

Université de Montréal

**Une méthode d'évaluation fiable pour mesurer les  
caractéristiques psychoacoustiques de l'acouphène**

par

Charles-Édouard Basile

Département des Sciences Biomédicales

Faculté de Médecine

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures

en vue de l'obtention du grade de M.Sc.

en sciences biomédicales

option générale

Septembre 2013

© Charles-Édouard Basile, 2013



## Résumé

Le diagnostic de l'acouphène repose sur le rapport verbal du patient. Cependant, les paramètres psychoacoustiques, tels que la hauteur et la sonie de l'acouphène, sont essentiels pour l'évaluation et pour discriminer les fausses plaintes. Quantifier le percept de l'acouphène reste un objectif de recherche important. Nous avons cherché à: (1) évaluer la précision d'une nouvelle méthode d'évaluation des acouphènes du type « *likeness rating* » avec une méthode de présentation continue de la hauteur, en considérant la formation musicale, et (2) vérifier si les mesures psychoacoustiques de l'acouphène ont la sensibilité et la spécificité pour détecter les personnes simulant un acouphène. Nous avons recruté des musiciens et des non-musiciens souffrant d'acouphènes et des simulateurs sans acouphènes. La plupart d'entre eux ont été testés une seconde fois quelques semaines plus tard. La hauteur de l'acouphène a d'abord été évaluée en utilisant la méthode « *likness rating* ». Des sons purs ont été présentés de manière aléatoire de 0.25 kHz à 16 kHz et les participants devaient coter la ressemblance de chaque son par rapport à leur acouphène, et en ajuster son volume de 0 à 100 dB SPL. La hauteur a ensuite été évaluée par une méthode, où les participants devaient appairier la hauteur de leur acouphène en déplaçant leur doigt sur une bande tactile générant des sons purs en continu de 0.5 kHz à 20 kHz par pas de 1 Hz. Les capacités à appairier des sons externes ont été évaluées en utilisant cet appareil. La hauteur prédominante de l'acouphène était similaire entre les deux méthodes pour les musiciens et les non-musiciens, bien que les musiciens montraient de meilleures capacités d'appariement face à des sons externes. Les simulateurs ont coté la sonie bien au-dessus que les autres groupes avec un grand degré de spécificité (94,4%), et ont été inconsistants dans l'appariement de cette sonie (pas de la hauteur) d'une session à une autre. Les données de la seconde session montrent des réponses similaires pour l'appariement de la hauteur pour les deux méthodes ainsi que pour tous nos participants. En conclusion, la hauteur et la sonie correspondent au percept de l'acouphène et doivent en plus être utilisées avec des échelles visuelles analogiques, qui sont plus corrélées avec la gêne et la détresse. Enfin, l'appariement de la sonie est sensible et spécifique à déterminer la présence de l'acouphène.

**Mots-clés :** Acouphène, hauteur, sonie, évaluation, simulateurs, habiletés musicales, psychoacoustiques

# Abstract

The diagnosis of tinnitus relies on self-report. Psychoacoustic measurements of tinnitus pitch and loudness are essential for assessing and discriminating true claims from false. For this reason, the quantification of tinnitus remains a challenging research goal. We aimed to: (1) assess the precision of a new tinnitus likeness rating procedure with a continuous pitch presentation method, controlling for music training, and (2) test whether tinnitus psychoacoustic measurements have the sensitivity and specificity required to detect people faking tinnitus. Musicians and non-musicians with tinnitus, and simulated malingerers without tinnitus were tested. Most were retested several weeks later. Tinnitus pitch matching was first assessed using the likeness rating method: Pure tones between 0.25 to 16 kHz were presented randomly to participants who had to rate the likeness of each tone to their tinnitus, and to adjust its loudness from 0 to 100 dB SPL. Tinnitus pitch matching was then assessed with a continuous pitch method. Participants had to match the pitch of their tinnitus by moving their finger across a touch sensitive strip, which generated a continuous pure tone from 0.5 to 20 kHz in 1 Hz step. Pitch matching abilities to external tones were assessed using this device. The predominant tinnitus pitch was consistent across the two methods for both musicians and non-musicians, although musicians displayed better external tone pitch matching abilities. Simulated malingerers rated loudness much above the other groups with a high degree of specificity (94.4%) and were unreliable in loudness (not pitch) matching from one session to the other. Retest data showed similar pitch matching responses for both methods for all participants. In conclusion, tinnitus pitch and loudness reliably corresponds to the tinnitus percept and psychoacoustic loudness matches are sensitive and specific to the presence of tinnitus. Furthermore, this novel method should be used along with visual analog scales, which are more correlated to mood and distress.

**Keywords** : Tinnitus, pitch, loudness, assessment, simulated malingerers, music training, psychoacoustics

# Table des matières

Résumé.....	i
Abstract.....	ii
Liste des tableaux.....	v
Liste des figures.....	vi
Remerciements.....	viii
1. Introduction générale.....	1
1.1. Position du problème.....	1
1.2. L’acouphène.....	1
1.2.1. Définition.....	1
1.2.2. Prévalence, étiologie et facteurs de risque.....	2
1.2.3. Évolution et complications possibles.....	4
1.3. Diagnostiquer l’acouphène : un but de recherche important.....	4
1.3.1. Objectivation d’une perception auditive fantôme.....	5
1.3.2. Déterminer la présence réelle d’un acouphène : l’importance des caractéristiques psychoacoustiques dans un diagnostic efficace.....	8
1.4. Objectif de la présente étude.....	9
2. Basile C-É, Fournier P, Hutchins S, Hébert S (2013) Psychoacoustic Assessment to Improve Tinnitus Diagnosis. PLoS ONE 8(12): e82995. doi:10.1371/journal.pone.0082995.	11
2.1. Abstract.....	12
2.2. Introduction.....	13
2.3. Methods.....	16
2.4. Results.....	24
2.5. Discussion.....	36
2.6. Acknowledgements.....	39
2.7. Author Contributions.....	39
4. Discussion générale.....	40
5. Conclusion.....	47
6. Bibliographie.....	48
ANNEXE 1 : Tinnitus Handicap Questionnaire (version française).....	i

ANNEXE 2 : Échelles visuelles analogues (VAS)..... ii

## Liste des tableaux

<b>Table 1:</b> Demographic characteristics (standard deviation) of musicians with tinnitus, non-musicians with tinnitus and simulated malingerers, at test (A) and retest (B).....	17
<b>Table 2:</b> Tinnitus likeness ratings and loudness matching differences (standard deviation) between test and retest for the three groups.....	28
<b>Table 3:</b> Psychoacoustic characteristics of tinnitus pitch and loudness (standard deviation) for musicians with tinnitus, non-musicians with tinnitus and simulated malingerers, at test (A) and retest (B) assessed by the likeness rating method.....	29
<b>Table 4:</b> Pitch matching values in kHz (standard deviation) for the three groups, at test (A) and retest (B) for both methods.....	31
<b>Table 5:</b> Pearson product-to-moment correlations of the inter-trials reliability of the tinnitus pitch matching using the slider for the three groups, at test (A) and retest (B).....	32
<b>Table 6:</b> Psychoacoustic characteristics of tinnitus (pitch, loudness) and psychological distress (VAS, THQ) (standard deviation) between reported tonal tinnitus and noise tinnitus.....	33
<b>Table 7:</b> Correlations among visual analog scales scores, Tinnitus Handicap Questionnaire scores, and psychoacoustic pitch and loudness.....	34

