

Modulation du gain auditif central dans une perspective de réadaptation des travailleurs souffrant d'acouphènes

Sylvie Hébert
Philippe Fournier
Marc Schönwiesner

RAPPORTS
SCIENTIFIQUES

R-979

NOS RECHERCHES travaillent pour vous !

Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

Mission

Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes;

Assurer la diffusion des connaissances et jouer un rôle de référence scientifique et d'expertise;

Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail.

Pour en savoir plus

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement. www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement :

- au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CNESST (preventionautravail.com)
- au bulletin électronique [InfoIRSST](#)

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec
2017
ISBN : 978-2-89631-955-8
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
et de la valorisation de la recherche
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
août 2017

Modulation du gain auditif central dans une perspective de réadaptation des travailleurs souffrant d'acouphènes

Sylvie Hébert, Philippe Fournier, Marc Schönwiesner

Université de Montréal

RAPPORTS
SCIENTIFIQUES

R-979



Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document.

En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information.

Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle.

Cliquez recherche



Cette publication est disponible en version PDF sur le site Web de l'IRSST.



ÉVALUATION PAR DES PAIRS

Conformément aux politiques de l'IRSST, les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) pour son appui financier indispensable à la réalisation de ces études, de même que nos partenaires financiers suivants : les compagnies Starkey et Siemens, qui ont fourni les bouchons et générateurs de bruit à un coût moindre que celui exigé sur le marché, et la Fondation canadienne pour l'innovation qui a financé l'acquisition d'équipements permettant les examens auditifs et le salaire des techniciens Nathanaël Lécaudé et Mihaela Feleuze.

Nous exprimons notre gratitude envers Alexandre Lehman et Philippe Albouy dont l'expertise respective dans les analyses des mesures électrophysiologiques et magnétoencéphalographiques nous a été grandement utile, de même que Manon Robert, Nathalie Bouloute, Ping Hei Lam, et Régis Trapeau pour leur aide technique.

Nous remercions également Charles-Édouard Basile, Marianne Bélanger, Émilie Collagrosso, Chloé Labossière, et Anaïs Mihoubi pour leur aide dans l'expérimentation.

SOMMAIRE

L'acouphène est un son perçu sans qu'il soit provoqué par une source sonore externe. Cette sensation auditive anormale, par exemple des bourdonnements, des tintements ou des sifflements, affecte une seule ou les deux oreilles. Elle peut grandement détériorer la qualité de vie et l'aptitude au travail d'une partie importante des personnes ayant une perte auditive. Dans les deux études décrites dans ce rapport, le modèle récent appelé gain auditif central a été utilisé pour intégrer les données normales et pathologiques dans un même cadre conceptuel. En bref, le « gain auditif central » est un mécanisme normal postulé pour expliquer que le système auditif module sa réponse lorsque les conditions acoustiques changent. Par exemple, lors d'une privation auditive, la sensibilité auditive augmente, tandis qu'elle diminue lors d'une stimulation auditive. Ce phénomène a été documenté chez les adultes dont l'audition était normale. Par contre, ce sont principalement les jugements subjectifs d'intensité qui ont été mesurés, laissant entières non seulement la question de l'existence, mais aussi celle de la localisation de ce mécanisme de gain auditif central.

L'objectif de l'étude 1 était de démontrer l'existence du gain auditif central et de le localiser fonctionnellement. Deux groupes d'adultes ayant une audition normale ont porté des bouchons ou des générateurs de bruit pendant une semaine. Ils ont fait l'objet de tests avant et après la privation (bouchons) ou la stimulation (générateurs de bruit) sur une batterie d'évaluation de l'audition contenant des mesures allant de la cochlée jusqu'au cortex auditif. Les résultats démontrent que le système auditif module effectivement sa réponse en fonction des conditions acoustiques (privation ou stimulation, quoique plus modestement sur cette dernière), et que cette modulation s'effectue non pas au niveau périphérique (c'est-à-dire dans la cochlée), mais au sein du cortex auditif, soit au niveau le plus élevé du système auditif. En effet, aucun changement n'est observé en deçà de ce niveau. Ainsi la présence d'une modulation du gain auditif dont l'origine est purement centrale est appuyée par nos données.

L'objectif de l'étude 2 était d'examiner si ce gain auditif central peut être modulé chez des adultes ayant des acouphènes. En effet, chez cette population, il a été proposé que le mécanisme de gain auditif central serait inadapté (c'est-à-dire trop important), et qu'il serait responsable de l'acouphène et de l'hyperacousie, laquelle se définit comme une hypersensibilité auditive. En effet, ce modèle propose que l'acouphène reflèterait une hyperactivité neurale spontanée alors que l'hyperacousie reflèterait une hyperactivité évoquée par les sons externes. En bref, le gain central auditif serait altéré de façon chronique chez les gens avec acouphènes et hyperacousie et constituerait le mécanisme pathophysiologique principal de ces troubles auditifs. Si c'est le cas, un retour à la normale des mécanismes d'adaptation du gain devrait se refléter par une diminution de la sensibilité observable dans les jugements de sonie de même qu'une diminution de l'intensité de l'acouphène. Dans l'étude 2, des participants souffrant d'acouphènes sans perte ou avec perte auditive ont porté des générateurs de bruit pendant trois semaines. Des mesures auditives et psychométriques ont été prises en préintervention, après une semaine de port de générateurs, après trois semaines, de même qu'un mois après la fin de l'intervention.

Nos résultats en laboratoire suggèrent que le port de générateurs de bruit diminue la sensibilité aux sons externes et réduit la sonie de l'acouphène, et cela de façon plus importante dans le groupe sans perte auditive. L'intensité subjective de l'acouphène et le dérangement qu'il

occasionne sur la vie quotidienne, tels que mesurés par des échelles visuelles analogues, diminuent également avec le traitement. Ces données préliminaires sont les premières issues d'un examen conjoint de deux tâches différentes (sonie de l'acouphène et fonctions de sonie) qui font appel à une modulation d'intensité (sons externes et acouphène) provenant possiblement d'un mécanisme commun, normal dans un cas et pathologique dans l'autre. Dans l'ensemble, nos données suggèrent que le mécanisme de gain auditif central, présent chez les participants dont l'audition est normale, peut être exploité avec succès pour mesurer objectivement l'amélioration des personnes souffrant d'acouphènes et d'hyperacousie suite au port de générateurs de bruit.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	I
SOMMAIRE	III
TABLE DES MATIÈRES	V
LISTE DES TABLEAUX	VII
LISTE DES FIGURES	IX
1. INTRODUCTION	1
2. ÉTAT DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES	3
3. DESCRIPTION DES TRAVAUX	5
3.1 Étude 1	5
3.1.1 Méthodologie	5
3.1.2 Résultats	11
3.1.3 Discussion	18
3.2 Étude 2	19
3.2.1 Méthodologie	19
3.2.2 Résultats	25
3.2.3 Discussion	30
3.2.4 Limites de l'étude 2	32
4. CONCLUSION	33
BIBLIOGRAPHIE	35
ANNEXES	39

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Caractéristiques sociodémographiques (Écart-type) et audiologiques des participants des groupes Bouchons et Générateurs (n.s. = non significatif)	6
Tableau 2. Résumé de tous les effets pré-post expérimentation pour chaque test expérimental	12
Tableau 3. Résultats aux questionnaires pour les groupes Sans perte et Avec perte	29

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Moyenne des niveaux des otoémissions acoustiques (Erreur standard de la moyenne) pour les groupes Bouchons (bleu) et Générateurs (vert) de 1000 à 8000 Hz pour les deux oreilles.	7
Figure 2.	Moyenne des niveaux d'atténuation (Erreur standard de la moyenne) des bouchons (vert) et de stimulation des générateurs (bleu) en fonction de la fréquence.....	8
Figure 3.	Moyenne du niveau de produits de distorsion des otoémissions acoustiques (Erreur standard de la moyenne) pour chaque niveau de stimulation en pré- (noir) et en post- (rouge) expérimentation pour les groupes Bouchons (A) et Générateurs (B).....	13
Figure 4.	Niveau moyen des otoémissions acoustiques transitoires (Erreur standard de la moyenne) mesurées dans le silence et en présence de bruit controlatéral (suppression) en pré- (noir) et en post- expérimentation (rouge) pour les groupes Bouchons (A) et Générateurs (B).....	14
Figure 5.	Moyenne du niveau de déclenchement du réflexe stapédien (Erreur standard de la moyenne) pour la condition ipsi et controlatéraux moyennés, en pré- et en post- expérimentation pour les fréquences 1 kHz (mauve) et 4 kHz (orange) pour les groupes Bouchons (A) et Générateurs (B).....	15
Figure 6.	Moyenne de l'amplitude (A, B) et de la latence (C, D) des potentiels évoqués du tronc cérébral (Erreur standard de la moyenne) en pré- et en post- expérimentation pour les groupes Bouchons (A, C) et Générateurs (B, D) pour la stimulation de 90 dB SPL seulement.....	16
Figure 7.	Amplitude des réponses N100m et P200m. A) amplitudes moyennées pour les conditions 90, 80, 70, et 60 dB en fonction du groupe et de la session. B) effet principal d'intensité moyenné pour les deux groupes et sessions (Erreur standard de la moyenne).	17
Figure 8.	Moyenne du niveau d'intensité pour chacune des limites de catégorisation de sonie (Erreur standard de la moyenne) en pré- (noir) et en post- (rouge) expérimentation (oreilles droite et gauche moyennées) pour les groupes Bouchons (A) et Générateurs (B).	17
Figure 9.	Moyennes des seuils auditifs aériens pour les oreilles droites et gauches (Écart-type) pour le groupe Sans perte auditive et Avec perte auditive.	20
Figure 10.	Algorithme pour l'ajustement des générateurs de bruit dans l'étude 2.	23
Figure 11.	Moyenne des niveaux de stimulation mesurés au tympan en fonction de la fréquence (Erreur standard de la moyenne) pour chacun des deux groupes.	24

Figure 12. Déroulement temporel des séances en fonction des tests effectués.....	25
Figure 13. Moyenne du niveau d'intensité de l'acouphène pour chaque fréquence pour les quatre temps de mesure pour chacun des groupes.....	26
Figure 14. Moyenne du niveau d'intensité pour chacune des limites de catégorisation de sonie en pré- et post- expérimentation au temps « trois semaines » pour le groupe Sans perte auditive et Avec perte auditive.....	27
Figure 15. Moyenne des niveaux supérieurs des catégories de sonie et moyenne de l'intensité de l'acouphène (Erreur standard de la moyenne) pour les deux groupes et les quatre temps de mesure.	28
Figure 16. Moyenne du score obtenu pour chacune des échelles visuelles analogues (Erreur standard de la moyenne) pour les deux groupes et les quatre temps de mesure.....	30

1. INTRODUCTION

L'acouphène chronique est un bourdonnement ou sifflement perçu dans les oreilles ou la tête sans qu'il y ait émission d'une source sonore externe. Ce son fantôme peut avoir un effet dévastateur sur la qualité de vie et l'aptitude au travail. L'acouphène est associé à des troubles du sommeil (Hébert et Carrier 2007, Hébert, Fullum et coll. 2011), à des dérèglements physiologiques similaires à ceux présents dans les maladies reliées au stress (Hébert, Paiement et coll. 2004, Hébert et Lupien 2007, Hébert et Lupien 2009, Simoens et Hébert 2012), à de l'anxiété, à de la dépression (Shargorodsky, Curhan et coll. 2010) et à de l'hypersensibilité auditive (Hébert, Fournier et coll. 2013). La perte auditive neurosensorielle est un facteur de risque connu de l'acouphène. L'exposition au bruit étant la deuxième cause principale de perte auditive neurosensorielle (Rabinowitz 2000), les travailleurs en milieu bruyant sont donc fortement à risque d'être atteints d'acouphènes. Les résultats des études varient quant à la prévalence d'acouphènes chez des travailleurs ayant une perte auditive causée par le bruit. Par exemple, une étude récente effectuée chez des militaires exposés à des bruits d'impact forts (et vraisemblablement à de hauts niveaux de stress) a rapporté une prévalence d'acouphène de 80 % (Yankaskas 2013). Par contre, chez diverses populations ciblées de travailleurs exposés au bruit, des taux de prévalence d'acouphènes permanents plus bas ont été rapportés, entre 4,6 % et 51,3 % (Axelsson et Sandh 1985, Mrena, Ylikoski et coll. 2007). Une étude populationnelle effectuée en Grande-Bretagne auprès de 23 000 adultes, et donc moins sujette aux biais de sélection, a rapporté un rapport de prévalence d'acouphènes persistants de 2,6 (95 % IC : 2,0 à 3,4) chez des hommes de plus de 35 ans ayant été exposé au bruit pendant plus de 10 ans dans leur milieu de travail (Palmer, Griffin et coll. 2002). En d'autres mots, un travailleur exposé au bruit pendant une longue période a environ 2,6 fois plus de risques d'avoir un acouphène persistant qu'un travailleur non exposé au bruit ou exposé sur une période moins longue. La définition d'un acouphène persistant ou permanent ne permet pas de savoir si ce type de trouble était dérangeant dans ces études. Mais au Québec, la banque de données de l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) permet d'établir à 13,7 % la proportion de travailleurs en milieu bruyant (>80 dBA) ayant déclaré un acouphène *incommodant* entre 2000 et 2011, ce qui constitue une proportion environ 10 fois supérieure à celle de la population générale (Axelsson et Ringdahl 1989).

De par sa nature subjective, le diagnostic de l'acouphène en clinique repose souvent uniquement sur la déclaration du patient. Rares sont les cliniques en audiologie qui font l'appariement psychoacoustique en fréquence et en intensité de l'acouphène, évaluation minimale pourtant recommandée par les experts internationaux (Langguth, Goodey et coll. 2007). Les coûts humains (par exemple, le temps et l'énergie investis à trouver des professionnels de la santé et à les consulter sur les symptômes qu'ils ont constatés) et économiques (par exemple, absence au travail) de cette carence d'évaluation des acouphènes sont énormes et les travailleurs et les employeurs gagneraient à ce que ce type de trouble de l'oreille soit évalué par des mesures adéquates et selon des critères objectifs et explicites. Ces mesures existent, comme celles développées par le Laboratoire de recherche sur les acouphènes et l'hyperacousie de l'Université de Montréal, par exemple l'écran tactile pour faire l'appariement psychoacoustique précis de l'acouphène. Ces nouvelles mesures démontrent une fiabilité test-retest exceptionnelle après un délai moyen de 4 à 8 mois (Basile, Fournier et coll. 2013, Fournier et Hébert 2013). De plus, les données scientifiques récentes (Kujawa et Liberman 2009, Schaette et McAlpine 2011, Shi,

Chang et coll. 2016) ont mis en lumière des facteurs autres que la surdité mesurable à l'audiogramme comme pouvant agir sur la présence et surtout sur la sévérité des acouphènes. En particulier, la perte auditive peut être *cachée* et impossible à estimer avec les mesures cliniques standards. Déterminer une perte cachée peut guider les cliniciens et prévenir une dégradation plus importante. De plus, l'hypersensibilité auditive est un symptôme important associé à l'acouphène, et sur lequel la présente étude propose qu'il soit possible d'agir. Finalement, certains facteurs de risque non auditifs comme la dépression et l'épuisement au travail jouent aussi un rôle important en ce qui a trait aux acouphènes et devraient être dépistés (Hébert, Canlon et coll. 2012, Hébert, Canlon et coll. 2012).

L'objectif à long terme de ce travail était de valider les outils d'évaluation de l'acouphène les plus pertinents et les plus sensibles afin d'élaborer dans le futur un protocole clinique pragmatique et de l'implanter auprès des travailleurs souffrant d'acouphènes. Dans cette optique, le présent travail visait à montrer que le système auditif normal s'adapte à des modifications acoustiques (privation, stimulation), à localiser l'origine de ce mécanisme physiologique, et de montrer que ces modifications peuvent être modulées chez les sujets acouphéniques.

