 10-15 minutes). Si vos performances correspondent aux critères requis pour l'étude, vous effectuerez ensuite une tâche qui consiste à distinguer des sons dont l'intensité (le volume) varie de manière régulière ou pas (durée : 15 minutes). Enfin, vous répondrez à un questionnaire permettant d'effectuer l'historique de votre exposition au bruit tout au long de votre vie (durée : 30 minutes). Si vous présentez un acouphène, nous évaluerons également sa sévérité en vous demandant de remplir un questionnaire (durée : 5 minutes). Enfin, nous vous poserons quelques questions afin de déterminer si vous êtes droitier, gaucher, ou ambidextre (2 minutes).

Vos droits de vous retirer de la recherche en tout temps : Votre contribution à cette recherche est **volontaire**. Vous pouvez vous en retirer ou cesser votre participation **à tout moment**. Votre décision de participer, de refuser de participer, ou de cesser votre participation **n'aura aucun effet sur vos relations futures avec les personnes ou les organismes dont dépendent les investigateurs**, à savoir Archean LABS (Montauban) et l'université de Cambridge (Grande-Bretagne).

Vos droits à la confidentialité et au respect de la vie privée : Les données obtenues dans cette recherche seront traitées avec la plus entière confidentialité. Votre identité sera masquée par un numéro aléatoire, et aucun renseignement ne sera dévoilé qui puisse dévoiler votre identité. Toutes les données seront gardées dans un endroit sécurisé et seuls le responsable scientifique et les chercheurs adjoints y auront accès. Le strict anonymat de cette étude rend impossible la rectification ou la suppression des informations vous concernant après la fin de votre participation. Les données seront archivées pour être conservées pendant 15 années après l'étude, et pourront faire l'objet d'un partage avec des chercheurs non impliqués dans l'étude.

Bénéfices :

- bénéfices en termes d'avancées scientifiques : L'étude permettra de mieux comprendre la relation entre les capacités d'audition et l'exposition au bruit au cours de la vie ;
- bénéfices pour la société : Cette étude pourra conduire à l'élaboration d'un outil clinique utilisable par les médecins et audioprothésistes pour détecter et mesurer certaines pertes auditives liées au vieillissement et à l'exposition au bruit au cours de la vie ;
- bénéfices pour le participant : Chaque participant pourra bénéficier d'un bilan auditif gratuit : les audiogrammes mesurant leur capacité à percevoir des sons à différentes fréquences leur seront remis et expliqués.

Risques possibles : À notre connaissance, cette recherche n'implique aucun risque ou inconfort autre que ceux de la vie quotidienne. Le niveau des sons qui vous seront diffusés a été calibré afin d'éviter toute écoute inconfortable. Il est possible que vous ressentiez néanmoins des difficultés à effectuer les tâches d'écoute, mais cela est tout à fait normal : les tests sont faits pour mesurer les limites des capacités auditives ; tous les participants, sans exception, éprouvent donc des difficultés à réaliser ces tests.

Diffusion : Cette recherche est susceptible d'être diffusée dans des colloques et d'être publiée dans des actes de colloque et des articles de revues scientifiques. Vous pourrez prendre connaissance des résultats généraux de la présente étude, en contactant le responsable scientifique de l'étude.

Vos droits de poser des questions en tout temps : Vous pouvez poser des questions au sujet de la recherche en tout temps en communiquant avec le responsable scientifique du projet par courrier électronique à lfontan@archean.tech (ou par téléphone au 06 61 88 34 07).

Si vous avez des questions relatives à la protection de vos données, merci de contacter le DPO de l'établissement Archean LABS (rh@archean.tech)

Si vous avez des questions relatives à l'éthique du projet, vous pouvez contacter le Comité d'Éthique de la Recherche de Toulouse (bureau-cer@univ-toulouse.fr).

Consentement à la participation : En signant le formulaire de consentement, vous certifiez que vous avez lu et compris les renseignements ci-dessus, qu'il a été répondu à vos questions de façon satisfaisante et que vous avez été avisé(e) que vous étiez libre d'annuler votre consentement ou de vous retirer de cette recherche en tout temps, sans aucun préjudice.