## Liste des figures

**Figure 1:** Instructions displayed on the touchscreen for performing tinnitus matching using the likeness rating method. Participants initiated a trial by pressing the green button. They had to rate how the tone contributed to their tinnitus on the 10-point scale. Then, they had to match its loudness by moving the gauge on the left side. When this was done, they could press the red button to initiate the next trial.....19

**Figure 2:** A schematic view of the tinnitus matching procedure using the slider. Each trial included three rounds. In the first round, the slider was set between 500 Hz and 20 kHz for all participants. In the second round, the range was limited to two octaves around the final tone chosen by the participant in round one (here two octaves around 8 kHz). Once the final tone was chosen in round two, the third round was further limited to one octave around this tone (here one octave around 8 kHz).....21

**Figure 3:** The tinnitus spectrum (gray dotted line) mirrors hearing loss for both musicians (A) and non-musicians (B). Pure-tone thresholds (black line) are reported for the right ear. All groups rated the predominant tinnitus pitch in the high frequencies (>8 kHz). For simulated malingerers (C), tinnitus loudness matching (clear line) is well above the one of tinnitus participants. Error bars represent the standard error of the mean.....25

**Figure 4:** Likeness ratings for the three groups. Simulated malingerers differed from tinnitus participants in the low frequency range (\* $p < .05$ ; \*\* $p < .01$ ). Error bars represent the standard error of the mean.....26

**Figure 5:** Differences in cents between target and matched frequencies using the slider for musicians, non-musicians, and simulated malingerers (test session). Error bars represent the standard error of the mean.....35



*À toutes ces personnes que l'on rencontre sur le  
chemin, et qui changent le cours d'une vie*

## Remerciements

Mes remerciements se tourneront dans un premier temps à ma directrice de recherche, Sylvie Hébert, professeure à l'école d'orthophonie et d'audiologie de l'Université de Montréal. Je ne saurais combien la remercier pour m'avoir accueilli dans son laboratoire à un moment crucial où je recherchais encore ma voie. Outre ses qualités irréprochables en tant que superviseuse de ma maîtrise, elle a toujours su faire preuve d'une grande humanité et d'encouragements qui ne peuvent laisser place à la déception. J'ai beaucoup appris avec elle au cours de ces deux dernières années sur mes capacités à m'investir, tant dans ma vie professionnelle que personnelle. Merci Sylvie.

J'adresse à présent mes remerciements les plus sincères à Philippe Fournier, audiologiste et candidat au grade de Ph.D. en sciences biomédicales à l'Université de Montréal. Sa pédagogie, ses conseils éclairés et son soutien moral font de lui un mentor des plus remarquable qu'un étudiant puisse souhaiter, en plus d'avoir une incroyable bonne humeur à partager. J'ai eu beaucoup de plaisir à travailler avec toi Phil et je te souhaite un bon parcours pour ton doctorat.

Merci aux membres du BRAMS avec qui j'ai pu partager des moments très divertissants pour sortir de la routine de nos travaux de recherche.

Je ne peux à présent oublier de remercier ma famille et plus particulièrement mes parents, Adel et Christine. Je ne saurais jamais vous remercier assez pour tout l'investissement et l'encouragement dont vous m'avez fait part pour chaque projet de ma vie que j'ai souhaité entreprendre. Sans vous, je n'en serais pas là. L'amour que vous me portez a toujours su me rendre plus vaillant, ambitieux et surtout fier d'être votre fils.

# **1. Introduction générale**

## **1.1. Position du problème**

L'acouphène, ou sifflement d'oreilles, est un symptôme commun qui affecte 15% de la population générale, et 1 à 2% en souffre grandement. En effet, ce son peut devenir très intrusif et affecter sérieusement la qualité de vie des personnes qui le ressentent continuellement. Pour cette raison et au vu de l'augmentation de sa prévalence au cours des dernières années, l'acouphène apparaît aujourd'hui comme un problème de santé publique majeur dans les pays industriels, motivant une forte demande de consultation médicale et psychologique. À ce jour, il n'existe aucun traitement pour enrayer ce symptôme de façon définitive. Une importante difficulté est que le diagnostic de l'acouphène repose sur le récit du patient. L'histoire de cas, de même que les nombreux questionnaires évaluant la sévérité du handicap avec la détresse associée sont les moyens utilisés pour quantifier l'impact psychologique d'un acouphène sur le quotidien de vie, mais ne disent rien sur le « percept » que constitue l'acouphène. Une évaluation psychoacoustique fiable déterminant le spectre fréquentiel de l'acouphène et la sonie correspondante apparaît donc comme un objectif de recherche actuel et extrêmement pertinent, non seulement pour assurer le suivi des patients, mais également pour évaluer l'efficacité des traitements appliqués, ainsi qu'aider les chercheurs dans l'avancement des connaissances scientifiques. Ce mémoire présentera un article de recherche dont le but était d'évaluer la validité et la fiabilité d'une méthode d'appariement psychoacoustique développée dans notre laboratoire pour définir la hauteur et la sonie de l'acouphène.

## **1.2. L'acouphène**

### **1.2.1. Définition**

L'acouphène est défini comme la perception consciente d'un son dans la tête ou les oreilles en l'absence de tout stimulus sonore à l'extérieur de l'organisme. Même si certains ne connaissent pas ce terme, beaucoup savent ce dont il s'agit, souvent par expérience

personnelle, et parlent alors de bourdonnements ou de sifflements d'oreilles. Ceux qui ressentent pour la première fois un acouphène ont souvent d'abord l'impression d'entendre un bruit extérieur par sa similitude avec des bruits connus, mais s'aperçoivent qu'il est interne car ils sont incapables de le localiser et surtout, ils sont les seuls à l'entendre. Les sons associés à l'acouphène sont souvent décrits comme des sifflements, des grésillements, des bruits de grillons, des vrombissements, des bruits de vent ou encore de chutes d'eau. Tout le monde peut être sujet à ressentir pendant un laps de temps très court un acouphène, souvent après une exposition prolongée à des bruits de fortes intensités (Gilles et al., 2012). Par contre l'acouphène n'est défini comme une entité « pathologique » que s'il apparaît à une fréquence d'une fois par semaine avec une durée supérieure à cinq minutes (Dauman & Tyler, 1992). Une première classification clinique a été apportée par Fowler en 1944 et qui divise l'acouphène en fonction de sa perception objective ou subjective (Evered & Lawrenson, 1981b). L'acouphène subjectif fait référence à la perception d'un son qui est perçu uniquement par le patient alors que l'acouphène objectif peut également être perçu par une tierce personne. Ce dernier type d'acouphène, décrit comme un bruit physiologique, est moins fréquent (Shulman, 1991) et souvent causé par un dysfonctionnement de la jointure temporo-mandibulaire ou issu d'un problème d'origine vasculaire au niveau de la tête dans laquelle une turbulence dans le flux sanguin peut devenir audible (De Ridder et al., 2010). Dans le présent mémoire, le terme acouphène décrira un acouphène de type subjectif.