2. ÉTAT DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES

La sonie, soit l'intensité perçue d'un son mesurée en décibels (dB), est un attribut perceptif majeur des sons environnants. Si la relation entre la sonie et le niveau de dB est évidente, c'est-à-dire plus le niveau de dB augmente plus la sonie augmente, cette dernière peut varier significativement selon la fonction auditive ou les conditions acoustiques. Chez un travailleur dont l'audition est normale, le système auditif modifie sa réponse en fonction du niveau de bruit ambiant. Ainsi, après avoir porté des bouchons d'oreilles pendant quelques jours, la sensibilité auditive s'accroît : les sons qui étaient confortables sont désormais perçus trop forts (Formby, Sherlock et coll. 2003). Le réflexe stapédien, qui est régulé par des structures sous-corticales situées au niveau du tronc cérébral et reflète les seuils d'intolérance sonore, se produit également à un niveau de dB plus bas après une privation auditive (Munro et Blount 2009). À l'inverse, après avoir porté des générateurs de bruit pendant une certaine période, la sensibilité auditive diminue : les sons normalement confortables sont désormais perçus faibles (Formby, Sherlock et coll. 2003). Dans une étude-pilote du laboratoire de l'Université de Montréal (données non publiées), plusieurs composantes du système auditif chez un adulte normo-entendant avaient été évaluées; le port de bouchons pendant une semaine a augmenté la sensibilité dans les fonctions de sonie aux fréquences de 1 kHz et 4 kHz et celle des réflexes stapédiens, mais n'a pas changé la croissance des produits de distorsion acoustiques qui sont générés au niveau cochléaire, corroborant l'idée que le gain serait initié centralement au niveau du tronc ou plus tard dans le traitement auditif. En résumé, la sensibilité auditive s'ajusterait en fonction du niveau moyen de l'input sonore à la hausse (après privation) ou à la baisse (après stimulation), possiblement par un mécanisme d'adaptation du gain central. Par contre, une recension des études animales et humaines révèle que la nature exacte et la localisation de ce gain ne sont pas claires (Fournier, Schonwiesner et coll. 2014).

Il a été récemment proposé que l'acouphène et l'hypersensibilité auditive, deux pathologies de la sonie, seraient le résultat d'un gain central inadapté (Norena 2011). En effet, il y a un consensus autour de l'idée qu'un dommage périphérique – même léger – est nécessaire pour que l'acouphène puisse se manifester (Weisz, Hartmann et coll. 2006, Norena 2011, Schaette et McAlpine 2011). L'acouphène pourrait être ainsi le résultat de l'augmentation de l'activité neurale spontanée, alors que l'hypersensibilité serait le résultat de l'augmentation de l'activité neurale induite par les sons externes¹. Pour la première fois, il a été démontré que la sensibilité auditive augmente chez une personne atteinte d'acouphènes (Hébert, Fournier et coll. 2013). Comparées à des auditeurs sans acouphènes, mais avec audition comparable, les fonctions de sonie mesurées de façon fine pour les niveaux confortable à trop fort étaient moindres de 10 dB en moyenne chez des auditeurs ayant un acouphène, ce qui équivaut environ à 10 fois la pression sonore.

La modulation du gain central est un paradigme potentiellement puissant pour la réadaptation. Par exemple, si la stimulation par générateur de bruit diminue l'hypersensibilité auditive associée à l'acouphène, des objectifs précis d'amélioration (p. ex. en nombre de dB) pourraient guider le retour au travail et permettre de contrôler les acquis dans le temps. Pour corroborer cette

¹ Il est à noter que l'augmentation de l'activité neurale est un des mécanismes possibles, mais pas le seul. Ainsi, la réorganisation tonotopique et l'augmentation de la synchronie neurale pourraient également être impliqués.

hypothèse, une étude chez des participants jeunes (~42 ans) ayant une perte auditive et une hyperacousie a rapporté une réduction des seuils d'inconfort de 5 à 15 dB (après 2 et 15 semaines, respectivement) après le port d'un générateur de bruit (Norena et Chery-Croze 2007). La mesure des fonctions de sonie avant et après le port de générateurs de bruit pourrait ainsi mesurer la modulation de la sonie.

Nous avons déjà développé dans notre laboratoire une méthode d'évaluation précise et robuste de l'acouphène (Basile, Fournier et coll. 2013, Fournier et Hébert 2013). Ceci nous permet dans le cadre de cette étude de tester l'hypothèse que les générateurs de bruit peuvent diminuer l'intensité de l'acouphène. En parallèle, des échelles psychométriques permettront également de vérifier si l'intensité subjective de l'acouphène diminue avec la diminution de la sonie de l'acouphène, le cas échéant.

3. DESCRIPTION DES TRAVAUX

L'objectif à long terme du programme sera, dans le futur, de mettre en place un protocole clinique d'évaluation audiologique pour le diagnostic, l'orientation thérapeutique, et le suivi des travailleurs avec acouphène. Afin d'atteindre cet objectif, deux études préliminaires sont nécessaires. Elles sont présentées dans ce rapport.

3.1 Étude 1

L'objectif de l'étude 1 était de démontrer fonctionnellement la modulation bidirectionnelle du gain central par le port de bouchons et de générateurs de bruit chez l'auditeur normal, et d'examiner ces changements potentiels à tous les niveaux du système auditif, de la cochlée jusqu'au comportement, en passant par le cortex auditif, et de localiser ces changements grâce à la précision spatiale et temporelle de la magnétoencéphalographie (MEG) (Parkkonen, Fujiki et coll. 2009).

En effet, les quelques études sur le gain central n'ont utilisé que des jugements de sonie et les réflexes stapédiens (Formby et Gold 2002, Formby, Sherlock et coll. 2003, Sherlock et Formby 2005). Le jugement de sonie est une mesure comportementale intéressante puisqu'elle reflète la perception, mais demeure une mesure globale qui ne décèle pas la localisation des changements. Le réflexe stapédien est une mesure objective, qui reflète la contribution du tronc cérébral, mais incomplète puisqu'il n'est qu'une structure intermédiaire du système auditif qui traduit autant les voies afférentes qu'efférentes. De plus, si le gain est central, la contribution cochléaire doit absolument être écartée, en particulier en prévision d'une utilisation du paradigme en présence de perte auditive de la cochlée. Enfin, il est crucial d'évaluer la contribution du cortex cérébral et la localisation des changements afin de vérifier s'il existe un lien entre, d'une part, l'augmentation de la sensibilité auditive et une hyperactivité corticale (Gu, Halpin et coll. 2010) et, d'autre part, une diminution de la sensibilité auditive et de l'activité corticale.

L'hypothèse principale est que le port de bouchons augmentera la sensibilité auditive tandis que les générateurs de bruit la diminueront, et que ces modulations de sensibilité seront observées à partir du tronc cérébral jusqu'au cortex, mais absentes dans la cochlée.

3.1.1 Méthodologie

Participants

Trente et un adultes ont été recrutés par le bouche-à-oreille et par recours à des affiches. Ils ont été assignés au groupe Bouchons (n=16, 7 F, 9 H) ou au groupe Générateurs (n=15, 9 F, 6 H) selon leur préférence. Ils ne différaient pas en âge (26,1 par rapport à 24,0 ans pour Bouchons et Générateurs, respectivement, $p = ,13$) ni en scolarité (17,9 et 17,7 ans, respectivement, $p = ,80$). Le nombre de femmes et d'hommes ne différait pas entre les deux groupes ($p = ,29$ par un test de X^2). Les caractéristiques démographiques et audiologiques des deux groupes sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques sociodémographiques (Écart-type) et audiologiques des participants des groupes Bouchons et Générateurs (n.s. = non significatif)

	Bouchons (N=16)	Étendue (Min/Max)	Générateurs (N=15)	Étendue (Min/Max)	Valeur <i>p</i>
Âge	26,1 (4,6)	20-35	24 (2,5)	21-29	n.s.
Nombre d'hommes/femmes	9/7		6/9		n.s.
Années de scolarité	17,9 (2,5)	14-23	17,7 (2,0)	15-21	n.s.
Tympanométrie					
- Volume (ml)	1,2 (,32)	0,6/1,6	1,3 (0,31)	0,9/2,0	n.s.
- Compliance (ml)	0,80 (,44)	0,13/2,3	0,71 (0,43)	0,3/1,3	n.s.
- Pression (daPa)	-8,4 (14)	-33/10	-3,1 (13)	-19,5/20,5	n.s.
Réflexes stapédiens					
Ipsi (dB HL)					
- 1000 Hz	86,3 (5,6)	80/100	88,7 (5,4)	80/100	n.s.
- 4000 Hz	85,0 (7,2)	80/100	91,3 (6,6)	80/105	=0,017
Audiométrie					
- MSP Basses (dB HL)*	3,3 (3,8)	-1,2/13,7	5,9 (3,4)	1,2/12,5	n.s.
- MSP Moyennes (dB HL)*	3,1 (5,0)	-3,3/16,7	2,8 (3,7)	-1,7/14,2	n.s.
- MSP Hautes (dB HL)*	4,9 (5,3)	-4,2/14,2	5,0 (4,0)	-,8/13,3	n.s.

*Moyennes des sons purs (MSP) en basses (250, 500 Hz), en moyennes (1, 2, 3 kHz) et en hautes (4, 6, 8 kHz) fréquences pour les deux oreilles.

Les critères d'inclusion étaient d'avoir des seuils aériens normaux (<15 dB HL pour les fréquences 250-8 kHz), une tympanométrie normale, la présence de réflexes stapédiens à 1 et 4 kHz (< 100 dB SPL), et la présence des otoémissions acoustiques (1 à 8 kHz, les groupes ne différaient pas, tous les $F_s < 1$) (voir figure 1). Les critères d'exclusion étaient la présence de trouble de l'oreille externe, de l'oreille moyenne et de l'oreille interne, acouphène chronique, trouble neurologique, et la présence de métal dans le corps, de nombreux plombages ou tatouages (la présence de métal est contre-indiquée pour la magnétoencéphalographie, car elle interfère avec la captation du signal).

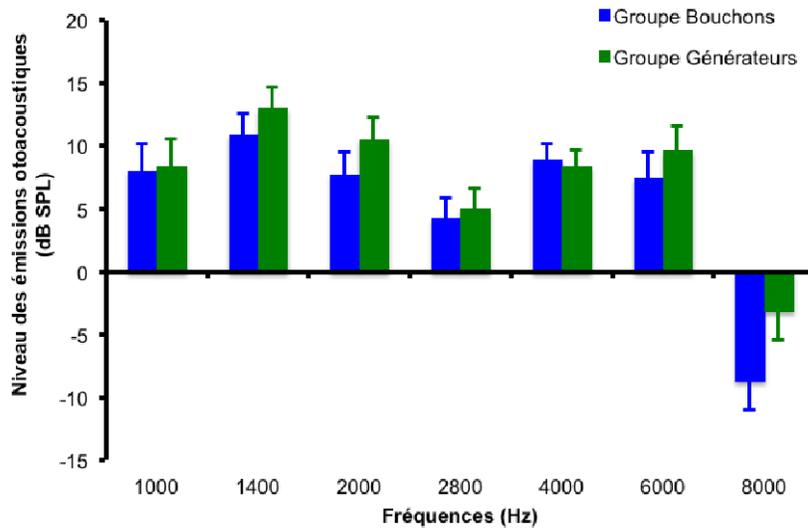


Figure 1. Moyenne des niveaux des otoémissions acoustiques (Erreur standard de la moyenne) pour les groupes Bouchons (bleu) et Générateurs (vert) de 1000 à 8000 Hz pour les deux oreilles.

Matériel et protocoles expérimentaux : Les participants admissibles ont obtenu des bouchons moulés sur mesure de marque Starkey (groupe Bouchons) ou deux générateurs de bruit Pure Life de marque Siemens (groupe Générateurs).

Les niveaux d'atténuation et de stimulation étaient symétriques, soit 18,6 dB d'atténuation et 19,8 dB de stimulation pour les fréquences de 1 kHz à 4 kHz, tels que mesurés *in situ* par un appareil d'analyse électroacoustique (Affinity, Interacoustics) (voir figure 2).

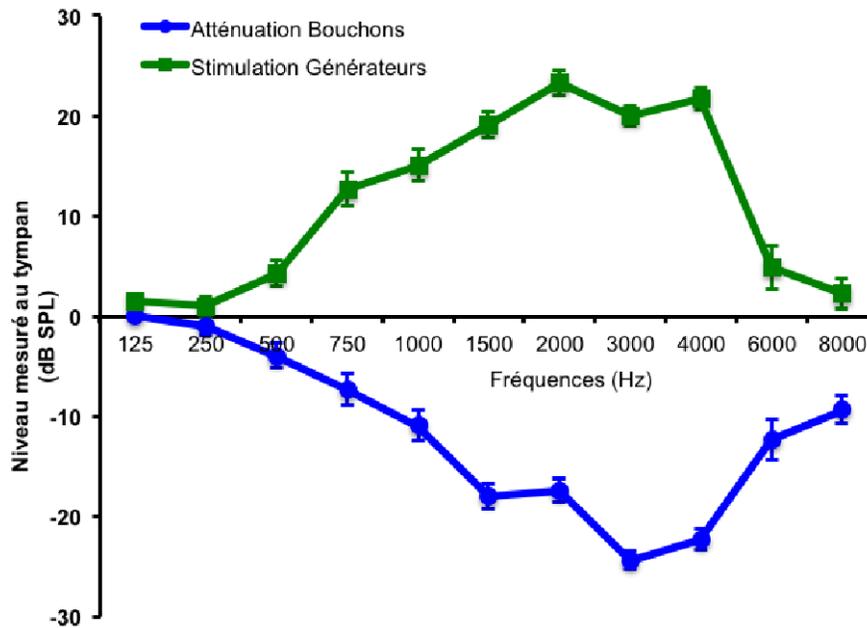


Figure 2. Moyenne des niveaux d'atténuation (Erreur standard de la moyenne) des bouchons (vert) et de stimulation des générateurs (bleu) en fonction de la fréquence.

Tous les participants ont été testés de la façon suivante :

Audiométrie tonale : Une audiométrie tonale classique et en très hautes fréquences par $\frac{1}{2}$ octave (250 Hz–16 kHz) a été effectuée avec un audiomètre AC40 (Interacoustics) et des écouteurs TelephonicsTDH-39P pour les fréquences conventionnelles (250 Hz à 8000 Hz) et les écouteurs Sennheiser HDA 200 (Sennheiser Electronic GmbH & Co., Wedemark, Germany) pour les très hautes fréquences.

La croissance des produits de distorsion des otoémissions acoustiques (DP Growth) a été évaluée de 45 à 75 dB avec le système ILO292 USB-II (Otodynamics Ltd.).

La suppression controlatérale des produits de distorsion otoacoustiques (avec et sans bruit controlatéral) a été mesurée avec le système IL0292 USB-II (Otodynamics Ltd.). Les stimuli utilisés pour générer les otoémissions acoustiques de type transitoire étaient des clics de 70 dB SPL et le stimulus supprimeur était un bruit blanc de 75 dB SPL.

Les réflexes stapédiens ipsi et controlatéraux ont été mesurés avec le système Interacoustics Titan avec écouteurs intra-auriculaires ER3-A. Le niveau de présentation débutait à 70 dB HL et augmentait par pas de 1 dB jusqu'à l'obtention d'un changement de compliance égal ou supérieur à 0,2 ml. Lorsqu'obtenu, le programme mesurait de nouveau le changement de compliance à la même valeur en dB afin de vérifier la stabilité de la mesure. Si le changement de compliance était confirmé à la même valeur, le test changeait de fréquence et la procédure recommençait jusqu'à l'obtention de tous les seuils réflexes pour toutes les fréquences.

Sinon, il continuait à augmenter son niveau d'intensité jusqu'à l'obtention d'un changement de compliance égal ou supérieur à 0,2 ml, deux fois de suite.