A remplir par le participant :

J'ai lu et compris les renseignements ci-dessus et j'accepte de plein gré de participer à cette recherche.

Nom, Prénom – Date – Signature

Un exemplaire de ce document vous est remis, un autre exemplaire est conservé dans le dossier.

ANNEXE IV. Fiche d'entretien

Fiche d'entretien

- **Code sujet** (sous la forme : Code expérimentateur (K ou M), 2 chiffres et initiales en majuscules, par ex. "K01LF") : _____
- **Âge** (en années) : _____ (*si < 18, exclusion*)
- **Sexe** (biologique) : Homme - Femme - Autre (?)
- **Avez-vous eu des troubles auditifs avant l'âge de 12 ans ?** : Oui / Non (*si oui, exclusion*)
- **Avez-vous subi une intervention chirurgicale au niveau de l'oreille ?** : Oui / Non (*si oui (sauf drain transtympanique pour otite), exclusion*)
- **Avez-vous subi des tests ou des évaluations spécifiques du nerf auditif, exemple IRM/pathologie du nerf auditif ?** : Oui / Non (*si oui, exclusion*)
- **Avez-vous des acouphènes ?** : Oui / Non

ANNEXE V. Auto-questionnaire sur l'expertise d'écoute

1) Indiquez à quel point vous êtes d'accord avec chacune des deux affirmations suivantes en entourant le chiffre correspondant :

(a) Je trouve difficile de comprendre ce que quelqu'un dit lorsque l'environnement est bruyant.

(Pas du tout d'accord) 1—2—3—4—5—6—7—8—9—10 (Tout à fait d'accord)

(b) Je trouve qu'il est difficile d'entendre les détails / particularités des sons.

(Pas du tout d'accord) 1—2—3—4—5—6—7—8—9—10 (Tout à fait d'accord)

2) Veuillez répondre aux questions suivantes :

(c) Ma capacité à entendre les détails / particularités et changements dans les sons a été améliorée par :

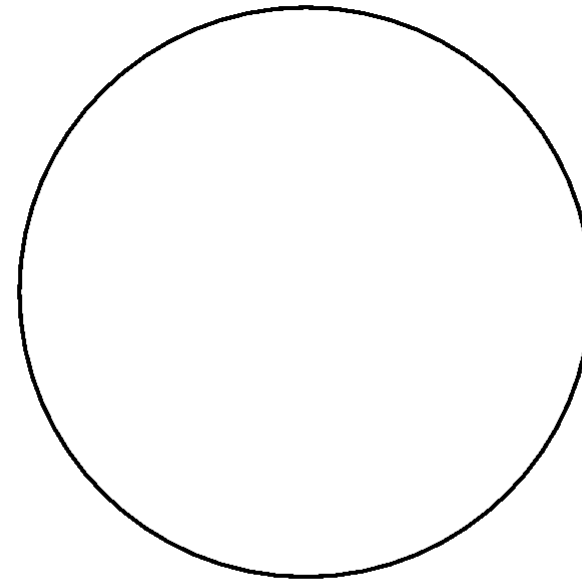
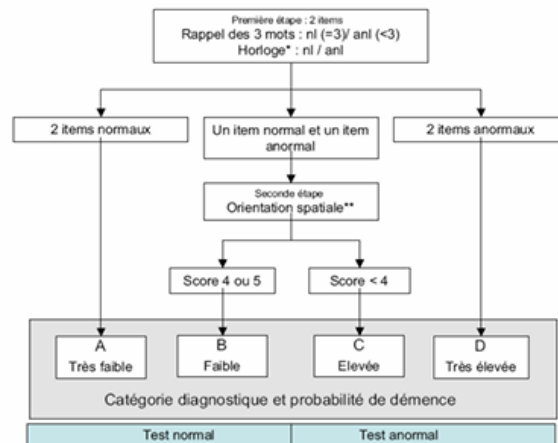
- le fait d'avoir (eu) un travail qui nécessite d'écouter des sons ? Oui / Non
Si oui, indiquer lequel (par exemple, accordeur de piano, ingénieur du son, technicien du son...) : _____
- le fait d'avoir (eu) un hobby qui nécessite d'écouter des sons ? Oui / Non
Si oui, indiquer lequel (par exemple, écoute de musique, radio amateur, jeux, apprentissage d'une nouvelle langue...) : _____