### **1.2.2. Prévalence, étiologie et facteurs de risque**

On estime globalement que 10 à 20 % de la population générale souffrirait de ce symptôme de façon chronique ou du moins très fréquemment (Axelsson & Ringdahl, 1989; Fujii et al., 2011; Shargorodsky, Curhan, & Farwell, 2010). L'acouphène peut survenir à n'importe quel âge, mais sa prévalence est beaucoup plus importante au-delà de 50 ans, pouvant atteindre 30% (Sindhusake et al., 2003). Même si l'acouphène chez les enfants semble être une réalité (Savastano, 2007), la plupart des études épidémiologiques ont été menées chez les adultes de plus de 17 ans (Hoffman & Reed, 2004). Concernant la prévalence en fonction du sexe, l'acouphène est plus commun chez les hommes que chez les femmes (Demeester et al., 2007; Hébert et al., 2012), mais on rapporte une tendance inverse au-delà de

75 ans (Gopinath, McMahon, Rochtchina, Karpa, & Mitchell, 2010), possiblement dû à la durée de vie plus importante pour les femmes au-delà de cet âge.

La majorité des études qui ont évalué les caractéristiques liées à l'acouphène a démontré que les personnes souffrant de ce symptôme ont souvent une perte auditive associée (Dong-Kee et al., 2011; Martines et al., 2010), même lorsque celle-ci n'est pas détectée par les moyens cliniques habituels, c'est-à-dire par l'audiométrie tonale standard entre 250 Hz et 8 kHz (Roberts, Moffat, & Bosnyak, 2006; Shekhawat, Searchfield, & Stinear, 2014). La présence d'une perte auditive constitue dès lors le facteur de risque le plus important à l'apparition d'un acouphène (Savastano, 2008). Il n'est pas surprenant de constater que les classes professionnelles les plus touchées soient celles ayant une histoire d'exposition prolongée à des bruits de fortes intensités, comme les vétérans de guerre, les travailleurs industriels, et les musiciens professionnels (Folmer, McMillan, Austin, & Henry, 2011; Griest & Bishop, 1998; Jansen, Helleman, Dreschler, & de Laat, 2009). Les dommages sensoriels causés par cette exposition n'épargnent pas non plus les jeunes entre 20 et 30 ans, qui rapportent vivre l'expérience temporaire d'un acouphène après des concerts (Gilles et al., 2012).

Les étiologies de la perte auditive liées à l'acouphène, en plus du traumatisme sonore, restent très larges. L'acouphène peut apparaître à la suite du processus naturel de dégénérescence des cellules sensorielles auditives qui accompagne le phénomène de presbycusie (perte auditive en hautes fréquences liée à l'âge). Il peut être le symptôme d'un trouble de l'oreille moyenne (otite, otosclérose) ou interne (maladie de Ménière, compressions microvasculaires) y compris de certaines tumeurs du nerf auditif (neurinome de l'acoustique), du nerf vestibulaire (schwanome vestibulaire) ou de l'angle ponto-cérébelleux (Lockwood, Salvi, & Burkard, 2002). Certaines drogues pharmacologiques dites « ototoxiques » peuvent, quand elles sont administrées à trop fortes doses, générer un acouphène, comme par exemple l'acétylsalicylate ou la quinine (Ralli et al., 2010; Stolzberg, Salvi, & Allman, 2012), ainsi que le cisplatine, très utilisé dans le cas de traitement chimiothérapeutique (Dille et al., 2010). Certains acouphènes n'ont pas de causes identifiables et sont dits idiopathiques (Hsu et al., 2013), même s'il est probable qu'un dysfonctionnement du système auditif avec perte auditive cachée soit présent (Weisz, Hartmann, Dohrmann, Schlee, & Norena, 2006).

### **1.2.3. Évolution et complications possibles**

Le problème principal de l'acouphène est la gêne ressentie par les personnes qui le perçoivent continuellement. Même si les patients le décrivent comme un son extrêmement fort, plusieurs études ont démontré que lorsque son intensité perçue est comparée puis ajustée à un son externe, la sonie appariée est proche du seuil auditif à la fréquence testée (Hallam, Jakes, Chambers, & Hinchcliffe, 1985; Tyler & Conrad-Armes, 1983a). La sonie n'étant toutefois pas corrélée au dérangement qu'il produit dans le quotidien de vie du patient, il n'empêche que l'acouphène peut fortement interférer sur le bien-être des personnes par les problèmes d'anxiété (Lim, Lu, Koh, & Eng, 2010; Shargorodsky et al., 2010), de sommeil (Hébert & Carrier, 2007; Hébert, Fullum, & Carrier, 2011; Lasisi & Gureje, 2011; Pridmore, Walter, & Friedland, 2012), et de dépression qui lui sont associés, pouvant même conduire à des actes de suicide (Pridmore et al., 2012; Sindhusake et al., 2003). La prévalence de la gêne occasionnée motive l'intervention d'une prise en charge thérapeutique tant pour le domaine de la santé que celui de la recherche. En effet, d'après plusieurs études (Fioretti, Fusetti, & Elbnstein, 2013; Gopinath et al., 2010; Lim et al., 2010), au moins 70% des acouphéniques décrivent une gêne et une détresse émotionnelle et 20% d'entre eux peuvent être très sévèrement affectés par sa présence. Par conséquent, la gêne et la sévérité de l'acouphène sont le plus souvent évaluées en termes de symptômes d'ordre psychologique et émotionnel (Andersson, 2003; Figueiredo, Rates, de Azevedo, de Oliveira, & de Navarro, 2012) plutôt que par les caractéristiques psychoacoustiques de la sensation sonore perçue.

### **1.3. Diagnostiquer l'acouphène : un but de recherche important**

L'acouphène est un symptôme subjectif. Sans moyens objectifs pour vérifier sa présence, son diagnostic repose toujours sur le rapport verbal du patient, malgré une meilleure compréhension relative à ses mécanismes. En plus du rapport verbal, beaucoup de cliniciens tendent à se limiter à l'utilisation de questionnaires et d'échelles visuelles analogues (VAS) pour quantifier l'impact du handicap entraîné par le caractère intrusif. Cette situation est problématique pour deux raisons principales. Premièrement, le rapport verbal ou l'évaluation psychométrique ne renseigne en rien sur l'évolution du percept sonore de l'acouphène, surtout après le passage du temps ou d'une intervention thérapeutique. Deuxièmement, ces deux

moyens d'évaluation ne permettent pas au clinicien de confirmer avec exactitude sa présence, dans le cas où des personnes tenteraient délibérément de simuler ce symptôme lorsque des indemnités professionnelles seraient mises en jeu.