L'amplitude et la latence des potentiels évoqués électriques du tronc (ABR, ondes I à V) étaient enregistrés à l'aide de quatre électrodes : une sur chaque mastoïde, une placée en Cz et une mise à la terre placée sur le front. L'impédance devait être équivalente entre les électrodes et inférieure à 5 kOhm pour débiter l'expérience. Les réponses évoquées étaient enregistrées à l'aide du système BIOSEMI et la largeur du filtre de réponse était 100 à 1500 Hz. Les stimuli utilisés étaient des clics de 0,6 ms entrecoupés d'un intervalle interclic de 70 ms à des niveaux de 60, 70, 80, et 90 dB SPL avec une polarité inversée. Le nombre d'essais était de 2 500 par condition, lesquelles étaient présentées pseudo-aléatoirement par bloc de 1000 ms. Les écouteurs intra-auriculaires ER - 3A ont été utilisés pour présenter les sons.

L'amplitude et la latence des potentiels évoqués magnétiques du cortex auditif (mNa, N100 et P200) ont été mesurées avec des bruits blancs de 100 ms, avec une durée interclic de 1000 ms dans quatre conditions, 60, 70, 80, et 90 dB SPL. Les conditions étaient présentées pseudo-aléatoirement en deux blocs d'une durée de neuf minutes.

Les enregistrements ont été faits par un système Meg à 275 canaux (Ctf 275 de VSM MedTech Ltd., Vancouver, Canada) avec un échantillonnage continu à un taux de 1200 Hz et un filtre passe-bas à 300 Hz. La position de la tête était déterminée avec des bobines fixées au nasion et aux points préauriculaires.

Les fonctions de sonie ont été mesurées à 4 kHz avec une méthode automatisée adaptative modifiée de la *Loudness Growth in Half-Octave bands* (LGOB [35]). Les stimuli étaient des trains de 3 sons modulés en fréquence (FM) de 300 ms séparés par 300 ms de silence. En bref, le programme cherche à déterminer les six limites se trouvant entre sept catégories de sonie (inaudible, très faible, faible, ok, fort, très fort, trop fort). La limite entre « inaudible » et « très faible » représente le seuil auditif, la limite entre « très fort » et « trop fort » représente le seuil de douleur. La tâche de l'auditeur est de choisir dans quelle catégorie de sonie il classe chaque stimulus qui lui est présenté en appuyant sur un des sept boutons de la boîte-réponse. La tâche est programmée avec MATLAB R2006a et automatisée avec un système-3 de Tucker-Davis Technologies (système de traitement de signal en temps réel). Les stimuli ont été calibrés avec un sonomètre SE SoundPro DL 1/3 octave level meter (Quest Technologies, WI, USA) couplé avec une oreille artificielle EC-9A (Quest Electronics, Oconomowoc, WI, USA).

Déroulement

La visite de sélection durait environ deux heures. Tous les participants étaient d'abord informés sur l'étude et devaient lire et signer le formulaire de consentement avant de commencer toute procédure expérimentale. Si le participant était éligible et volontaire pour participer à l'étude, un deuxième rendez-vous était planifié environ une semaine plus tard. Pour le groupe Bouchons, la prise d'empreintes était effectuée à la fin de la visite de sélection.

Lors de la séance prétest, l'ordre des tests étaient effectués selon la disponibilité des salles. Les instructions données aux participants consistaient à porter les bouchons ou les générateurs de bruit du réveil au coucher. Des bouchons en mousse (groupe Bouchons) et un générateur de bruit de table (groupe Générateurs) étaient fournis pour la nuit. Un deuxième rendez-vous était planifié une semaine plus tard. Lors de ce rendez-vous, pour des raisons de logistique, la tâche de magnétoencéphalographie était généralement effectuée en premier. Les participants arrivaient au laboratoire en portant leurs bouchons ou leurs générateurs de bruit et ne les enlevaient qu'au

moment de commencer l'expérimentation. Les participants devaient remettre leurs bouchons ou générateurs de bruit entre les différentes tâches et ne les enlever qu'au moment de débiter l'expérimentation. La durée de chaque séance pré et post était d'environ quatre heures entrecoupée par des pauses. Les participants ont reçu 60 \$ pour leur participation. De plus, les participants du groupe Bouchons ont pu conserver leurs bouchons et les participants du groupe Générateurs ont eu la possibilité d'obtenir des bouchons moulés à la fin de l'étude.

Analyses statistiques

Des analyses de variance (ANOVA) ont été effectuées pour chaque groupe séparément.

Plus précisément, pour la croissance des produits de distorsion des otoémissions acoustiques (DP Growth) une ANOVA (25 X 2) a été effectuée sur les niveaux moyens des produits de distorsion avec niveaux de stimulation (51 à 75) et temps (pré, post) comme mesures répétées.

Pour la suppression contralatérale des produits de distorsion des otoémissions acoustiques, une ANOVA (5 X 2 X 2 X 2) a été effectuée sur les niveaux moyens des otoémissions avec fréquences (1 à 4 kHz), condition (silence, avec masque), oreilles (gauche, droite) et temps (pré, post) comme mesures répétées.

Pour les réflexes stapédiens, une ANOVA (2 X 2 X 2) a été effectuée sur le niveau de déclenchement des seuils avec fréquences (1 et 4 kHz), condition (ipsi, contro) et temps (pré, post) comme mesures répétées.

Pour les potentiels évoqués électriques du tronc (ABR, ondes I à V) des ANOVAs (2 X 3) ont été effectuées sur les valeurs d'amplitudes et de latences avec condition (pré, post) et ondes (I, III et V) comme mesures répétées.

Pour les potentiels évoqués magnétiques du cortex auditif (N100m et P200m), des ANOVAs (2 X 2 X 2 X 4) ont été faites sur les valeurs amplitudes et les latences comprenant les facteurs : session (pre et post), type de réponse (N100m, P200m), hémisphère (droite, gauche), et niveaux (60, 70, 80, 90) comme mesures répétées.

Pour les fonctions de sonie, des ANOVAs (6 X 2 X 2) ont été effectuées sur les niveaux d'intensité des limites de catégories de sonie avec catégories (seuil à trop fort), oreilles (gauche, droite) et temps (pré, post) comme mesures répétées.

Toutes les analyses ont été effectuées avec le logiciel SPSS 22.0.0 (SPSS Products, IBM, Coprp 1989, 2013).

3.1.2 Résultats

Le tableau 2 résume les résultats obtenus pour l'ensemble des variables analysées. L'effet principal d'Expérimentation (Privation pour le groupe Bouchons, Stimulation pour le groupe Générateurs) est observé uniquement pour les amplitudes des potentiels évoqués corticaux. Les rubriques qui suivent décrivent les autres effets observés.

Tableau 2. Résumé de tous les effets pré-post expérimentation pour chaque test expérimental

Tests expérimentaux	Groupe Bouchons		ANOVA	valeur de p	Groupes Générateurs		ANOVA	valeur de p
	Pré	Post			Pré	Post		
Croissance des produits de distorsion des otoémissions acoustiques (dB SPL)	5,9	5,6	$F(1,15) = ,21$	0,65	3,5	3,7	$F(1,14) = ,16$	0,7
Suppression controlatérale des produits de distorsion des otoémissions acoustiques (dB SPL)	2,4	2,6	$F(1,14) = 3,6$	0,56	2,5	2,5	$F(1,13) = 0,0$	0,98
- Silence (dB SPL)	3,3	3,2			3	2,6		
- Avec bruit de masquage (dB SPL)	1,5	2			2	2,5		
Seuils de déclenchement des réflexes stapédiens (dB HL)	88,2	86,3	$F(1,14) = 2,9$	0,11	93,1	93,6	$F(1,13) = ,78$	0,39
Potentiels évoqués auditifs du tronc cérébral à 90 dB SPL (moyenne Onde I, III, V)								
- Amplitude (mV)	0,32	0,33	$F(1,10) = 1,0$	0,33	0,31	0,32	$F(1,12) = 2,4$	0,15
- Latence (ms)	3,51	3,52	$F(1,10) = ,50$	0,49	3,61	3,59	$F(1,12) = 1,2$	0,29
Potentiels évoqués magnétiques du cortex auditif moyenné pour tous les niveaux (Score Z)	11,7	13,3	$F(1,12) = 7,8$	0,016	12,8	11,5	$F(1,13) = 3,2$	0,1
Fonction de sonie (dB SPL)	72,6	69,6	$F(1,15) = 5,6$	0,032	77	77,9	$F(1,13) = ,48$	0,5

Croissance des produits de distorsion des otoémissions acoustiques (DP Growth)

Pour les deux groupes, il y a un effet principal de Niveau sonore, avec un niveau d'otoémissions acoustiques plus élevé pour des niveaux de stimulation plus élevés, $F(24,360) = 111,45$, $p < ,001$, $F(24,336) = 84,93$, $p < ,001$, pour le groupe Bouchons et le groupe Générateurs respectivement (figure 3).

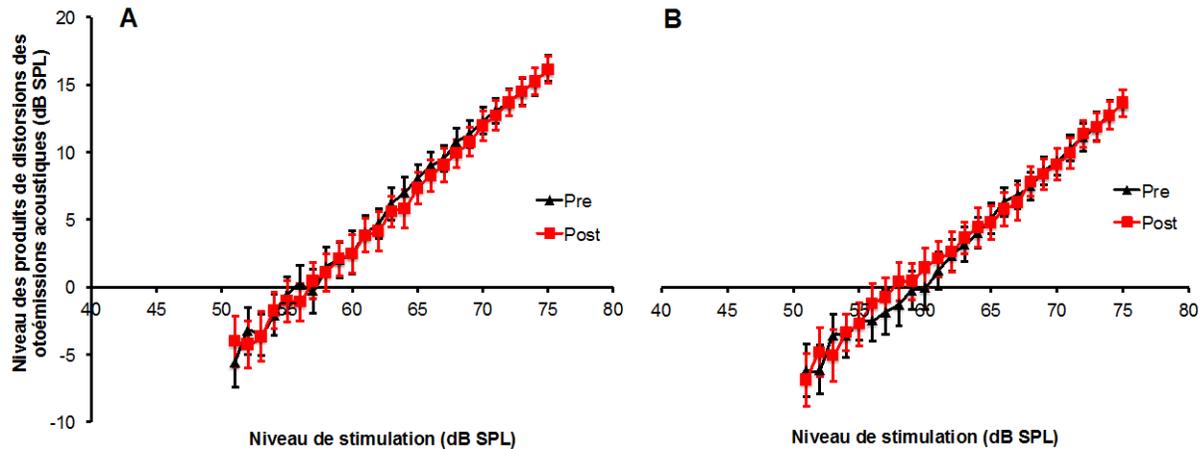


Figure 3. Moyenne du niveau de produits de distorsion des otoémissions acoustiques (Erreur standard de la moyenne) pour chaque niveau de stimulation en pré- (noir) et en post- (rouge) expérimentation pour les groupes Bouchons (A) et Générateurs (B).

Suppression contralatérale des produits de distorsion des otoémissions acoustiques

Pour les deux groupes, il y a un effet principal de Condition (avec ou sans bruit contralatéral), $F(1,14) = 48,1, p < ,001, F(1,13) = 80,9, p < ,001$ pour les groupes Bouchons et Générateurs, respectivement. Cela confirme qu'en présence de bruit contralatéral, une suppression des otoémissions acoustiques était présente, et ce, dans les deux groupes (figure 4).

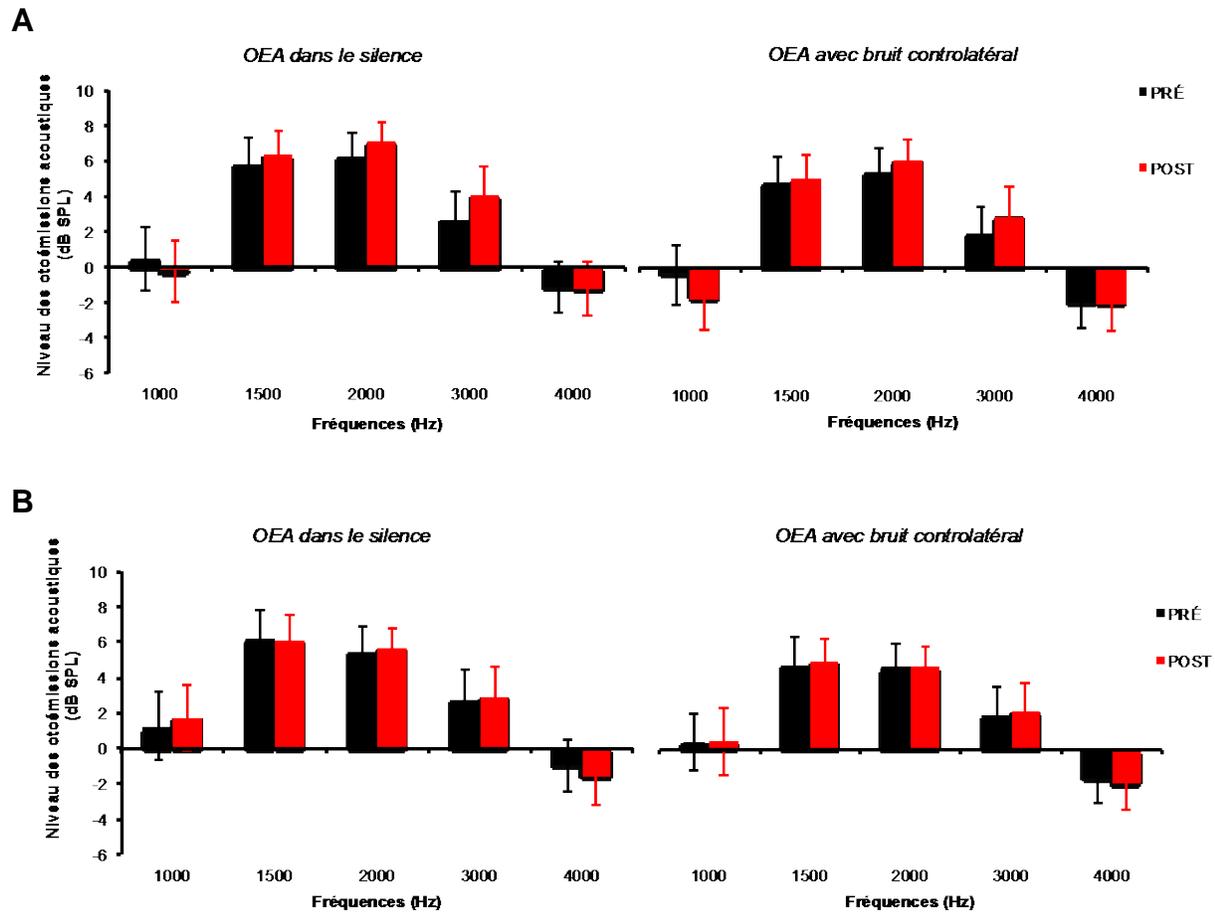


Figure 4. Niveau moyen des otoémissions acoustiques transitoires (Erreur standard de la moyenne) mesurées dans le silence et en présence de bruit contralatéral (suppression) en pré- (noir) et en post- expérimentation (rouge) pour les groupes Bouchons (A) et Générateurs (B).

Réflexes stapédiens ipsi et controlatéraux

Pour les deux groupes, il y a un effet principal de Condition (ipsilatéral par rapport à controlatéral) avec un seuil de déclenchement de réflexe stapédien plus élevé en controlatéral qu'en ipsilatéral, $F(24,360) = 111,45$, $p < ,001$ (84 dB HL en ipsilatéral par rapport à 90 dB HL en controlatéral) pour le groupe Bouchons et $F(24,336) = 84,93$, $p < ,001$, pour le groupe Générateurs (89 dB HL en ipsilatéral par rapport à 97 dB HL en controlatéral) (figure 5).