(d) Jouez-vous, ou avez-vous joué à un moment de votre vie d'un instrument de musique à raison d'au moins 1 heure par semaine ? Oui / Non

ANNEXE VI. Questionnaire du Codex

Evaluation cognitive ultra-rapide par le test CODEX Page à imprimer pour les dossiers médicaux

Nom : Date :
Prénom : Evalueur :



Cotation du test CODEX

1. Cotation du test de l'horloge :

Les nombres sont-ils tous présents ?	Oui-Non	4 OUI = horloge normale sinon anormale
Sont-ils correctement placés ?	Oui-Non	
Y a-t-il une petite et une grande aiguille ?	Oui-Non	
Leurs directions sont-elles convenables ?	Oui-Non	

2. Cotation du rappel des 3 mots

Les 3 mots sont bien rappelés = **Rappel des 3 mots normal**

3. Utilisez l'arbre de décision pour savoir si la seconde étape est nécessaire

Horloge et 3 mots normaux = CODEX normal (Catégorie diagnostique A)
Horloge et 3 mots anormaux = CODEX anormal (Catégorie diagnostique D)
Autres cas = faire la seconde étape

4. Cotation de la seconde étape :

Comptez 1 point par bonne réponse
Somme = 4 ou 5 : = CODEX normal (Catégorie diagnostique B)
Somme = 0, 1, 2 ou 3 = CODEX anormal (Catégorie diagnostique C)

ANNEXE VII. NESI



Catégorie A : Exposition au bruit pendant les loisirs

ID :

Date :

Activité liée à l'exposition									
Période d'exposition (par ex. âge de début et âge de fin)									
Durée d'exposition	Années								
	Semaines par an								
	Jours par semaine								
	Heures par jour								
Niveau d'exposition	Base d'estimation								
	Niveau estimé (dB A)								
Optionnel : Niveau d'exposition (méthode alternative d'estimation)	Base d'estimation								
	Niveau estimé (dB A)								
Utilisation de protections auditives	Proportion de temps de port (entre 0 et 1)								
	Indications sur le type et l'atténuation de la protection								
	Atténuation estimée (dB)								

Activité liée à l'exposition									
Période d'exposition (par ex. âge de début et âge de fin)									
Durée d'exposition	Années								
	Semaines par an								
	Jours par semaine								
	Heures par jour								
Niveau d'exposition	Base d'estimation								
	Niveau estimé (dB A)								
Optionnel : Niveau d'exposition (méthode alternative d'estimation)	Base d'estimation								
	Niveau estimé (dB A)								
Utilisation de protections auditives	Proportion de temps de port (entre 0 et 1)								
	Indications sur le type et l'atténuation de la protection								
	Atténuation estimée (dB)								

Catégorie C : Exposition au bruit d'armes à feu

ID :

Date :

Type d'arme à feu								
Informations complémentaires pour faciliter le rappel								
Nombre total de tirs sans protection auditive								

Informations récapitulatives

	Catégorie A : Exposition au bruit pendant les loisirs	Catégorie B : Exposition au bruit dans le cadre du travail et des études	Catégorie C : Exposition au bruit d'armes à feu	Total
Nombre de fiches complétées				
Personne menant l'entretien				

- Votre interlocuteur vous a demandé de noter toutes les activités bruyantes auxquelles vous avez été confronté. Vous trouverez ci-dessous une liste d'activités bruyantes courantes qui peut vous aider à vous en souvenir.
- **Rappelez-vous ce que l'on entend par "bruyant"** : les situations vous obligeant à **élever la voix** pour communiquer à une distance de 1,2 m (4 pieds).
- **Ne vous limitez pas aux activités figurant sur cette liste.** Notez également toute autre activité bruyante que vous avez vécue.
- **Notez uniquement les activités que vous avez trouvées bruyantes.** Si vous avez fait l'expérience d'une activité figurant sur cette liste mais que vous ne l'avez pas trouvée bruyante, ignorez-la.