### **1.3.1. Objectivation d'une perception auditive fantôme**

Le percept de l'acouphène est évalué par des méthodes psychoacoustiques, qui permettent de définir la hauteur (corrélat perceptif de la fréquence), de la sonie (corrélat perceptif de l'intensité), le niveau de masquabilité et le temps d'inhibition résiduelle. Ces mesures constituent un test d'évaluation psychoacoustique standard suggéré par le symposium de la CIBA en 1981 (Evered & Lawrenson, 1981a). Cependant, 30 ans plus tard, les études évaluant l'efficacité des traitements applicables à l'acouphène continuent à n'utiliser que les questionnaires de handicap et les VAS. L'évaluation du caractère intrusif constitue pour le thérapeute une base dans le suivi longitudinal en vue de réduire la gêne associée (El Refaie et al., 2004). De nombreux questionnaires psychométriques validés sont disponibles pour évaluer les conséquences de l'acouphène sur le quotidien de vie du patient (Langguth, Searchfield, Biesinger, & Greimel, 2011). Parmi les plus utilisés, on retrouve le Tinnitus Handicap Inventory (THI) Newman, Jacobson, and Spitzer (1996), le Tinnitus Handicap Questionnaire (THQ) (Kuk, Tyler, Russell, & Jordan, 1990), le Tinnitus Reaction Questionnaire (TRQ) (Wilson, Henry, Bowen, & Haralambous, 1991), et le Tinnitus Questionnaire (TQ) (Hallam, Jakes, & Hinchcliffe, 1988), tous adaptés en version française. Les VAS sont également d'autres moyens d'évaluer la perception du patient sur son acouphène (Holgers, Barrenäs, Svedlund, & Zöger, 2003). Sur une ligne de 10 cm, généralement, le patient peut quantifier son acouphène selon l'intensité, la gêne ou l'attention qui lui est portée (Meikle, Stewart, Griest, & Henry, 2008). L'avantage de ces VAS est qu'ils sont faciles à comprendre, à reproduire, et rapides dans leur exécution. La plupart des cliniciens et des chercheurs tendent à utiliser leurs propres VAS dans lesquels ils peuvent inclure les points qu'ils considèrent importants. Les scores de ces échelles sont fortement corrélés avec l'humeur et l'état de détresse du patient plutôt qu'au percept lié à la hauteur et à la sonie (Joos, Vanneste, & De Ridder, 2012; Vanneste et al., 2013). Le percept et la détresse sont deux aspects différents, mais complémentaires dans la prise en charge du patient qui nécessitent leur propre outil d'évaluation. Aucune méthode d'évaluation psychoacoustique de

l'acouphène n'est à ce jour standardisée. Cependant, pouvoir diagnostiquer correctement ces caractéristiques reste un objectif de recherche important puisque le but ultime d'un traitement est non seulement de diminuer la détresse, mais aussi de pouvoir réduire « au silence » se son (Langguth et al., 2007).

Les principales méthodes d'appariement appliquées pour définir la hauteur cherchent à identifier une seule fréquence prédominante, par un choix forcé entre deux alternatives ou par une méthode d'ajustement (Burns, 1984; Henry, Fausti, Flick, Helt, & Ellingson, 2000; Henry, Flick, Gilbert, Ellingson, & Fausti, 2001; König, Schaette, Kempter, & Gross, 2006; Martines et al., 2010; Mitchell, Vernon, & Creedon, 1993; Moore, Vinay, & Sandhya, 2010; Nageris, Attias, & Raveh, 2010; Newman, Wharton, Shivapuja, & Jacobson, 1994; Pan et al., 2009; Penner & Bilger, 1992; Penner & Klafter, 1992; Penner & Saran, 1994; Savastano, 2008; Schecklmann et al., 2012; Shekhawat et al., 2014; Tyler & Conrad-Armes, 1983b; Vernon & Meikle, 2003; Ward & Baumann, 2009). Un des inconvénients majeurs de ce type de méthode est qu'il est souvent difficile pour un patient décrivant un acouphène de type bruyant ou composé de plusieurs tonalités de pouvoir identifier aisément une fréquence. D'autre part, même si ces méthodes ont révélé que la fréquence de l'acouphène se situe dans la région de la perte auditive, beaucoup d'études se sont limitées à l'évaluation psychoacoustique sur les fréquences audiométriques standard (0.25 à 8 kHz) réduisant probablement la détermination de la hauteur exacte de l'acouphène. La reproductibilité de la hauteur a montré des degrés de variabilité importants d'une mesure à une autre, ce qui ne permet pas de la considérer comme fiable lors du diagnostic. Plus récemment, de nouvelles méthodes ont été appliquées dans le diagnostic psychoacoustique de l'acouphène (Fournier & Hébert, 2013; Heijneman, de Kleine, Wiersenga-Post, & van Dijk, 2013; Kay, Searchfield, Coad, & Koyabashi, 2008; Moffat et al., 2009; Noreña, Micheyl, Chéry-Croze, & Collet, 2002; Roberts, Moffat, Baumann, Ward, & Bosnyak, 2008; Roberts et al., 2006; Sereda et al., 2011; Weisz et al., 2006; Zhou, Henin, Long, & Parra, 2011). Plutôt que de décrire un percept unique, ces méthodes dites de ressemblance (*likeness rating methods*), évaluent la ressemblance de plusieurs fréquences sur une échelle numérique (p.ex. 0-10) par rapport à l'acouphène perçu par le patient, et ce bien au-delà de 8 kHz. La cotation de cette ressemblance en fonction de la fréquence permet d'obtenir alors un large spectre fréquentiel décrivant l'acouphène. Récemment, cette notion de



spectre a apporté de nouveaux concepts sur les mécanismes neurophysiologiques de l'acouphène (Noreña et al., 2002). En effet, les résultats obtenus avec une méthode « *likeness rating* » ont montré que l'acouphène est constitué d'un spectre de plusieurs fréquences dont la bande est le miroir du profil audiométrique de la perte auditive (Noreña et al., 2002; Roberts et al., 2008). Toutefois, il reste difficile de savoir si cette méthode d'évaluation par ressemblance peut fournir une estimation précise de la hauteur prédominante de l'acouphène. À notre connaissance, aucune étude n'a évalué la corrélation entre une méthode n'évaluant qu'une seule fréquence prédominante avec une méthode évaluant tout le spectre de l'acouphène. Sachant par ailleurs que certaines études ont démontré des degrés variables dans la mesure de la hauteur entre différentes sessions (Henry et al., 2000; Henry et al., 2001; Mitchell et al., 1993; Nageris et al., 2010), il semblerait que les méthodes de type « *likeness rating* » offrent une certaine reproductibilité dans la mesure du spectre fréquentiel (Roberts et al., 2008). Les méthodes d'évaluation par ressemblance pourraient devenir un outil d'évaluation fiable pour établir un diagnostic précis de la hauteur. Toutefois cette reproductibilité n'a été évaluée que sur une période d'un mois et il serait pertinent d'évaluer la stabilité de la mesure sur des sessions plus espacées. Cette stabilité prend toute son importance dans l'application d'un suivi longitudinal fiable du percept lors de la prise en charge et dans l'évaluation de l'efficacité des traitements à moyen ou long terme.