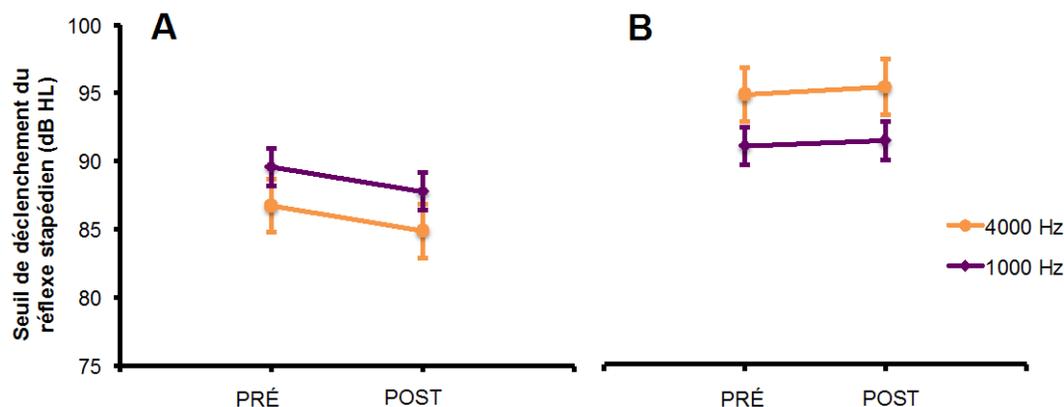


Figure 5. Moyenne du niveau de déclenchement du réflexe stapédien (Erreur standard de la moyenne) pour la condition ipsi et controlatéraux moyennés, en pré- et en post-expérimentation pour les fréquences 1 kHz (mauve) et 4 kHz (orange) pour les groupes Bouchons (A) et Générateurs (B).

Les potentiels évoqués électriques du tronc (ABR, ondes I à V)

Pour les deux groupes, il y a un effet principal d'Ondes, $F(2,20) = 75,6$, $p < ,001$ et $F(2,24) = 80,7$, $p < ,001$, pour les groupes Bouchons et Générateurs respectivement (figure 6). Tel qu'attendu les amplitudes des trois ondes diffèrent entre elles : celle de l'onde V est la plus élevée et celle de l'onde I la plus faible.

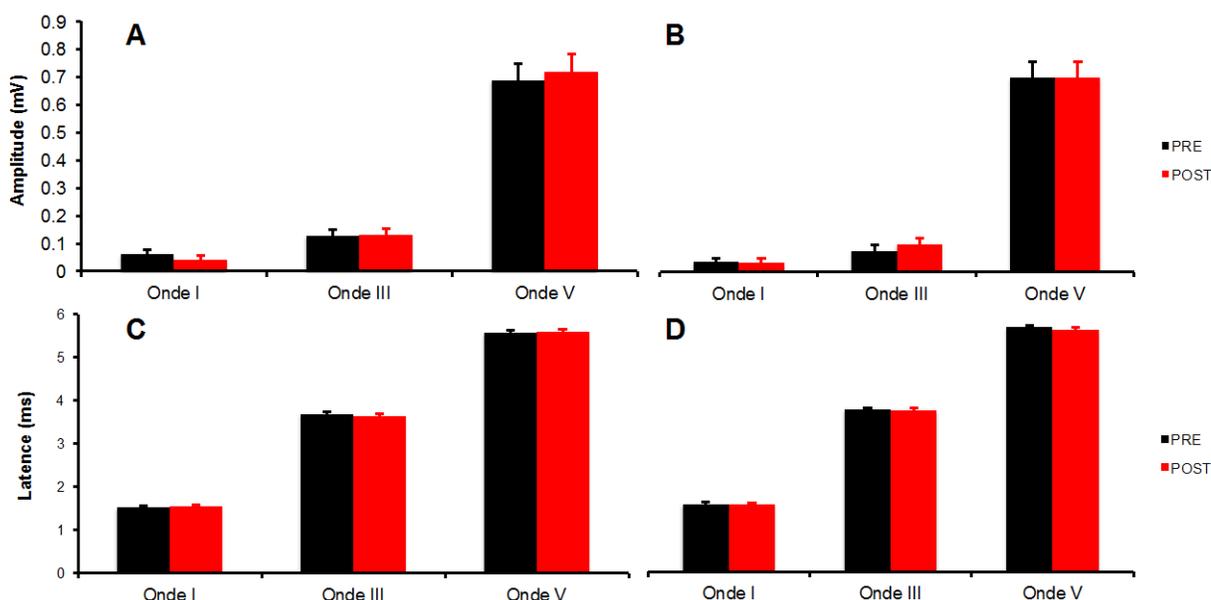


Figure 6. Moyenne de l'amplitude (A, B) et de la latence (C, D) des potentiels évoqués du tronc cérébral (Erreur standard de la moyenne) en pré- et en post- expérimentation pour les groupes Bouchons (A, C) et Générateurs (B, D) pour la stimulation de 90 dB SPL seulement.

Pour les deux groupes, il y a un effet principal d'Ondes, $F(2,20) = 3163$, $p < ,001$ et $F(2,24) = 2921$, $p < ,001$, pour les groupes Bouchons et Générateurs, respectivement (figure 6). Tel qu'attendu les latences des trois ondes diffèrent entre elles : celle de l'onde V est la plus longue et celle de l'onde I, la plus courte.

Les potentiels évoqués magnétiques du cortex auditif (N100m et P200m)

Des réponses évoquées ont été observées chez tous les participants pour toutes les sessions et toutes les conditions. La topographie des réponses est cohérente avec les sources bilatérales des cortex auditifs.

Les analyses révèlent que les amplitudes augmentent dans la session Post comparativement à la session Pré pour le groupe Bouchons ($p = ,02$), et inversement pour le groupe Générateurs (amplitude diminuée dans la session post par rapport à la session pré, $p = ,05$) (figure 7A). Un effet significatif d'intensité a aussi été observé, $F(3,75) = 3,17$, $p = ,02$: l'amplitude des stimulations de 90 et 80 dB est plus grande que celle des stimulations de 70 et 60 dB (tous les $p < ,014$, voir figure 7B).

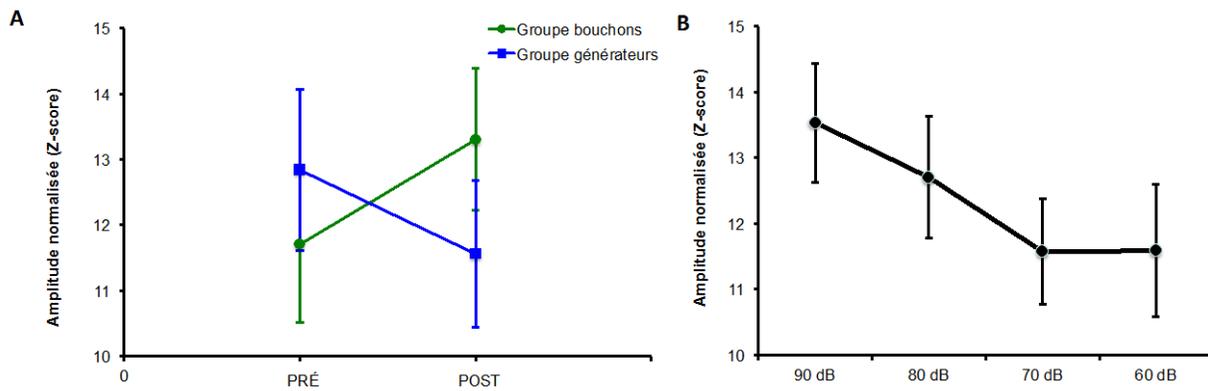


Figure 7. Amplitude des réponses N100m et P200m. A) amplitudes moyennées pour les conditions 90, 80, 70, et 60 dB en fonction du groupe et de la session. B) effet principal d'intensité moyenné pour les deux groupes et sessions (Erreur standard de la moyenne).

Fonctions de sonie

Pour le groupe Bouchons, les fonctions de sonie sont significativement décalées vers la gauche (sensibilisation) pour l'ensemble des limites des catégories de sonie après une semaine de privation, $F(1,15) = 5,6, p = ,032$ (en moyenne 72,6 dB HL en pré par rapport à 69,6 dB HL en post). Pour le groupe Générateurs, bien que les données aillent dans le sens d'une moins grande sensibilité, la différence n'est pas significative, $F < 1$, (en moyenne 77 dB HL en pré par rapport à 77,9 dB HL en post) (figure 8).

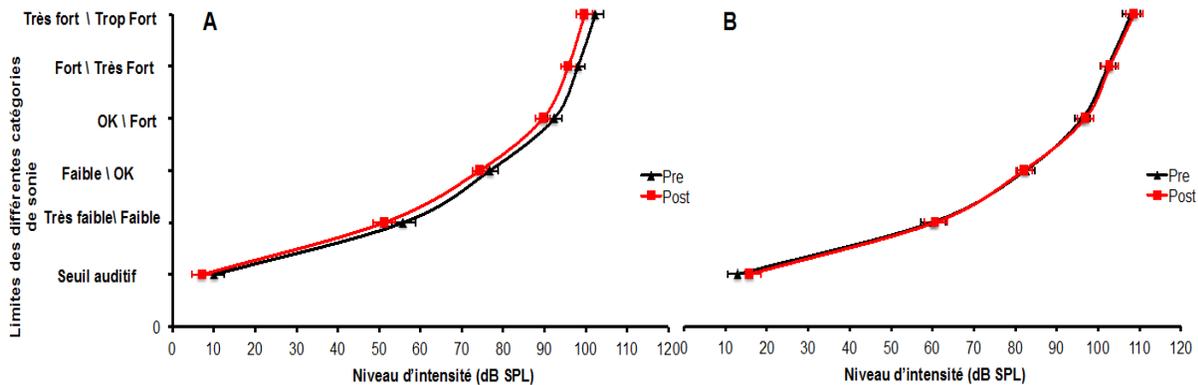


Figure 8. Moyenne du niveau d'intensité pour chacune des limites de catégorisation de sonie (Erreur standard de la moyenne) en pré- (noir) et en post- (rouge) expérimentation (oreilles droite et gauche moyennées) pour les groupes Bouchons (A) et Générateurs (B).

3.1.3 Discussion

Les résultats de l'étude 1 démontrent qu'après une privation ou une stimulation auditive temporaire de niveaux comparables d'une durée d'une semaine, le système auditif modifie sa réponse de façon compensatoire en l'amplifiant après privation et en la diminuant après stimulation. Cette modification se fait au niveau le plus élevé du système auditif, c'est-à-dire au cortex. En effet, aucune modification n'a été observable aux niveaux inférieurs des voies auditives, soit à la cochlée (par la croissance des produits de distorsion des otoémissions acoustiques), dans le tronc cérébral (par les réflexes stapédiens), ou aux réponses évoquées du nerf auditif (par les ondes I, III, et V).

Les résultats obtenus sont compatibles avec ceux d'une étude ayant documenté des changements dans les jugements de sonie (Formby, Sherlock et coll. 2003) pour des durées de privation semblables, c'est-à-dire qu'une sensibilisation aux sons se produit après une privation de sorte que les sons deviennent plus forts qu'avant la privation. Par contre, les résultats à la tâche de jugement de sonie, bien que démontrant une tendance à une moins grande sensibilité à la suite d'une semaine de stimulation, n'étaient pas significatifs. L'explication pour ce résultat n'est pas claire, puisque la tâche utilisée est adaptative et donc censée être très sensible. Il se peut que la sensibilité auditive des participants du groupe Générateurs était déjà à un niveau maximal dans chaque catégorie et qu'une stimulation supplémentaire ne change rien puisqu'un effet plafond était déjà présent. Cela semble plausible, étant donné que les participants choisissaient le groupe duquel ils voulaient faire partie (Générateurs ou Bouchons). Cette explication est compatible avec leurs réflexes stapédiens plus élevés que pour le groupe Bouchons, et ce, même en prétest. Dans la même veine, des réflexes stapédiens à des niveaux plus faibles dans le groupe Bouchon a peut-être incité les participants à choisir le groupe « protection » plutôt que le groupe stimulation. Étant donné que l'assignation en était une de convenance et non aléatoire, cette possibilité ne peut être écartée.

C'est la première fois qu'une étude examine les voies auditives humaines de façon exhaustive et systématique, ce qui fait son originalité et sa nouveauté. En effet, plusieurs études ont documenté des effets comportementaux ou des effets -quelquefois mitigés- sur les réflexes stapédiens (Formby, Sherlock et coll. 2003, Sherlock et Formby 2005, Formby, Gold et coll. 2007, Munro, Walker et coll. 2007, Munro et Merrett 2013), mais aucune n'avait exploré toutes les voies auditives chez les mêmes participants. Une étude animale parue récemment (Chambers, Resnik et coll. 2016) a rapporté qu'une destruction presque complète du nerf auditif (95 % des synapses afférentes, mais préservation des cellules ciliées) qui élimine les réponses du tronc cérébral et le réflexe acoustique de sursaut maintient la détection de son intacte. Cette réponse est associée à une activité corticale accrue compensant pour le dommage périphérique. Quoique l'étude entraîne une perte permanente et non transitoire, les résultats décrits sont compatibles avec celle-ci.

Le concept de gain auditif central est donc appuyé partiellement par ces données recueillies chez le sujet normal, de même que par les données animales. Un gain central mal adapté est proposé comme étant à l'origine de l'acouphène et de l'hyperacousie.

Or, peut-on moduler ce gain chez des personnes qui ont des dommages cochléaires? L'étude 2 vise à examiner cette question en faisant porter des générateurs de bruit à des participants souffrant d'acouphènes.

3.2 Étude 2

L'objectif de l'étude 2 est de démontrer la modulation du gain par le port de générateurs de bruit chez des travailleurs avec acouphènes et d'examiner si une modulation potentielle va de pair avec une amélioration subjective. Quelques études (Munro et Trotter 2006, Munro, Walker et coll. 2007, Munro et Merrett 2013, Munro, Turtle et coll. 2014) suggèrent que la modulation du gain central est fonctionnelle dans les cas de surdité et d'hyperacousie. Par contre, on ne sait pas si on peut moduler le gain central dans les cas d'acouphènes, et si cette modulation est visible sur les paramètres psychoacoustiques de l'acouphène, sur la sensibilité auditive, et sur l'intensité subjective (détresse liée à l'acouphène, échelles visuelles analogues).

L'*hypothèse principale* est que le port de générateurs de bruit diminuera la sensibilité auditive et l'intensité subjective des acouphènes et, par conséquent, la détresse psychologique. Les travailleurs seront suivis dans le temps afin d'examiner si la modulation est stable et si elle varie en fonction du degré de perte auditive.

3.2.1 Méthodologie

Participants

Quatorze travailleurs (4 femmes, 10 hommes) ayant un acouphène chronique unilatéral (n= 4) ou bilatéral (n= 10) ont été recrutés par le bouche-à-oreille ou par recours à des affiches. Ils avaient en moyenne 53,6 ans (étendue : 41-66 ans) et 16,9 ans de scolarité (étendue : 11-24 ans), et avaient leur acouphène depuis 10 ans en moyenne (étendue : 6 mois – 23 ans). Afin d'examiner la contribution de la perte auditive, les participants ont été séparés en deux groupes de sept, soit le groupe Sans perte et le groupe Avec perte. Les participants Sans perte devaient avoir des seuils ≤ 40 dB HL à toutes les fréquences allant de 250 Hz à 8 kHz aux deux oreilles. Les participants Avec perte avaient des seuils > 40 dB à au moins une fréquence entre 250 Hz à 8 kHz à au moins une oreille. Les moyennes de seuils auditifs par fréquence pour chaque oreille pour chacun des groupes sont présentées à la figure 9.