Musique live

Exemples :

- Concerts
- Festivals

Vie nocturne

Exemples :

- Boîtes de nuit
- Bars
- Pubs

Faire de la musique

Exemples :

- Jouer / chanter en groupe
- Jouer / mixer / chanter en solo

Écoute au moyen d'écouteurs ou de casques

Bruit de bricolage

Exemples :

- Outils électriques
- Outils de jardinage à moteur

Bruit de moteur

Exemples :

- Motos
- Sports mécaniques
- Bateaux à moteur

Bruit lié au sport

Exemples :

- Matchs sportifs
- Voile

Cinéma

Effort vocal requis	Niveau estimé
Parler normalement à 1,2 m (4 pieds)	≤80 dBA
Élever la voix à 1,2 m (4 pieds)	87 dBA
Parler fort à 1,2 m (4 pieds)	90 dBA
Parler très fort à 1,2 m (4 pieds)	93 dBA
Crier à 1,2 m (4 pieds)	99 dBA
Crier à 0,6 m (2 pieds)	105 dBA
Crier dans l'oreille de l'auditeur	110 dBA

Guide pour l'estimation des niveaux de bruit inconnus (de type continu) en fonction de la difficulté de communication vocale.

Les niveaux sonores approximatifs limitant la communication sont basés sur le scénario d'une personne communiquant avec une autre dans un environnement auquel elles sont toutes deux habituées, en supposant que l'auditeur n'est pas malentendant, ne porte pas de protection auditive et peut être aidé dans une certaine mesure par des gestes et des indices faciaux.

Guide pour l'estimation des niveaux de sortie équivalents champ libre d'écouteurs ou de casques couplés à des appareils d'écoute personnels (par exemple, téléphones et lecteurs de musique), sur la base d'un réglage de volume typique pour la personne interrogée.

Réglage du volume	Niveau estimé
<70 % du maximum	<80 dBA
70 % du maximum	82 dBA
80 % du maximum	88 dBA
90 % du maximum	94 dBA
Volume maximal	100 dBA

Messages d'avertissement sur le niveau de sortie dans les appareils européens

De nombreux dispositifs d'écoute personnelle vendus dans l'Union Européenne depuis février 2013 ont des réglages conçus pour encourager des niveaux d'écoute inférieurs à 85 dBA*. Lorsque les niveaux sonores atteignent 85 dBA, l'auditeur reçoit un message d'avertissement visuel ou sonore qu'il doit valider afin d'accéder à la partie supérieure de la plage de réglage du volume.

Notez que le "volume maximum" dans la table ci-dessus **ne fait pas référence** au niveau sonore qui déclenche ce message d'avertissement. Le "volume maximum" fait référence à la véritable limite supérieure de la plage de réglage du volume, à laquelle on accède en accusant réception du message et en augmentant encore le niveau sonore.

Si un sujet a rencontré de tels messages d'avertissement, alors son souvenir de ce phénomène peut parfois aider à estimer le niveau sonore (par exemple, s'il a systématiquement choisi de ne pas dépasser le niveau d'avertissement de 85 dB).

*BS EN 60065:2014+A11:2017: Audio, video and similar electronic apparatus – Safety requirements.

Un outil pour estimer l'atténuation des protections auditives.

L'"atténuation estimée" du NESI est dérivée des indices d'atténuation indiqués par les fabricants : soit le **Single Number Rating (SNR)**, utilisé principalement en Europe, soit le **Noise Reduction Rating (NRR)**, utilisé aux États-Unis et ailleurs.