Une des causes possibles de la variabilité test-retest pour l'appariement de l'acouphène en hauteur pourrait être due à la formation musicale. En effet les musiciens ont des habiletés de discrimination en fréquence très supérieures à celles de non-musiciens (Micheyl, Delhommeau, Perrot, & Oxenham, 2006; Zarate, Ritson, & Poeppel, 2012). Cependant, on ne sait pas si la précision de discrimination d'un son externe est comparable à l'appariement d'une sensation sonore interne telle que l'acouphène. Si tel était le cas, les patients avec acouphènes pratiquant de la musique pourraient influencer la variabilité présente de la mesure de la hauteur dans la population clinique. Aujourd'hui, aucune étude, quelque soit la méthode d'appariement utilisée, n'a tenté de répondre à cette question.

Un deuxième paramètre de l'évaluation psychoacoustique de l'acouphène est sa sonie, ou intensité perçue. Plusieurs études ont démontré que cette intensité subjective était inférieure à 15 dB Sensation Level (SL) au-dessus de seuil auditif (Martines et al., 2010; Newman et al.,

1994; Tyler & Conrad-Armes, 1983a). Le dB SL représente la différence d'intensité entre le seuil auditif à une fréquence donnée (mesuré en dB HL ou SPL) et l'intensité perçue de l'acouphène. La reproductibilité de cette mesure a montré de bons résultats entre les sessions avec une méthode par choix forcé avec une variabilité inférieure à 5 dB (Fournier & Hébert, 2013; Henry, Flick, Gilbert, Ellingson, & Fausti, 1999; Henry et al., 2009; Henry, Rheinsburg, & Ellingson, 2004; Mitchell et al., 1993; Nageris et al., 2010; Roberts et al., 2008), mais certaines études ont observé beaucoup plus de variabilité (Burns, 1984; Henry, Rheinsburg, Owens, & Ellingson, 2006; Penner & Bilger, 1992) posant ainsi la question de la validité de cette mesure dans le diagnostic. Ce paramètre reste néanmoins important depuis que plusieurs études ont tenté de trouver un corrélat entre la sonie perçue (dB SL) avec la gêne et la détresse émotionnelle causée par le handicap de l'acouphène. Cependant les corrélations observées restent faibles et non significatives (Andersson, 2003; Figueiredo et al., 2012). Aucune étude n'a toutefois observé la reproductibilité de la sonie avec une méthode de ressemblance. Il est possible que l'évaluation du spectre sur plusieurs fréquences, offrant au patient plus d'opportunités pour juger l'intensité de son acouphène, rende l'appariement plus fiable.

### **1.3.2. Déterminer la présence réelle d'un acouphène : l'importance des caractéristiques psychoacoustiques dans un diagnostic efficace**

Un des problèmes majeurs du rapport verbal dans le diagnostic de l'acouphène est qu'il ne prouve en rien la présence réelle du symptôme et il n'existe pas de tests objectifs qui puissent prouver l'existence de l'acouphène. Cependant, une méthode spécifique et sensible pour discriminer les personnes qui simuleraient délibérément un acouphène semble nécessaire. Il n'est pas rare que des compensations financières soient mises en jeu, pour des traumatismes sonores causés par le plein exercice d'une profession ayant entraîné une perte auditive et aussi un acouphène. Par exemple, les indemnités d'invalidité pour cause d'acouphènes (en plus de la perte auditive) octroyées par le U.S. Department of Veteran Affairs ont dépassé 1,2 milliard de dollars en 2009 et continuent d'augmenter (Yankaskas, 2013). La rémunération offerte au personnel militaire pour symptôme d'acouphène est basée sur ce rapport verbal. Depuis peu, l'acouphène est considéré comme étant problème économique substantiel dans les sociétés occidentales (Maes, Cima, Vlaeyen, Anteunis, & Joore, 2013). Quelques études ont tenté de

déterminer quel paramètre psychoacoustique entre la hauteur et la sonie, était capable de différencier des personnes avec acouphènes de ceux qui en ont pas (Henry et al., 2009; Henry et al., 2006; Jacobson, Henderson, & McCaslin, 2000; Mitchell et al., 1993). Certaines d'entre elles ont constaté que les participants sans acouphènes (chargés d'imaginer qu'ils avaient un acouphène) avaient tendance à avoir une hauteur plus grave que les participants avec acouphènes évalués par une méthode d'ajustement (Henry et al., 2009; Henry et al., 2006). Ces résultats n'ont jamais été comparés avec une méthode par ressemblance. Concernant la sonie, les études ont rapporté des données contradictoires. Une étude a montré un niveau en SL plus faible et une meilleure reproductibilité de la mesure d'une session à une autre chez les participants qui simulaient un acouphène (Henry et al., 2006). Une autre étude a montré une plus grande sonie en dB SPL pour les simulateurs, mais aucune différence en dB SL comparée aux participants avec acouphènes (Henry et al., 2009) Une dernière a rapporté une sonie plus importante en dB SL pour les simulateurs (Jacobson et al., 2000). Le manque d'un protocole standard pour mesurer les caractéristiques psychoacoustiques ne peut permettre de savoir quel paramètre est sensible et spécifique à la présence réelle d'un acouphène. Aucun protocole basé sur une méthode « *likeness rating* » n'a tenté de détecter les simulateurs d'acouphènes.

#### **1.4. Objectif de la présente étude**

L'article de recherche présente une étude menée dans le but d'évaluer la fiabilité d'une méthode d'appariement développée dans notre laboratoire pour définir la hauteur et la sonie de l'acouphène. Cette méthode de type « *likeness rating* », consistait à évaluer la ressemblance de fréquences comprises entre 0.25 et 16 kHz au percept de l'acouphène pour obtenir son spectre fréquentiel. Cinquante participants ont donné leur consentement éclairé et pris part à notre étude. Trente-deux présentaient un acouphène chronique tandis que dix-huit n'avaient pas d'acouphènes. Ces dix-huit participants appelés « *simulated malingerers* » dans l'article, devaient simuler un acouphène pour déterminer quel paramètre psychoacoustique les différencierait des participants avec acouphènes. Les simulateurs devaient déjà avoir vécu l'expérience temporaire d'un acouphène pour se remémorer cette perception et pouvoir effectuer les tâches d'appariement. Dans l'objectif d'estimer précisément la hauteur prédominante de l'acouphène à travers le spectre fréquentiel, notre méthode a été comparée à

un outil (le « *slider* ») où les participants pouvaient ajuster et déterminer, sur une bande tactile générant un son pur continu, la fréquence de leur acouphène avec une précision qui pouvait aller au Hertz près et couvrant la gamme audible humaine. Les participants avec acouphènes ont été séparés entre un groupe de 16 musiciens et un groupe de 16 non-musiciens afin d'examiner la contribution de la formation musicale dans les capacités d'appariement de la hauteur. Les capacités à apparier des sons externes ont d'abord été évaluées entre les musiciens, les non-musiciens et les simulateurs avec le « *slider* ». Afin de vérifier la fiabilité des résultats obtenus avec la méthode « *likeness rating* », la majorité des participants de chaque groupe (musiciens avec acouphènes, non-musiciens avec acouphènes, et simulateurs) a été évaluée une seconde fois. La version française du THQ (ANNEXE 1) a été utilisée pour évaluer le handicap lié à l'acouphène ainsi que des échelles visuelles analogues (VAS; ANNEXE 2). Les scores obtenus ont été comparés entre eux et avec les caractéristiques psychoacoustiques.