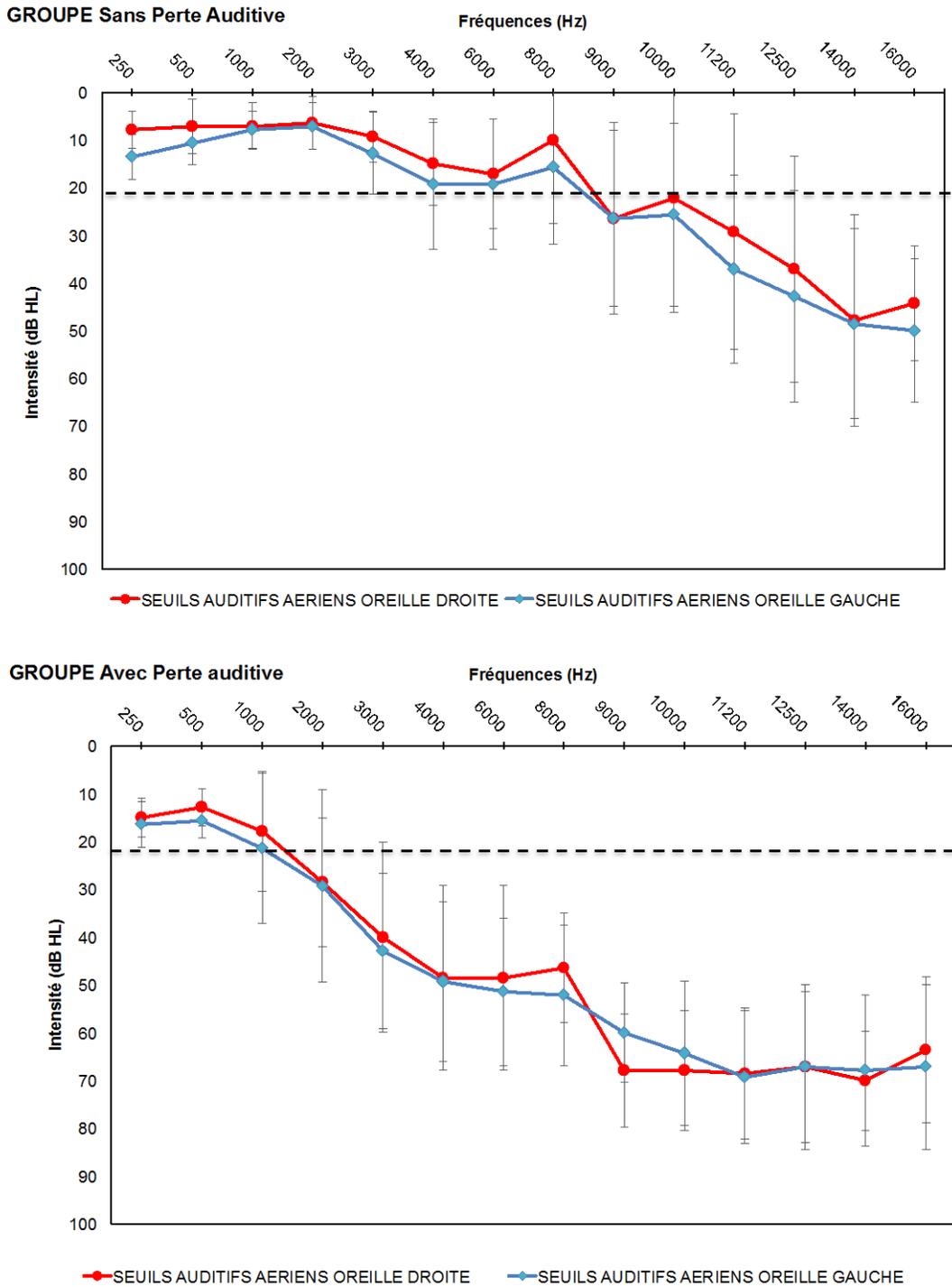


Figure 9. Moyennes des seuils auditifs aériens pour les oreilles droites et gauches (Écart-type) pour le groupe Sans perte auditive et Avec perte auditive.

Les critères d'inclusion étaient d'avoir un acouphène chronique (≥ 6 mois) et des réflexes stapédiens présents en condition ipsilatérale aux fréquences 1 k et 4 kHz (≤ 100 dB SPL), et ne pas avoir plus de 10 dB d'écart entre les seuils des deux oreilles. Les critères d'exclusion étaient un trouble des oreilles externe, moyenne ou interne (ex. : agénésie du conduit, bouchon de cérumen, perforation tympanique, otite), ou un trouble neurologique (ex. : neurinome, sclérose en plaques).

Matériel et protocoles expérimentaux

Audiométrie tonale : Une audiométrie tonale classique et une en très hautes fréquences par $\frac{1}{2}$ octave (250 Hz–16 kHz) ont été effectuées avec un audiomètre AC40 (Interacoustics) et des écouteurs TDH-39P pour les fréquences conventionnelles (250 Hz à 8000 Hz) et les écouteurs Sennheiser HDA 200 (Sennheiser Electronic GmbH & Co., Wedemark, Germany) pour les très hautes fréquences.

Les participants ont également été testés sur notre batterie de l'évaluation de l'acouphène. La batterie est décrite en détails dans un article publié précédemment (Basile, Fournier et coll. 2013). En bref, le participant est assis devant un écran tactile et doit coter, sur une échelle de 0 à 10 (0 = ne ressemble pas du tout à mon acouphène et 10 = ressemble parfaitement à mon acouphène) la ressemblance de chaque son pur présenté bilatéralement avec son acouphène. Il doit aussi ajuster le niveau du son avec le curseur pour qu'il soit du même volume que celui de l'acouphène. Toutes les fréquences de 250 Hz à 16 kHz, par $\frac{1}{2}$ octave, sont présentées. Les participants ont également été testés sur les fonctions de sonie (voir Étude 1 page 9 pour la description de la tâche).

Finalement, les questionnaires (pour plus de détails, voir les annexes) suivants ont été utilisés :

Satisfaction de vie (Diener, Emmons et coll. 1985) : L'Échelle de satisfaction de vie est un instrument à 5 items permettant d'évaluer la satisfaction de vie. Pour chaque énoncé, le participant doit déterminer sur une échelle de 1 (Fortement en désaccord) à 7 (Fortement en accord) à quel point il est en accord ou désaccord. Le score total pour ce questionnaire se situe entre 5 et 35 points. Le degré de satisfaction de vie est catégorisé en fonction du score de la façon suivante : Extrêmement insatisfait (5-9), Insatisfait (10-14), Légèrement inférieur à la moyenne (15-19), Moyen (20-24), Élevé (25-29), et Très élevé (30-35).

Questionnaire de sensibilité auditive (Khalifa, Dubal et coll. 2002) : Le questionnaire sur la sensibilité auditive comporte 14 questions notées de 0 à 3 où 0 = non, 1 = oui un peu, 2 = oui modérément et 3 = oui beaucoup. Le score total, qui est obtenu en additionnant tous les items, se situe entre 0 et 42 (sensibilité maximale).

Tinnitus Handicap Questionnaire (THQ) (Kuk, Tyler et coll. 1990, Meric, Pham et coll. 1997) : Ce questionnaire reflète le degré d'handicap vécu par le patient relié à l'acouphène. Le patient doit noter chacune des 27 phrases du questionnaire de 0 à 100. Ce score représente le degré d'accord du patient avec la phrase énoncée. Le score total est calculé en pourcentage et un pourcentage élevé correspond à un handicap élevé.

V.A.S. : L'échelle visuelle analogique (VAS) mesure des caractéristiques subjectives et est largement utilisée dans les études d'intervention. Le sujet doit faire un trait sur une ligne continue de 10 cm selon son degré d'accord avec l'énoncé. Le calcul s'effectue à l'aide d'une

règle en mesurant la distance entre l'extrémité gauche de la ligne et le trait du participant. Cinq échelles ont été utilisées, soit 1) Intensité de l'acouphène maintenant, 2) Intensité de l'acouphène pendant la dernière semaine, 3) Dérangement maintenant, 4) Dérangement dernière semaine, et 5) Sensibilité auditive. Les scores élevés désignent une intensité et un dérangement élevés.

Ajustement des générateurs de bruit : le niveau de bruit blanc des générateurs a été ajusté en utilisant l'algorithme suivant (figure 10) :

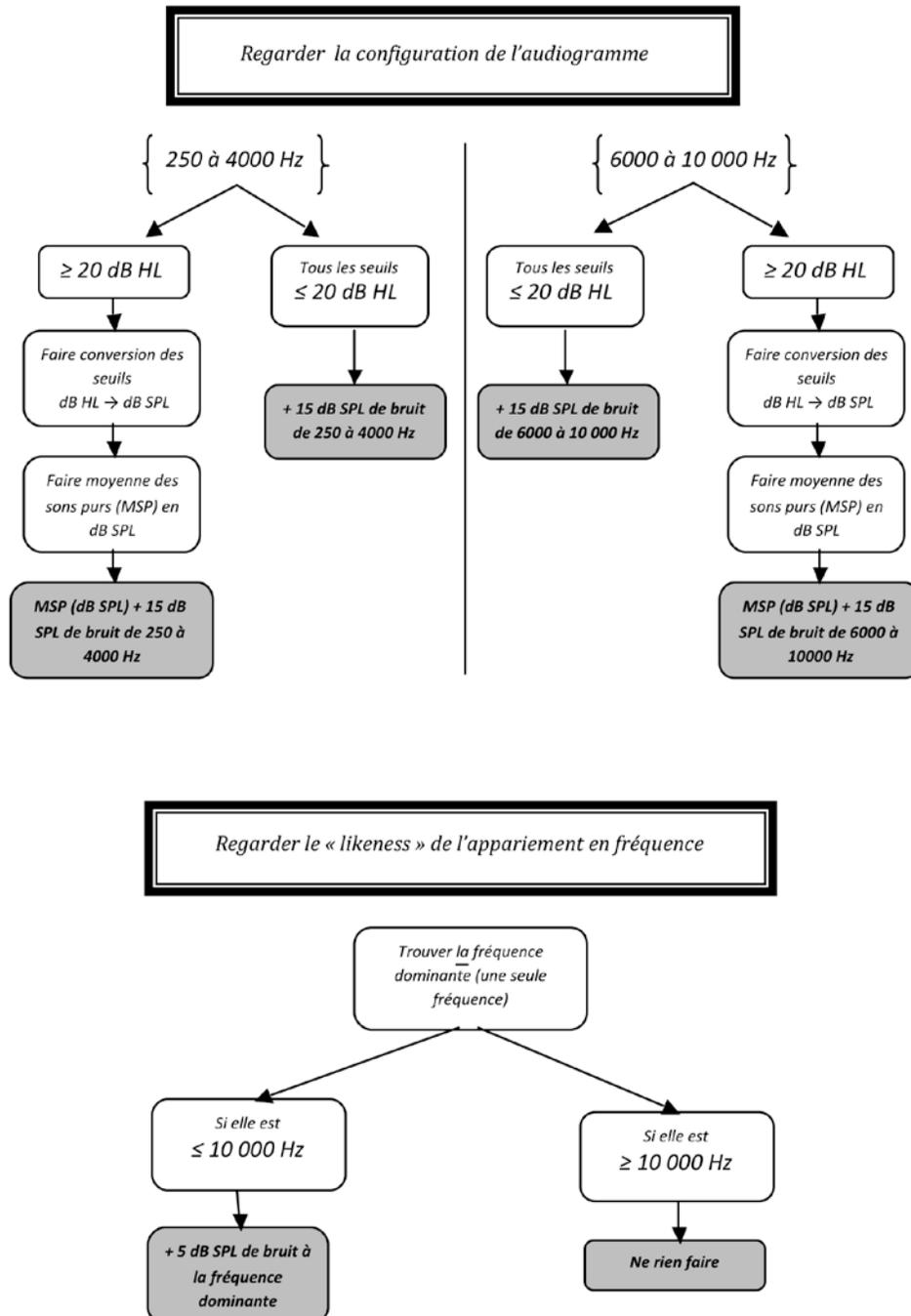


Figure 10. Algorithme pour l'ajustement des générateurs de bruit dans l'étude 2.

Les niveaux de stimulation mesurés au tympan pour les deux groupes sont présentés à la figure 11.

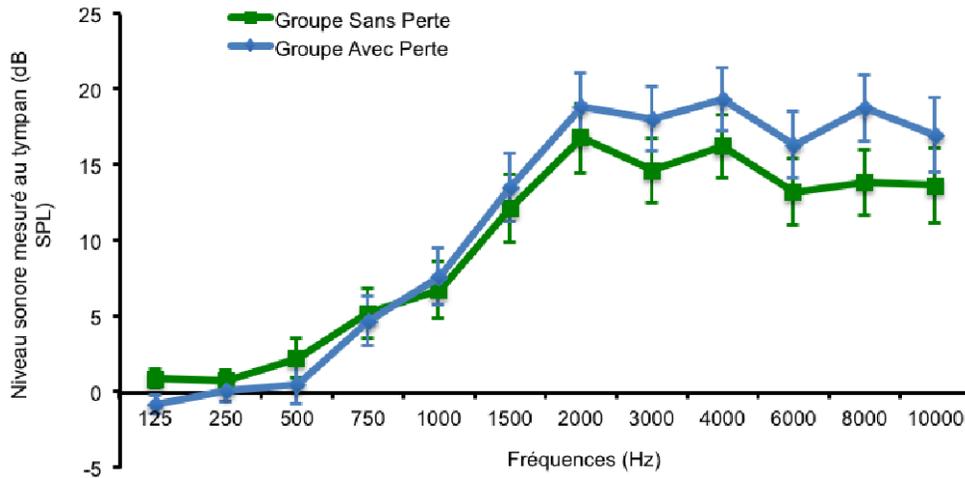


Figure 11. Moyenne des niveaux de stimulation mesurés au tympan en fonction de la fréquence (Erreur standard de la moyenne) pour chacun des deux groupes.

Déroulement

La visite de sélection durait environ deux heures. Tous les participants étaient d'abord informés sur l'étude et devaient lire et signer le formulaire de consentement avant de commencer toute procédure expérimentale. Si le participant était éligible et volontaire pour participer à l'étude, un deuxième rendez-vous était planifié environ une semaine plus tard ou à la convenance du participant. Lors de la séance prétest, les tests étaient effectués selon la disponibilité des salles. Les instructions données aux participants étaient de porter les générateurs de bruit le plus longtemps possible, du réveil au coucher. Un résumé des tâches en fonction des séances d'expérimentation est illustré à la figure 12.

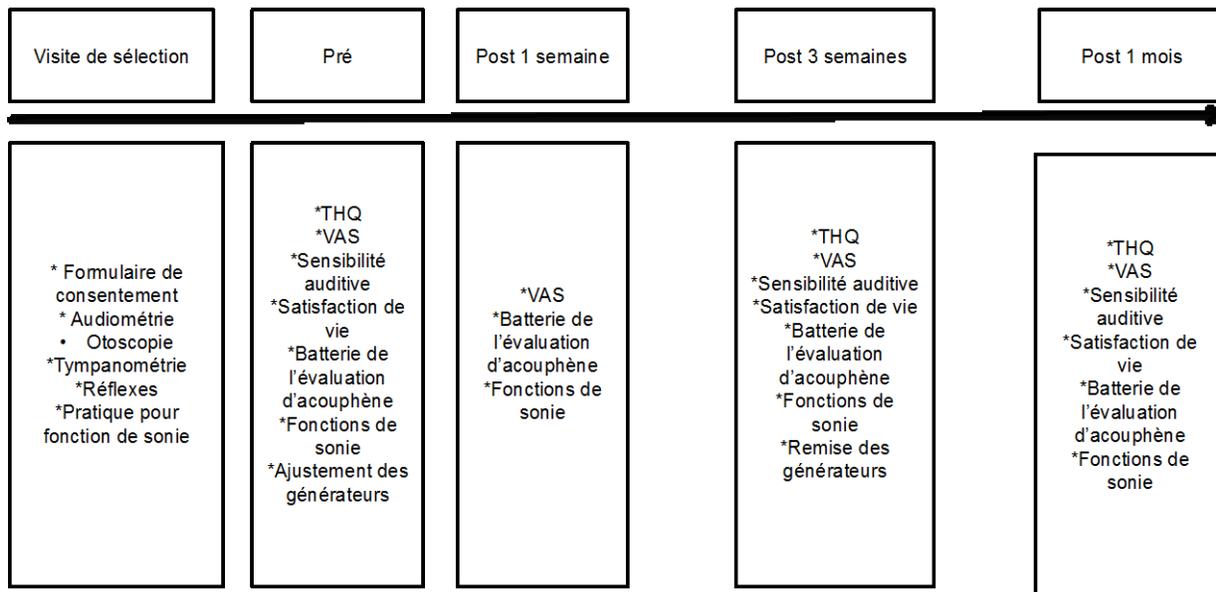


Figure 12. Déroulement temporel des séances en fonction des tests effectués.