- Si le modèle spécifique de protecteur est indiqué dans ce guide, il suffit de lire son atténuation estimée dans la table
- Si le modèle spécifique n'est pas listé, mais que son SNR ou NRR est connu, calculer son atténuation estimée à l'aide de la table finale
- Pour tous les autres protecteurs auditifs, estimer l'atténuation en fonction du **type** de protecteur auditif

Bouchons d'oreille souples



	Atténuation estimée
3M E-A-R Classic (SNR 28)	24 dB
Howard Leight Laser Lite (SNR 35)	31 dB
Moldex SparkPlugs (SNR 35)	31 dB
Hearos Xtreme Protection (NRR 33)	32 dB
3M 1000/1100 (SNR 37)	33 dB
Bouchon d'oreille typique de ce type	31 dB

Bouchons d'oreille à collerette



	Atténuation estimée
3M E-A-R Tri-Flange (SNR 29)	25 dB
Howard Leight Airsoft (SNR 30)	26 dB
Howard Leight Smartfit (SNR 30)	26 dB
3M E-A-R Ultrafit (SNR 32)	28 dB
3M E-A-R Tracer (SNR 32)	28 dB
Bouchon d'oreille typique de ce type	26 dB

Bouchons d'oreille haute-fidélité



	Atténuation estimée
Etymotic ETY-Plugs (NRR 12)	11 dB
Alpine MusicSafe, gold filter (SNR 18)	14 dB
EarPeace, red filter (SNR 20)	16 dB
Alpine PartyPlug Pro (SNR 21)	17 dB
Eargasm (SNR 21)	17 dB
Bouchon d'oreille typique de ce type	16 dB

Bouchons d'oreille à enfoncer



	Atténuation estimée
3M E-A-R Express Pod Plugs (SNR 28)	24 dB
3M E-A-R Skull Screw (SNR 32)	28 dB
3M No-Touch foam (SNR 35)	31 dB
Howard Leight TrustFit Pod (SNR 36)	32 dB
3M E-A-R Push-Ins (SNR 38)	34 dB
Bouchon d'oreille typique de ce type	31 dB

Casque antibruit à haute atténuation



	Atténuation estimée
Mpow (SNR 34)	30 dB
3M Peltor Optime III/105 (SNR 35)	31 dB
3M Peltor X-Series X5 (SNR 37)	33 dB
Enova 34 dB (NRR 34)	33 dB
Pro For Sho (NRR 34)	33 dB
Casque antibruit typique de ce type	33 dB

Bouchons d'oreille sur arceau



	Atténuation estimée
Moldex 6700 Jazz-Band 2 (SNR 23)	19 dB
Howard Leight QB2HYG (SNR 24)	20 dB
Howard Leight QB1HYG (SNR 26)	22 dB
3M E-A-R Reflex, foam tips (SNR 26)	22 dB
Radians RB2120 RadBand 2 (NRR 25)	24 dB
Bouchon d'oreille typique de ce type	22 dB

Casque antibruit à faible atténuation



	Atténuation estimée
Howard Leight Impact Sport (NRR 22)	21 dB
3M Peltor Optime I (SNR 26)	22 dB
Silverline 633815 (SNR 27)	23 dB
Neiko 53925A (NRR 26)	25 dB
Silverline 633816 (SNR 30)	26 dB
Casque antibruit typique de ce type	23 dB

Autres protecteurs avec SNR ou NRR connus

Protections auditives avec SNR connu	Atténuation estimée = SNR - 4
Protections auditives avec NRR connu	Atténuation estimée = NRR - 1

ANNEXE VIII. Questionnaire du THI

TINNITUS HANDICAP INVENTORY (THI)

Ghulyan-Bédikian et coll (2010)*

Item	Réponse		
1F. À cause de votre acouphène vous est-il difficile de vous concentrer ?	oui	parfois	non
2F. À cause de l'intensité de votre acouphène vous est-il difficile d'entendre les personnes qui vous entourent ?	oui	parfois	non
3E. Votre acouphène vous rend-t-il coléreux ?	oui	parfois	non
4F. Vous sentez-vous l'esprit confus à cause de votre acouphène ?	oui	parfois	non
5C. À cause de votre acouphène vous sentez-vous désespéré ?	oui	parfois	non
6E. Vous plaignez-vous beaucoup de votre acouphène ?	oui	parfois	non
7F. À cause de votre acouphène avez-vous du mal à trouver le sommeil la nuit ?	oui	parfois	non
8C. Avez-vous le sentiment de ne pas pouvoir vous libérer de votre acouphène ?	oui	parfois	non
9F. Votre acouphène interfère-t-il dans votre plaisir à pratiquer des activités sociales (aller au restaurant, au cinéma) ?	oui	parfois	non
10E. À cause de votre acouphène vous sentez-vous frustré ?	oui	parfois	non
11C. À cause de votre acouphène avez-vous le sentiment d'être atteint d'une maladie grave ?	oui	parfois	non
12F. À cause de votre acouphène vous est-il difficile de profiter pleinement de la vie ?	oui	parfois	non
13F. Votre acouphène interfère-t-il dans vos responsabilités au travail ou à la maison ?	oui	parfois	non
14E. Trouvez-vous que vous êtes souvent irritable à cause de votre acouphène ?	oui	parfois	non