Les hypothèses suivantes ont été posées :

- le plus haut score de cotation sur l'échelle de ressemblance (0-10) obtenu avec la méthode « *likeness rating* » correspondra à la fréquence prédominante quand celle-ci sera comparée avec la fréquence rapportée avec le « *slider* »
- les musiciens auront de meilleures capacités à apparier des sons externes et seront plus cohérents dans la description de la hauteur prédominante constituant leur acouphène (c'est-à-dire, ils auront une meilleure fiabilité test-retest)
- la méthode « *likeness rating* » sera sensible et spécifique à discriminer les simulateurs d'acouphènes sur la base des caractéristiques psychoacoustiques
- Les participants avec acouphènes démontreront une grande fiabilité test-retest dans les mesures de la hauteur et de la sonie entre les sessions, en comparaison des simulateurs
- Les scores du THQ et des VAS seront corrélés entre eux, mais non avec la hauteur et la sonie de l'acouphène.

**2. Basile C-É, Fournier P, Hutchins S, Hébert S (2013)  
Psychoacoustic Assessment to Improve Tinnitus Diagnosis.  
PLoS ONE 8(12): e82995.  
doi:10.1371/journal.pone.0082995**

\*Charles-Édouard Basile <sup>1,2,3</sup>

\*Philippe Fournier <sup>1,2,3</sup>

Sean Hutchins <sup>2</sup>

Sylvie Hébert <sup>1,2,3</sup>

1- School of Speech Pathology and Audiology, Faculty of Medicine, Université de Montréal, C.P.6128, succursale Centre-Ville, Montréal, Québec, Canada H3C 3J7

2- BRAMS, International Laboratory for Research on Brain, Music, and Sound, Université de Montréal, C.P.6128, succursale Centre-Ville, Montréal, Québec, Canada H3C 3J7

3- CRIUGM, Centre de Recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal, 4545 Queen-Mary, Montréal, Québec, Canada H3W 1W5

\* Both authors contributed equally.

## 2.1. Abstract

The diagnosis of tinnitus relies on self-report. Psychoacoustic measurements of tinnitus pitch and loudness are essential for assessing claims and discriminating true from false ones. For this reason, the quantification of tinnitus remains a challenging research goal. We aimed to: (1) assess the precision of a new tinnitus likeness rating procedure with a continuous pitch presentation method, controlling for music training, and (2) test whether tinnitus psychoacoustic measurements have the sensitivity and specificity required to detect people faking tinnitus. Musicians and non-musicians with tinnitus, and simulated malingerers without tinnitus were tested. Most were retested several weeks later. Tinnitus pitch matching was first assessed using the likeness rating method: pure tones between 0.25 to 16 kHz were presented randomly to participants who had to rate the likeness of each tone to their tinnitus, and to adjust its level from 0 to 100 dB SPL. Tinnitus pitch matching was then assessed with a continuous pitch method : participants had to match the pitch of their tinnitus by moving their finger across a touch sensitive strip, which generated a continuous pure tone from 0.5 to 20 kHz in 1 Hz steps. The predominant tinnitus pitch was consistent across the two methods for both musicians and non-musicians, although musicians displayed better external tone pitch matching abilities. Simulated malingerers rated loudness much above the other groups with a high degree of specificity (94.4%) and were unreliable in loudness (not pitch) matching from one session to the other. Retest data showed similar pitch matching responses for both methods for all participants. In conclusion, tinnitus pitch and loudness reliably corresponds to the tinnitus percept and psychoacoustic loudness matches are sensitive and specific to the presence of tinnitus.

Keywords: Tinnitus, pitch, loudness, assessment, simulated malingerers, music training, psychoacoustics

## 2.2. Introduction

The diagnosis of tinnitus relies exclusively on patient self-report and various subjective questionnaires (de Azevedo, Langguth, de Oliveira, & Figueiredo, 2009; El Refaie et al., 2004; Holgers et al., 2003), thus precluding objective assessment of the progression of the tinnitus percept (with time or therapeutic intervention) and identification of physiological tinnitus at an acceptable level of specificity. As a consequence, much effort has been devoted to devise psychoacoustic measures based on pitch and loudness matching.

### *Pitch matching*

Most conventional studies on tinnitus pitch matching designed to identify a single predominant frequency (often described as tonal tinnitus) using either a forced-choice paradigm or a method of adjustment (Burns, 1984; Henry et al., 2000; Henry et al., 2001; Henry et al., 2004; Karatas & Deniz, 2011; König et al., 2006; Martines et al., 2010; Mitchell et al., 1993; Moore et al., 2010; Nageris et al., 2010; Newman et al., 1994; Pan et al., 2009; Penner & Bilger, 1992; Penner & Klafater, 1992; Penner & Saran, 1994; Savastano, 2008; Schecklmann et al., 2012; Shekhawat et al., 2014; Tyler & Conrad-Arnes, 1983b; Vernon & Meikle, 2003; Ward & Baumann, 2009), show that the perceived predominant pitch falls within the frequency band of the hearing loss (Martines et al., 2010; Newman et al., 1994; Savastano, 2008; Schecklmann et al., 2012; Shekhawat et al., 2014). Because these methods have shown variable degrees of test-retest reliability (Henry et al., 2000; Henry et al., 2001; Mitchell et al., 1993; Nageris et al., 2010) pitch matching is generally not deemed a good parameter for treatment outcome (Langguth et al., 2007). Recent studies used a patient-directed approach with a likeness rating scale (Fournier & Hébert, 2013; Heijneman et al., 2013; Kay et al., 2008; Moffat et al., 2009; Noreña et al., 2002; Roberts et al., 2008; Roberts et al., 2006; Sereda et al., 2011; Weisz et al., 2006; Zhou et al., 2011) in which the participants rate the likeness of every frequency (0.25 to 16 kHz by half octave steps) to their tinnitus, thereby defining a tinnitus spectrum. The likeness rating method showed that tinnitus is composed of a wide frequency bandwidth mirroring the hearing loss region (Heijneman et al., 2013; Kay et al., 2008; Moffat et al., 2009; Noreña et al., 2002; Roberts et al., 2008; Sereda et al., 2011; Zhou et al., 2011) even when no hearing loss is found at standard audiometric

frequencies (0.25 to 8 kHz) (Fournier & Hébert, 2013; Weisz et al., 2006). However, it remains unclear whether the likeness rating technique, which involves a discrete mode of presentation, can provide an accurate estimate of the predominant pitch compared to when only one pitch is matched, such as in the continuous pitch paradigm proposed herein. A first goal of this study was to introduce a new patient-directed tinnitus likeness rating procedure and compare its precision with a continuous pitch presentation method, while controlling for participants' musical expertise. Moreover, we conducted test-retest trials to establish the method's reproducibility.