Analyses statistiques

Étant donné la taille réduite des groupes, des analyses descriptives seront présentées pour chacun d'eux.

3.2.2 Résultats

Audiométrie : Les seuils aériens pour les fréquences de 250 Hz à 8 kHz étaient de $10 \pm 7,9$ et $13,3 \pm 8,8$ dB HL pour les oreilles droite et gauche, respectivement, dans le groupe Sans perte. Pour les fréquences 9 à 16 kHz, les seuils étaient de $34,5 \pm 21,1$ et $38,5 \pm 19,1$ dB HL pour les oreilles droite et gauche, respectivement. Pour le groupe Avec perte, les seuils aériens pour les fréquences de 250 Hz à 8 kHz étaient de $32,2 \pm 13,0$ et $34,8 \pm 13,4$ dB HL pour les oreilles droite et gauche, respectivement. Pour les fréquences 9 à 16 kHz, les seuils étaient de $67,5 \pm 13,3$ et $66,0 \pm 15,0$ dB HL pour les oreilles droite et gauche, respectivement (figure 9).

Batterie d'évaluation de l'acouphène : Pour le groupe Sans perte, une diminution de la sonie globale de l'acouphène (toutes fréquences confondues) est observée, passant de $29,6 \pm 22,1$ dB HL en préintervention, à $25,9 \pm 7,3$ dB HL en post 1 semaine, à $21,9 \pm 17,3$ dB HL en post 3 semaines, et revenant à $24,7 \pm 19,7$ dB HL après un mois. Pour le groupe Avec perte, une diminution est également observée, mais moindre, avec $35,4 \pm 17,0$ dB HL en préintervention, à $36,2 \pm 14,7$ dB HL en post 1 semaine, à $31,0 \pm 20,7$ dB HL en post 3 semaines, et à $34,8 \pm 16,0$ dB HL après un mois. La figure 13 présente les sonies pour chaque fréquence pour les quatre temps de mesure de chaque groupe.

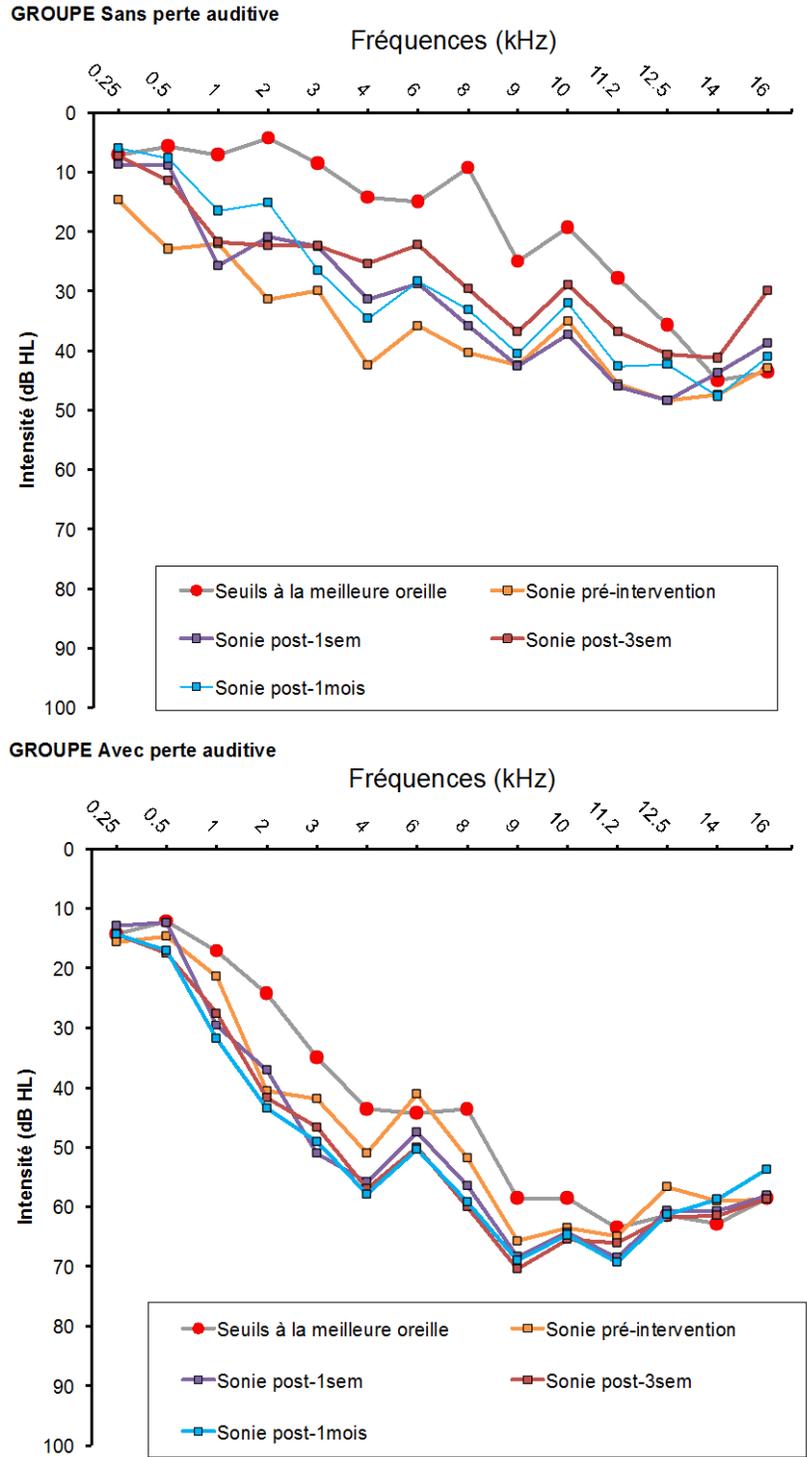


Figure 13. Moyenne du niveau d'intensité de l'acouphène pour chaque fréquence pour les quatre temps de mesure pour chacun des groupes.

Fonction de sonie: Pour les fonctions de sonie, une légère augmentation des niveaux dans chaque catégorie est observée, surtout dans les dernières. Par exemple, pour le groupe Sans perte, le niveau moyen dans la catégorie OK/Fort passe de 98,95 dB en pré à 100,3 dB en post 3 semaines, de 105,3 à 106,5 pour la catégorie Fort/Très fort, et de 109,7 à 110,3 dans la catégorie Très fort/Trop fort. Pour le groupe Avec perte, le niveau moyen dans la catégorie OK/Fort passe de 96,4 en pré à 97,9 en post 3 semaines, de 102,3 à 104,3 pour la catégorie Fort/Très fort, et de 107,4 à 108,2 pour la catégorie Très fort/ Trop fort. La figure 14 illustre les fonctions de sonie pré et post 3 semaines pour les deux groupes.

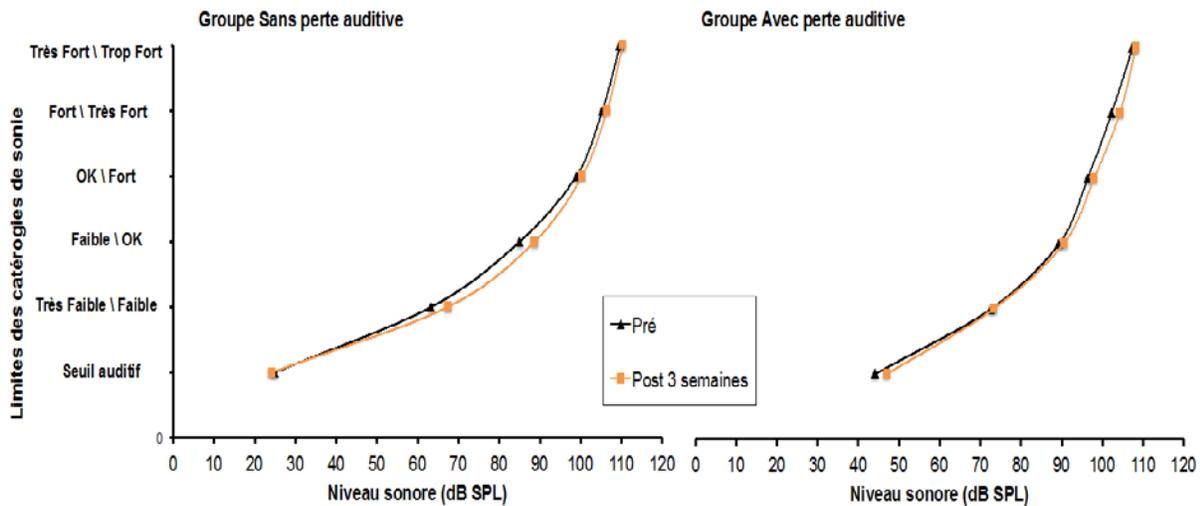


Figure 14. Moyenne du niveau d'intensité pour chacune des limites de catégorisation de sonie en pré- et post- expérimentation au temps « trois semaines » pour le groupe Sans perte auditive et Avec perte auditive.

Fonctions de sonie et sonie de l'acouphène : La figure 15 illustre l'augmentation des niveaux des catégories supérieures des fonctions de sonie (Très fort/Trop fort, Fort/Très fort, et Ok/Fort) conjointement avec la diminution de la sonie de l'acouphène pour les séances pré, post 1 semaine, post 3 semaines, avec un léger retour vers les valeurs pré en post 1 mois pour les deux groupes. L'effet est plus prononcé pour le groupe Sans perte.

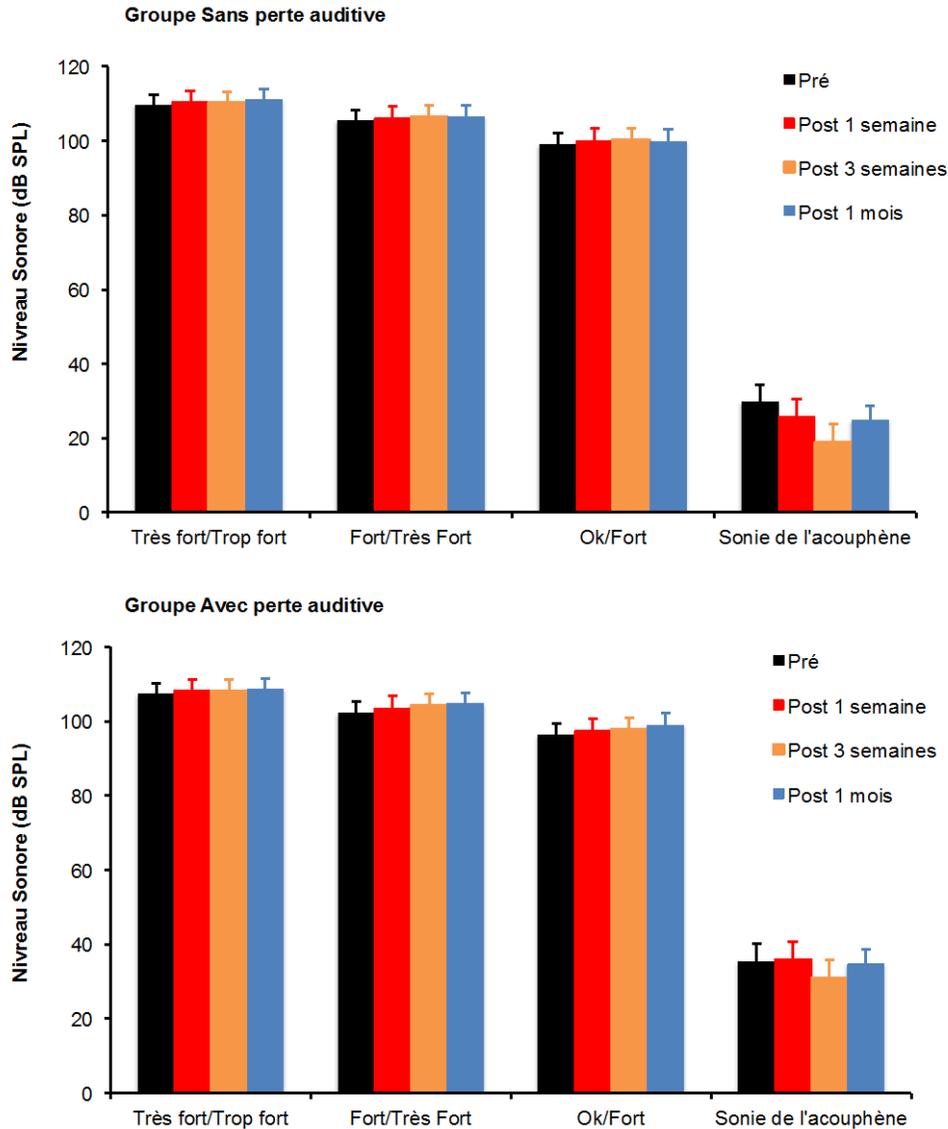


Figure 15. Moyenne des niveaux supérieurs des catégories de sonie et moyenne de l'intensité de l'acouphène (Erreur standard de la moyenne) pour les deux groupes et les quatre temps de mesure.

Questionnaires :

Satisfaction de vie : Aucune amélioration n'a été observée dans les réponses au questionnaire de Satisfaction de vie dans les deux groupes (voir tableau 3).

Questionnaire de sensibilité auditive : Aucune amélioration n'a été observée dans les réponses au questionnaire de Sensibilité auditive dans les deux groupes (voir tableau 3).

Tinnitus Handicap Questionnaire : Une légère amélioration est observée pour le groupe Sans perte, mais aucune amélioration n'est notée pour celui Avec perte (voir tableau 3).

Tableau 3. Résultats aux questionnaires pour les groupes Sans perte et Avec perte

		Sans perte	Avec perte
Satisfaction de vie			
	Pré	29	29
	Post 3 semaines	30	29
	Post 1 mois	29	30
Questionnaire de sensibilité auditive			
	Pré	17	19
	Post 3 semaines	16	19
	Post 1 mois	18	21
Tinnitus Handicap questionnaire			
	Pré	31,2	38,7
	Post 3 semaines	26,2	36,3
	Post 1 mois	26,7	39,9

VAS : Sur les échelles visuelles analogues, une amélioration est observée entre les temps de mesure (valeurs globales de 5,0, 3,4, 3,1 pour pré, post 1 semaine, et post 3 semaines) et un retour au niveau pré (4,8) au suivi post 1 mois pour le groupe Sans perte, mais pas pour celui Avec perte (valeurs globales de 5,2, 5,3, 5,7 et 6,1 pour pré, post 1 semaine, post 3 semaines, et post 1 mois), (voir figure 16).