15F. À cause de votre acouphène vous est-il difficile de lire ?	oui	parfois	non
16E. Êtes-vous contrarié ou bouleversé par votre acouphène ?	oui	parfois	Non
17E. Pensez-vous que votre problème d'acouphène a installé un stress dans vos relations avec les membres de votre famille et vos amis ?	oui	parfois	non
18F. Vous est-il difficile de vous concentrer sur autre chose que votre acouphène ?	oui	parfois	non
19C. Pensez-vous ne pas avoir de contrôle sur votre acouphène ?	oui	parfois	non
20F. À cause de votre acouphène vous sentez-vous souvent fatigué ?	oui	parfois	non
21E. À cause de votre acouphène vous sentez-vous déprimé ?	oui	parfois	non
22E. Votre acouphène vous rend-t-il anxieux ?	oui	parfois	non
23C. Pensez-vous ne plus pouvoir faire face à votre acouphène ?	oui	parfois	non
24F. Votre acouphène s'aggrave-t-il quand vous êtes stressé ?	oui	parfois	non
25E. Votre acouphène vous donne-t-il un sentiment d'incertitude ?	oui	parfois	non

F = sous-échelle fonctionnelle, E = sous-échelle émotionnelle, C = sous-échelle catastrophique.

* Propriétés psychométriques d'une version française du Tinnitus handicap Inventory. V Ghulyan-Bedikian, M Paolino, F Giorgetti-D'Esclercs, F Paolino. L'Encéphale (2010) 36, 390—396.

ANNEXE IX. Questionnaire du EHI

	Quelle main utilisez-vous ?	Gauche	Droite
1	Pour écrire		
2	Pour dessiner		
3	Pour lancer une balle		
4	Pour utiliser des ciseaux		
5	Pour vous peigner		
6	Pour vous servir d'une brosse à dents		
7	Pour tenir un couteau		
8	Pour manger avec un cuillère		
9	Pour frapper avec un marteau		
10	Pour vous servir d'un tournevis		

Coefficient de latéralisation manuelle : $C_{lat} = \frac{(D-G)}{(D+G)} = \frac{(-)}{(+)}$ =

Pour $C_{lat} [0.1 ; 1]$: Droitier

Pour $C_{lat} [-1 ; -0.1]$: Gaucher

Pour $C_{lat}=0$: Ambidextre

Latéralité du patient :

☐ **Gaucher**

☐ **Ambidextre**

☐ **Droitier**

ANNEXE X. Tableau résultats

	(1)		
	Estimate	Standard Error	p-value
(Intercept)	-9.125 ***	1.472	<0.001 ***
Sex	-2.486 **	0.784	0.002 **
Age	-0.041	0.034	0.221
Ear	0.009	0.258	0.971
PTA 500Hz-4000Hz	0.105 *	0.043	0.015 *
PTA High Freq.	-0.027	0.023	0.238
log(NESI_score)	0.655 *	0.270	0.016 *
Test rank	-0.430 ***	0.112	<0.001 ***
Hear. thresh. @ 4000Hz	-0.037	0.026	0.155
Difficulties with speech in noise	-0.382 *	0.172	0.027 *
Musician	-2.027 *	0.944	0.033 *
Difficulties with sound details	0.078	0.179	0.664
Sound-related hobby	-0.679	0.899	0.451
Sound-related work	1.608 .	0.948	0.091 .
SD (Intercept Participant_ID)	3.037		
SD (Observations)	2.329		
Num.Obs.	352		