### *Loudness matching*

When tinnitus loudness is estimated by adjusting the volume of a single external pure tone to the loudness of the predominant tinnitus pitch, it usually ranges from 5 to 15 dB Sensation Level, or dB SL, even though patients subjectively describe their tinnitus as being very loud (Hallam et al., 1985; Newman et al., 1994; Tyler & Conrad-Armes, 1983a). Some studies have shown good loudness test-retest reliability over a period ranging from several days (Henry et al., 2000; Henry et al., 1999; Henry et al., 2009; Henry et al., 2004; Mitchell et al., 1993; Roberts et al., 2008) to several months (Fournier & Hébert, 2013; Nageris et al., 2010) with less than 5 dB difference between sessions, whereas other studies have reported greater variability (Burns, 1984; Henry et al., 2006; Penner & Bilger, 1992), putting into question the validity of this measure for tinnitus diagnosis and follow-up. Herein, we investigate the proposition that the assessment of frequency likeness ratings over the entire frequency span will increase the reliability of loudness judgments by providing participants with several opportunities to judge tinnitus loudness.

### *Differentiating true from false tinnitus*

There is currently no measure that discriminates true from false claims of tinnitus at an adequate level of specificity. Since the economical burden of tinnitus to society is substantial (Maes et al., 2013), it is surprising that very few studies have attempted to address whether psychoacoustic measures such as pitch and loudness are effective criteria for detecting tinnitus simulation (Henry et al., 2009; Henry et al., 2013; Henry et al., 2006; Jacobson et al., 2000). Regarding pitch matching, studies reported lower tinnitus pitch matches for simulated



malingers, that is, participants instructed to pretend that they had tinnitus (Henry et al., 2009; Henry et al., 2013; Henry et al., 2006). Regarding loudness matching, studies reported *lower* dB SL matches (Henry et al., 2006), *higher* dB SPL but *no different* dB SL (Henry et al., 2009), or *higher* dB SL matches for simulated malingerers (Jacobson et al., 2000). Low frequency loudness matches were found to be the most predictive value for the presence or absence of tinnitus (Henry et al., 2013). A final goal was therefore to examine whether pitch and loudness tinnitus matching can detect people without tinnitus.

Summarizing our method and objectives, we used a new participant-directed likeness rating method to match tinnitus pitch and loudness over a wide frequency spectrum (from 0.25 to 16 kHz). We tested two groups of tinnitus participants with different levels of musical training (musicians and non-musicians), as well as a group of simulated malingerers who feigned tinnitus, and we compared external pitch matching ability performances across groups. Predominant tinnitus pitch obtained with the likeness ratings was compared to a method using a single continuous pitch. Pitch and loudness ratings at the predominant tinnitus pitch were used as predictors to address participants' sensitivity and specificity for tinnitus presence or absence. Finally, test-retest reliability was assessed after a delay of several months to test for reproducibility of findings, stability of the tinnitus percept, and suitability for treatment outcome.

## 2.3. Methods

### Participants

A total of 50 participants were recruited through newspaper and online ads, and word of mouth. They were either musicians (n=16) or non-musicians (n=16) with tinnitus, or tinnitus simulated malingerers (n=18), that is, individuals without tinnitus instructed to simulate this sound perception with the intention of convincing the experimenter that they have tinnitus. Simulated malingerers had to have had previous experience of transient tinnitus, lasting no longer than one day and not in the month prior to the testing so that they could rely on this past experience to fake tinnitus. Musicians were selected on the criterion of having at least three years of formal musical training (mean= 10 years  $\pm$  5.5); otherwise, they were considered as non-musicians (mean= 0.13 year  $\pm$  0.5). Tinnitus in both groups had to be continuously present for at least six months (mean for musicians = 10.6  $\pm$  7 years; mean for non-musicians = 11.3  $\pm$  11 years). Exclusion criteria were having more than a moderate hearing loss at any standard audiometric frequency in either ear ( $>55$  dB HL for 0.25 to 8 kHz), uncontrolled medical conditions, outer and middle ear pathology, or heavy smoking ( $>10$  cigarettes/day). The participant's relevant sociodemographic characteristics are summarized in Table 1 (A). Overall, at standard frequencies (0.25 to 8 kHz) non-musicians had higher hearing thresholds in the right ear than did simulated malingerers but not than musicians. Non-musicians had also higher thresholds than musicians and simulated malingerers in the left ear, but the last two did not differ. At very high frequencies (9 to 16 kHz), non-musicians had higher thresholds than did both musicians and simulated malingerers, and the last two also differed from one another. More than half of the participants in each group - nine musicians, nine non-musicians, and ten simulated malingerers - were retested some weeks later (mean of 25 weeks  $\pm$  13). All tinnitus participants confirmed that their tinnitus was essentially unchanged across sessions. Relevant sociodemographic characteristics of the retest participants are summarized in Table 1 (B). Overall, hearing thresholds were significantly higher for both musicians and non-musicians than for simulated malingerers.

The study has been approved by the Ethical Committee of Université de Montréal and all participants gave their written informed consent.

**Table 1: Demographic characteristics (standard deviation) of musicians with tinnitus, non-musicians with tinnitus and simulated malingerers, at test (A) and retest (B).**