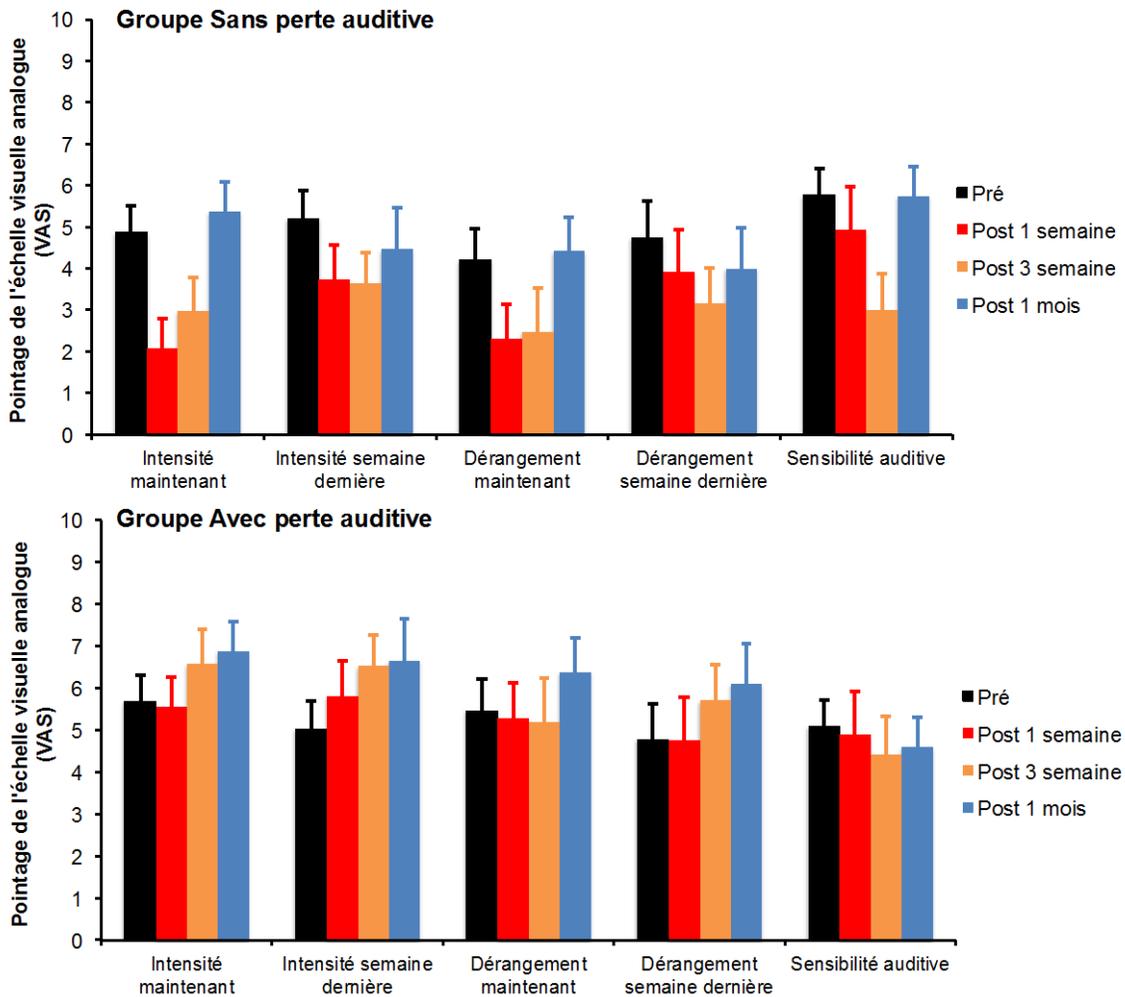


Figure 16. Moyenne du score obtenu pour chacune des échelles visuelles analogues (Erreur standard de la moyenne) pour les deux groupes et les quatre temps de mesure.

3.2.3 Discussion

Les données de l'étude 2, bien que n'incluant qu'un nombre restreint de participants, suggèrent que le port de générateurs de bruit pendant une période de trois semaines peut moduler à la fois la sonie de l'acouphène et les fonctions de sonie. La présente étude est la toute première à avoir examiné conjointement deux tâches différentes (sonie de l'acouphène et fonctions de sonie) qui font appel à une modulation d'intensité provenant possiblement d'un mécanisme commun, soit le gain auditif central. La plupart des études (Hobson, Chisholm et coll. 2010) examinent des échelles de sonie subjectives et ne peuvent ainsi conclure sur le mécanisme potentiel. De plus, cette amélioration semble plus importante chez des participants n'ayant pas de perte auditive aux fréquences standards et est accompagnée d'une amélioration subjective (du moins à court terme) telle que mesurée par des échelles visuelles analogues. Par contre, chez les participants avec perte auditive, malgré une légère amélioration dans la sonie globale de l'acouphène, les quatre premières échelles visuelles suggèrent une détérioration avec le temps, un résultat un peu surprenant. Une explication possible pourrait être que pour ces participants avec perte auditive,

l'ajout d'un bruit sans une amplification adéquate est nuisible à la longue et devient dérangeant au fil du temps. Une étude récente qui a comparé deux groupes de participants avec perte auditive et acouphène (dos Santos, Bento et coll. 2014), l'un ayant une combinaison d'amplification et de générateurs de bruit et l'autre avec amplification seulement, a révélé des améliorations similaires dans la réduction du dérangement causé par l'acouphène. Par contre dans cette étude l'effet simple du générateur de bruit n'a pas été examiné, ce qui empêche une comparaison directe avec notre étude. Une autre étude (Schaette, Konig et coll. 2010) a comparé des participants avec acouphène portant des générateurs de bruit ou des appareils sur la base de la fréquence de l'acouphène. Le groupe qui avait un acouphène < 6 kHz ont eu une diminution de l'intensité de leur acouphène (échelle visuelle analogue) tandis que ceux qui avaient un acouphène \geq 6 kHz ont eu une légère augmentation (non significative) de l'intensité de leur acouphène. Par contre, dans cette étude la perte auditive était une variable confondante puisque les participants n'étaient pas divisés en groupes selon cette variable. Puisque le spectre fréquentiel de l'acouphène se situe dans la perte auditive, le groupe de participant ayant un acouphène en deça de 6 kHz auraient pu présenter une surdité plus importante aux fréquences visées par les appareils et ainsi bénéficier d'un effet plus grand de l'amplification, alors que ceux qui avaient un acouphène au-delà de 6 kHz, ayant peu de perte et peu de stimulation, n'auraient pas bénéficié de l'amplification ni de la stimulation. L'absence d'amplification dans la présente étude était délibérée puisque l'ajout de l'amplification aux générateurs de son aurait eu pour effet de comparer deux interventions à une seule. Une étude future pourrait se pencher sur ce problème.

Les scores au questionnaire standard de Satisfaction de vie, déjà très élevés au départ, n'ont pas été sensibles aux effets de l'intervention. Aussi, les scores aux questionnaires de Tinnitus handicap questionnaire, et Sensibilité auditive, ont démontré de légères baisses au fur et à mesure de l'intervention. Ces échelles étant très générales (exemple : vous sentez-vous frustré à cause de votre acouphène?), il est possible qu'elles ne soient pas idéales pour ce genre d'intervention, ou alors que l'intervention n'ait pas été assez longue pour mesurer un changement global de l'impact de l'acouphène sur tous les aspects de la vie quotidienne.

Puisqu'aucun changement n'a été noté dans les structures auditives périphériques dans l'étude 1 nous pouvons présumer que le changement de gain observé dans l'étude 2 est localisé au niveau du cortex auditif des participants atteints d'acouphène. Toutefois, il est également possible que pour les patients atteints d'acouphènes d'autres structures corticales et sous-corticales soient impliquées dans la modulation du gain. Étant donné que le protocole n'incluait pas de données des aires corticales et sous-corticales tels que les potentiels évoqués auditifs du tronc cérébral ainsi que la magnétoencéphalographie, il n'est pas possible de le confirmer.

Ces données pionnières et fort encourageantes suggèrent qu'il faudrait augmenter le nombre de participants par groupes afin de pouvoir effectuer des statistiques inférentielles en plus des statistiques descriptives effectuées ici.

3.2.4 Limites de l'étude 2

La réalisation de l'étude 2 comporte quelques écarts par rapport au projet original, principalement sur la taille de l'échantillon et les profils des participants. Ces différences en ce qui a trait à l'échantillon représentent la dissemblance entre la théorie et la réalité du terrain pour le recrutement. Ainsi, le fait que nous n'ayons pu recruter les 30 travailleurs visés, mais seulement 14 et que nous les ayons divisé en deux groupes par condition auditive (Avec perte et Sans perte) vient du fait que malgré des efforts soutenus de recrutement (plusieurs annonces parues dans des revues ciblées, recours aux cliniques d'audiologie, et à la base de données de la clinique universitaire où plus de 200 dossiers ont été examinés) et le fait que plus de 80 personnes ont été contactées, il n'a pas été possible de trouver des travailleurs éligibles (répondant aux critères d'inclusion/exclusion stricts) avec acouphènes sans perte auditive désirant participer à un protocole aussi chargé qui requerrait beaucoup de temps et nécessitait une participation à plusieurs séances en laboratoire. En effet, les séances de sélection, d'expérimentation pré, d'expérimentation post 1 semaine, post 3 semaines, et post 1 mois qui doivent se tenir à des dates précises sur une période minimum de deux mois représentent un total d'environ 18 heures de participation en plus de l'obligation de porter des générateurs de bruit pendant 3 semaines 24 heures sur 24 (utilisation de générateurs de table la nuit). Il a donc été décidé en cours de route d'inclure les travailleurs avec perte auditive légère à modérée, qui représentent un sous-groupe substantiel de personnes souffrant d'acouphènes, et ainsi de ne pas priver les volontaires d'une intervention potentiellement bénéfique. Cet ajout d'un sous-groupe Avec perte semble largement compensé par la constatation que les générateurs de bruit ne sont peut-être pas une solution pour les travailleurs avec perte, mais qu'ils le sont vraisemblablement pour les travailleurs sans perte. De plus, ce groupe sert de « contrôle » pour les multiples répétitions des mêmes tests dans le temps. En effet, l'amélioration ressentie par le groupe Sans perte ne peut pas être attribuable à un effet d'apprentissage des tâches, puisque le groupe Avec perte ne s'améliore que très peu ou pas. Ces deux points sont des ajouts positifs non prévus de cette étude.

Il est important de noter que la difficulté de recruter n'est pas unique. Une étude récente (Bauer, Berry et coll. 2016) rapporte que la difficulté de recrutement de participants avec acouphènes dans des études d'intervention est considérable et surprenante, étant donné la sévérité et la détresse rapportées par cette population. Par exemple, 21 % des participants, qui avaient répondu à des annonces de recrutement, ont par la suite manifesté qu'ils n'étaient pas intéressés parce qu'ils ne voulaient pas porter les aides auditives fournies gratuitement et être obligés de se déplacer pour obtenir les traitements et participer au suivi. Le taux d'inscription à l'étude variait entre 3,5 et 11,9 % selon les sites de l'étude, soit au total 36 personnes sur 568 (6,3 %) sur une période de 17 mois de recrutement. Une autre étude d'intervention (Piccirillo, Finnell et coll. 2007) a rapporté que sur 1 028 participants ayant un acouphène recrutés, 259 étaient venus au dépistage, et 135 avaient finalement participé, ce qui représente un taux de 13 %. Le taux de 17,5 % de la présente étude pour une période de recrutement d'environ 8 mois soutient donc avantageusement la comparaison.

4. CONCLUSION

En conclusion, les deux études décrites dans ce rapport sont compatibles avec la notion que le mécanisme de gain central est présent et fonctionnel chez les personnes ayant une audition normale, et chez les personnes souffrant d'acouphènes, plus particulièrement lorsque ces dernières n'ont pas de perte auditive selon les standards cliniques. Ces études sont les premières à suggérer 1) l'existence et la localisation fonctionnelle du gain central chez l'humain et 2) que la sonie des sons externes et de l'acouphène peut être modulée conjointement par le port de générateurs de bruit chez des gens avec acouphènes chroniques. Cette dernière observation, inédite dans les écrits scientifiques actuels, constitue une perspective prometteuse pour les patients souffrant d'acouphènes chroniques.

Évidemment, plusieurs questions demeurent sans réponse, autant chez les personnes avec audition normale que chez celles aux prises avec des acouphènes. Par exemple, une période plus longue de privation ou de stimulation fait-elle augmenter la compensation corticale, et donc, la modulation du gain? Chez les personnes ayant des acouphènes, une prolongation de la stimulation serait-elle encore plus bénéfique ou la modulation du gain est-elle limitée dans leur cas? Quelle est la durée des effets? Peut-on observer la modulation du gain central dans le cortex auditif des personnes souffrant d'acouphènes? Aussi, puisque dans la présente étude la fonction d'amplification n'était pas activée afin d'éviter de faire deux interventions plutôt qu'une (l'amplification plus la stimulation par générateurs de bruit), est-ce que les personnes ayant une perte auditive pourraient bénéficier plus d'une amplification ou d'une amplification doublée de générateurs de bruit?

Finalement, plusieurs nouvelles études pourraient découler de celle-ci. Par exemple, une prochaine étape serait de faire varier la durée de l'intervention pour connaître quelle est la durée idéale et d'examiner les réponses corticales en fonction de cette durée. Conjointement, un protocole clinique pourrait être instauré afin de déterminer si les mesures de sonie objectives et subjectives améliorent la qualité de vie des personnes souffrant d'acouphènes.

BIBLIOGRAPHIE

- Axelsson, A. et A. Ringdahl. "Tinnitus--a Study of Its Prevalence and Characteristics." *Br J Audiol*, Vol 23, 1, 1989, p. 53-62.
- Axelsson, A. et A. Sandh. "Tinnitus in Noise-Induced Hearing Loss." *Br J Audiol*, Vol 19, 4, 1985, p. 271-276.
- Basile, C. E., P. Fournier, S. Hutchins et S. Hébert. "Psychoacoustic Assessment to Improve Tinnitus Diagnosis." *PLoS One*, Vol 8, 12, 2013, p. e82995.
- Bauer, C. A., J. Berry et T. J. Brozoski. "Clinical Trials Supported by the Tinnitus Research Consortium: Lessons Learned, the Southern Illinois University Experience." *Hear Res*, Vol 334, 2016, p. 65-71.
- Chambers, A. R., J. Resnik, Y. Yuan, J. P. Whitton, A. S. Edge, M. C. Liberman et D. B. Polley. "Central Gain Restores Auditory Processing Following near-Complete Cochlear Denervation." *Neuron*, Vol 89, 4, 2016, p. 867-879.
- Diener, E., R. A. Emmons, R. J. Larsen et S. Griffin. "The Satisfaction with Life Scale." *J Pers Assess*, Vol 49, 1, 1985, p. 71-75.
- dos Santos, G. M., R. F. Bento, I. R. de Medeiros, J. Oiticica, E. C. da Silva et S. Penteadó. "The Influence of Sound Generator Associated with Conventional Amplification for Tinnitus Control: Randomized Blind Clinical Trial." *Trends Hear*, Vol 18, 2014.
- Formby, C. et S. L. Gold. "Modification of Loudness Discomfort Level: Evidence for Adaptive Chronic Auditory Gain and Its Clinical Relevance." *seminars in hearing*, Vol 23, 1, 2002, p. 21-34.
- Formby, C., S. L. Gold, M. L. Keaser, K. L. Block et M. L. Hawley. "Secondary Benefits from Tinnitus Retraining Therapy: Clinically Significant Increases in Loudness Discomfort Level and Expansion of the Auditory Dynamic Range." *seminars in hearing*, Vol 28, 4, 2007, p. 227-260.
- Formby, C., L. P. Sherlock et S. L. Gold. "Adaptive Plasticity of Loudness Induced by Chronic Attenuation and Enhancement of the Acoustic Background." *J Acoust Soc Am*, Vol 114, 1, 2003, p. 55-58.
- Fournier, P. et S. Hébert. "Gap Detection Deficits in Humans with Tinnitus as Assessed with the Acoustic Startle Paradigm: Does Tinnitus Fill in the Gap?" *Hear Res*, Vol 295, 1-2, 2013, p. 16-23.
- Fournier, P. et S. Hébert. "Gap Detection Deficits in Humans with Tinnitus as Assessed with the Acoustic Startle Paradigm: Does Tinnitus Fill in the Gap?" *Hearing Research*, Vol 295, 2013, p. 16-23.
- Fournier, P., M. Schonwiesner et S. Hébert. "Loudness Modulation after Transient and Permanent Hearing Loss: Implications for Tinnitus and Hyperacusis." *Neuroscience*, Vol 283, 2014, p. 64-77.
- Gu, J. W., C. F. Halpin, E. C. Nam, R. A. Levine et J. R. Melcher. "Tinnitus, Diminished Sound-Level Tolerance, and Elevated Auditory Activity in Humans with Clinically Normal Hearing Sensitivity." *J Neurophysiol*, Vol 104, 6, 2010, p. 3361-3370.

- Hébert, S., B. Canlon et D. Hasson. "Emotional Exhaustion as a Predictor of Tinnitus." *Psychother Psychosom*, Vol 81, 5, 2012, p. 324-326.
- Hébert, S., B. Canlon, D. Hasson, L. L. Magnusson Hanson, H. Westerlund et T. Theorell. "Tinnitus Severity Is Reduced with Reduction of Depressive Mood - a Prospective Population Study in Sweden." *PLoS One*, Vol 7, 5, 2012, p. e37733.
- Hébert, S. et J. Carrier. "Sleep Complaints in Elderly Tinnitus Patients: A Controlled Study." *Ear Hear*, Vol 28, 5, 2007, p. 649-655.
- Hébert, S., P. Fournier et A. Norena. "The Auditory Sensitivity Is Increased in Tinnitus Ears." *J Neurosci*, Vol 33, 6, 2013, p. 2356-2364.
- Hébert, S., S. Fullum et J. Carrier. "Polysomnographic and Quantitative Electroencephalographic Correlates of Subjective Sleep Complaints in Chronic Tinnitus." *J Sleep Res*, Vol 20, 1 Pt 1, 2011, p. 38-44.
- Hébert, S. et S. J. Lupien. "The Sound of Stress: Blunted Cortisol Reactivity to Psychosocial Stress in Tinnitus Sufferers." *Neurosci Lett*, Vol 411, 2, 2007, p. 138-142.
- Hébert, S. et S. J. Lupien. "Salivary Cortisol Levels, Subjective Stress, and Tinnitus Intensity in Tinnitus Sufferers During Noise Exposure in the Laboratory." *Int J Hyg Environ Health*, Vol 212, 1, 2009, p. 37-44.
- Hébert, S., P. Paiement et S. J. Lupien. "A Physiological Correlate for the Intolerance to Both Internal and External Sounds." *Hear Res*, Vol 190, 1-2, 2004, p. 1-9.
- Hobson, J., E. Chisholm et A. El Refaie. "Sound Therapy (Masking) in the Management of Tinnitus in Adults." *Cochrane Database Syst Rev*, Vol 12, 2010, p. CD006371.
- Khalfa, S., S. Dubal, E. Veuillet, F. Perez-Diaz, R. Jouvent et L. Collet. "Psychometric Normalization of a Hyperacusis Questionnaire." *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec*, Vol 64, 6, 2002, p. 436-442.
- Kujawa, S. G. et M. C. Liberman. "Adding Insult to Injury: Cochlear Nerve Degeneration after "Temporary" Noise-Induced Hearing Loss." *J Neurosci*, Vol 29, 45, 2009, p. 14077-14085.
- Kuk, F. K., R. S. Tyler, D. Russell et H. Jordan. "The Psychometric Properties of a Tinnitus Handicap Questionnaire." *Ear Hear*, Vol 11, 6, 1990, p. 434-445.
- Langguth, B., R. Goodey, A. Azevedo, A. Bjorne, A. Cacace, A. Crocetti, L. Del Bo, D. De Ridder, I. Diges, T. Elbert, H. Flor, C. Herraiz, T. Ganz Sanchez, P. Eichhammer, R. Figueiredo, G. Hajak, T. Kleinjung, M. Landgrebe, A. Londero, M. J. A. Lainez, M. Mazzoli, M. B. Meikle, J. Melcher, J. P. Rauschecker, P. G. Sand, M. Struve, P. Van de Heyning, P. Van Dijk et R. Vergara (2007). Consensus for Tinnitus Patient Assessment and Treatment Outcome Measurement: Tinnitus Research Initiative Meeting, Regensburg, July 2006. [Progress in Brain Research](#). G. H. T. K. A. C. B. Langguth et A. R. Müller, Elsevier. **Volume 166**: 525-536.
- Meric, C., E. Pham et S. Chery-Croze. "[Translation and Validation of the Questionnaire "Tinnitus Handicap Questionnaire, 1990]." *J Otolaryngol*, Vol 26, 3, 1997, p. 167-170.
- Mrena, R., M. Ylikoski, A. Makitie, U. Pirvola et J. Ylikoski. "Occupational Noise-Induced Hearing Loss Reports and Tinnitus in Finland." *Acta Otolaryngol*, Vol 127, 7, 2007, p. 729-735.

- Munro, K. J. et J. Blount. "Adaptive Plasticity in Brainstem of Adult Listeners Following Earplug-Induced Deprivation." *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol 126, 2, 2009, p. 568-571.
- Munro, K. J. et J. F. Merrett. "Brainstem Plasticity and Modified Loudness Following Short-Term Use of Hearing Aids." *J Acoust Soc Am*, Vol 133, 1, 2013, p. 343-349.
- Munro, K. J. et J. H. Trotter. "Preliminary Evidence of Asymmetry in Uncomfortable Loudness Levels after Unilateral Hearing Aid Experience: Evidence of Functional Plasticity in the Adult Auditory System." *Int J Audiol*, Vol 45, 12, 2006, p. 684-688.
- Munro, K. J., C. Turtle et R. Schaette. "Plasticity and Modified Loudness Following Short-Term Unilateral Deprivation: Evidence of Multiple Gain Mechanisms within the Auditory System." *J Acoust Soc Am*, Vol 135, 1, 2014, p. 315-322.
- Munro, K. J., A. J. Walker et S. C. Purdy. "Evidence for Adaptive Plasticity in Elderly Monaural Hearing Aid Users." *Neuroreport*, Vol 18, 12, 2007, p. 1237-1240.
- Norena, A. J. "An Integrative Model of Tinnitus Based on a Central Gain Controlling Neural Sensitivity." *Neurosci Biobehav Rev*, Vol 35, 5, 2011, p. 1089-1109.
- Norena, A. J. et S. Chery-Croze. "Enriched Acoustic Environment Rescales Auditory Sensitivity." *Neuroreport*, Vol 18, 12, 2007, p. 1251-1255.
- Palmer, K. T., M. J. Griffin, H. E. Syddall, A. Davis, B. Pannett et D. Coggon. "Occupational Exposure to Noise and the Attributable Burden of Hearing Difficulties in Great Britain." *Occup Environ Med*, Vol 59, 9, 2002, p. 634-639.
- Parkkonen, L., N. Fujiki et J. P. Makela. "Sources of Auditory Brainstem Responses Revisited: Contribution by Magnetoencephalography." *Hum Brain Mapp*, Vol 30, 6, 2009, p. 1772-1782.
- Piccirillo, J. F., J. Finnell, A. Vlahiotis, R. A. Chole et E. Spitznagel, Jr. "Relief of Idiopathic Subjective Tinnitus: Is Gabapentin Effective?" *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, Vol 133, 4, 2007, p. 390-397.
- Rabinowitz, P. M. "Noise-Induced Hearing Loss." *Am Fam Physician*, Vol 61, 9, 2000, p. 2749-2756, 2759-2760.
- Schaette, R., O. Konig, D. Hornig, M. Gross et R. Kempster. "Acoustic Stimulation Treatments against Tinnitus Could Be Most Effective When Tinnitus Pitch Is within the Stimulated Frequency Range." *Hear Res*, Vol 269, 1-2, 2010, p. 95-101.
- Schaette, R. et D. McAlpine. "Tinnitus with a Normal Audiogram: Physiological Evidence for Hidden Hearing Loss and Computational Model." *J Neurosci*, Vol 31, 38, 2011, p. 13452-13457.
- Shargorodsky, J., G. C. Curhan et W. R. Farwell. "Prevalence and Characteristics of Tinnitus among Us Adults." *American Journal of Medicine*, Vol 123, 8, 2010, p. 711-718.
- Sherlock, L. P. et C. Formby. "Estimates of Loudness, Loudness Discomfort, and the Auditory Dynamic Range: Normative Estimates, Comparison of Procedures, and Test-Retest Reliability." *J Am Acad Audiol*, Vol 16, 2, 2005, p. 85-100.

Shi, L., Y. Chang, X. Li, S. J. Aiken, L. Liu et J. Wang. "Coding Deficits in Noise-Induced Hidden Hearing Loss May Stem from Incomplete Repair of Ribbon Synapses in the Cochlea." *Front Neurosci*, Vol 10, 2016, p. 231.

Simoens, V. L. et S. Hébert. "Cortisol Suppression and Hearing Thresholds in Tinnitus after Low-Dose Dexamethasone Challenge." *BMC Ear Nose Throat Disord*, Vol 12, 2012, p. 4.

Weisz, N., T. Hartmann, K. Dohrmann, W. Schlee et A. Norena. "High-Frequency Tinnitus without Hearing Loss Does Not Mean Absence of Deafferentation." *Hear Res*, Vol 222, 1-2, 2006, p. 108-114.

Yankaskas, K. "Prelude: Noise-Induced Tinnitus and Hearing Loss in the Military." *Hear Res*, Vol 295, 2013, p. 3-8.

ANNEXES

Satisfaction de vie

Nous présentons ci-dessous cinq énoncés avec lesquels vous pouvez être en accord ou en désaccord. À l'aide de l'échelle de 1 à 7 ci-dessous, indiquez votre degré d'accord ou de désaccord avec chacun des énoncés en indiquant le chiffre approprié à la droite des énoncés. Nous vous prions d'être ouvert et honnête dans vos réponses.

- 7 – Fortement en accord**
- 6 – En accord**
- 5 – Légèrement en accord**
- 4 – Ni en désaccord ni en accord**
- 3 – Légèrement en désaccord**
- 2 – En désaccord**
- 1 – Fortement en désaccord**

1. En général, ma vie correspond de près à mes idéaux. ____
2. Mes conditions de vie sont excellentes. ____
3. Je suis satisfait(e) de ma vie. ____
4. Jusqu'à maintenant, j'ai obtenu les choses importantes que je voulais de la vie. ____
5. Si je pouvais recommencer ma vie, je n'y changerais presque rien. ____

QUESTIONNAIRE DE SENSIBILITÉ AUDITIVE

Nom et Prénom :

SEXE : Homme Femme

*Supportez-vous moins bien le bruit que la plupart des gens?

*Supportez-vous moins bien le bruit qu'il y a quelques années?

*Avez-vous déjà eu des problèmes auditifs? Si oui, lesquels?

Dans le questionnaire suivant, cochez la case correspondant à la réponse la plus adéquate pour vous (non, oui un peu, oui modérément, oui beaucoup).

	non	oui, un peu	oui, mo- déré- ment	oui, beau- coup
1. Vous arrive-t-il d'utiliser des bouchons, boules quiès ou casque, pour limiter votre perception du bruit?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Avez-vous des difficultés à ne plus faire attention aux sons qui vous entourent dans la vie quotidienne?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Êtes-vous incommodé(e) pour lire dans un environnement bruyant?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Êtes-vous incommodé(e) pour vous concentrer dans un milieu bruyant?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Éprouvez-vous des difficultés pour entendre une conversation au milieu d'un environnement bruyant?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Certaines personnes de votre entourage vous ont-elles déjà fait remarquer que vous supportiez mal le bruit ou certains sons?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Êtes-vous particulièrement sensible, voire incommodé(e) par le bruit de la rue?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Le bruit dans certaines situations sociales (ex : boîtes de nuit, bars, concerts, cocktails,...) vous est-il pénible?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Si l'on vous propose une activité (sortie, cinéma, concert,...), pensez-vous tout de suite au bruit que vous aurez à supporter?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Vous arrive-t-il de refuser des invitations ou des sorties par crainte du bruit que vous aurez à affronter?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Est-ce qu'un bruit ou un son précis vous dérange plus dans une atmosphère silencieuse que dans une pièce légèrement bruyante?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Votre capacité de concentration dans le bruit est-elle diminuée par le stress et la fatigue?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Votre capacité de concentration dans le bruit est-elle diminuée en fin de journée?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Est-ce que le bruit ou certains sons vous stressent ou vous énervent?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Mesure du handicap lié à l'acouphène

(Kuk et coll, 1990. Adaptation française de Meric et coll)

Instructions : Donner une note à chacune des phrases ci-dessous. Cette note comprise entre 0 et 100, doit représenter combien vous êtes d'accord avec la phrase proposée :

- 0, si vous n'êtes pas d'accord du tout
- 100, si vous êtes entièrement d'accord
- Toutes les notes intermédiaires sont autorisées.

1. Mon acouphène m'empêche d'apprécier la vie _____
2. Mon acouphène empire avec les années _____
3. Mon acouphène me gêne pour me dire d'où viennent les sons _____
4. Pendant les réunions, mon acouphène m'empêche de suivre la conversation _____
5. J'évite les endroits bruyants à cause de mon acouphène _____
6. Quand je discute avec quelqu'un dans un endroit bruyant, mon acouphène me gêne pour comprendre ce qu'on me dit _____
7. Je suis mal à l'aise dans mes relations sociales à cause de mon acouphène _____
8. Le grand public ignore le caractère dévastateur des acouphènes _____
9. Mon acouphène m'empêche de me concentrer _____
10. Les acouphènes entraînent des problèmes familiaux _____
11. Mon acouphène me rend dépressif (ve) _____
12. Je trouve difficile d'expliquer aux autres ce qu'est un acouphène _____
13. L'acouphène provoque le stress _____
14. Mon acouphène m'empêche de relaxer _____
15. Je me plains plus à cause de mon acouphène _____
16. Mon acouphène me gêne pour m'endormir _____
17. Mon acouphène me donne une sensation de fatigue _____
18. Mon acouphène me donne un sentiment d'insécurité _____
19. Mon acouphène contribue à une sensation de mauvaise santé _____
20. Mon acouphène retentit sur la qualité de mes relations avec les autres _____
21. Mon acouphène a diminué ma capacité à comprendre ce qui se dit _____
22. Mon acouphène me donne un sentiment de contrariété _____
23. Quand je regarde la télévision, mon acouphène me gêne pour comprendre ce qui est dit _____
24. Mon acouphène me rend anxieux _____
25. Ma façon de voir concernant les acouphènes est saine _____
26. En ce qui concerne mon acouphène, mes amis me soutiennent moralement _____
27. Je me suis souvent frustré (e) à cause de mon acouphène _____

Mes acouphènes sur une échelle visuelle analogue.1

1. Sur une échelle de pas dérangeant à très dérangeant, barrez la ligne à l'endroit correspondant le mieux à votre acouphène **au cours de la dernière semaine.**

-  +

Pas dérangeant Très dérangeant

2. Sur une échelle de pas dérangeant à très dérangeant, barrez la ligne à l'endroit correspondant le mieux à votre acouphène **maintenant.**

-  +

Pas dérangeant Très dérangeant

3. Sur une échelle de très faible à très fort, barrez la ligne à l'endroit correspondant le mieux au niveau sonore de votre acouphène **au cours de la dernière semaine.**

-  +

Très faible Très fort

4. Sur une échelle de très faible à très fort, barrez la ligne à l'endroit correspondant le mieux au niveau sonore de votre acouphène **maintenant.**

-  +

Très faible Très fort

5. Sur une échelle de «aucunement sensible aux sons forts» à «très hypersensible aux sons forts», barrez la ligne à l'endroit correspondant le mieux à votre sensibilité auditive **au cours de la dernière semaine.**

-  +

Aucunement sensible aux sons forts Très hypersensible aux sons forts