<b>A</b>	<b>Musicians</b>	<b>Non-musicians</b>	<b>S.malingerers</b>	<b>p-Value</b>
N	16	16	18	
Sex (Male/Female)	13/3	9/7	7/11	.014
Age in years	33 (9.9)	43 (8.5)	23 (2.0)	<.001
Education level in years	19 (3.2)	17 (2.2)	17 (1.9)	n.s.
Tinnitus like (Tonal/Noise)	11/5	13/3	14/4	n.s.
Tinnitus ear (Left/Right/Central)	3/1/12	1/1/14	1/4/13	n.s.
THQ Handicap Total Score in %	17.4 (12.6)	34.5 (17.2)	43.3 (21.4)	<.001
PTA Standard left ear	8.9 (1.7)	16.3 (1.7)	4.2 (1.6)	<.001
PTA Standard right ear	9.1 (1.6)	14.5 (1.6)	3.9 (1.5)	<.001
PTA VH left ear	19.7 (3.8)	34.0 (3.8)	3.1 (3.6)	<.001
PTA VH right ear	20.3 (3.8)	35.9 (3.8)	5.0 (3.6)	<.001
<b>B</b>	<b>Musicians</b>	<b>Non-Musicians</b>	<b>S.malingerers</b>	<b>p-Value</b>
N	9	9	10	
Sex (Male/Female)	8/1	5/4	4/6	.033
Age in years	37 (10.5)	41 (8.2)	23 (2.0)	<.001
Education level in years	20 (3.8)	17 (1.6)	18 (2.4)	n.s.
Tinnitus like (Tonal/Noise)	5/4	7/2	8/2	n.s.
Tinnitus ear (Left/Right/Central)	1/1/7	1/0/8	0/2/8	n.s.
THQ Handicap Total Score in %	14.4 (8.6)	33.4 (17.3)	39.9 (23.9)	.012
PTA Standard left ear	9.4 (2.1)	11.3 (2.1)	5.8 (2.0)	.02
PTA Standard right ear	11.8 (2.2)	12.2 (2.2)	5.7 (2.1)	n.s.
PTA VH left ear	26.0 (5.0)	25.0 (5.0)	4.2 (4.7)	.002
PTA VH right ear	30.3 (5.3)	32.0 (5.3)	5.0 (5.0)	<.001

Pure-tone average for standard frequencies (PTA Standard, from 0.25 kHz to 8 kHz) and for very-high frequencies (PTA VH, from 9 kHz to 16 kHz) are in dB HL.

## **Materials and Procedure**

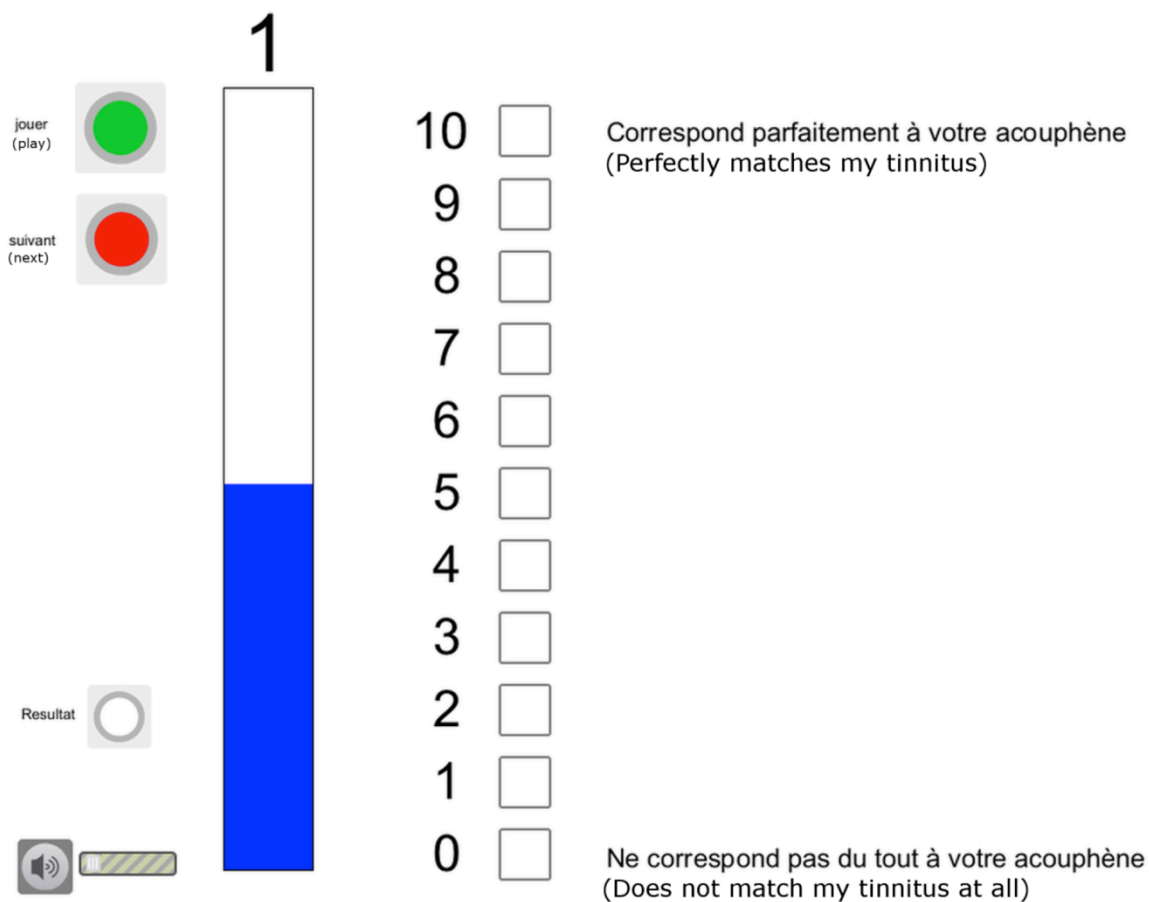
### *Hearing test*

Hearing detection thresholds were assessed monaurally from 0.25 to 8 kHz in each ear in half-octave steps by a clinical audiologist using the standard modified Hughson-Westlake up-down procedure (Schlauch & Nelson, 2009) with a AC-40 clinical audiometer (Interacoustics, Assens, Denmark) and ER-3A insert earphones (Aero Compagny Auditory Systems, Indianapolis, IN, USA). In addition, very high-frequency thresholds (9 to 16 kHz) were also assessed monaurally in each ear using Sennheiser HDA-200 supra-aural headphones (Sennheiser electronic GmbH & Co., Wedemark, Germany). The audiometric equipment was calibrated in a soundproof booth using the ANSI S3.6-2004 standard norms. An otoscopic examination was performed before each hearing test to rule out earwax compaction or middle ear infection.

### *Tinnitus matching with the likeness rating method*

The likeness rating method (described in (Fournier & Hébert, 2013)) is a custom-made program running under Max/MSP software (Cycling 74, San Francisco, USA) controlling a visual interface implemented in a computer touchscreen (Élo TouchSystems, Menlo Park, CA). Stimuli were one-second pure tones ranging from 0.25 to 16 kHz (the same frequencies as in the hearing test) generated by a Fireface sound card (RME, Haimhausen, Germany) and presented binaurally using closed dynamic headphones “DT 770 Pro/250” (Beyerdynamic, Heilbronn, Germany). Participants sat in a soundproof booth in front of the touchscreen and initiated the presentation of a pure tone by pressing a green button (“Play”) on the screen (Figure 1). They first rated the likeness of the tone to their tinnitus pitch on a Likert-type scale where 0 = does not match my tinnitus at all and 10 = perfectly matches my tinnitus. During the same trial, they matched the loudness of the tone, that is, the sound level at which that specific frequency contributed to their tinnitus, by moving a visual gauge that increased and decreased the sound level in 1 dB steps, from 0 to 100 dB SPL. The program allowed participants to play each pure tone as many times as needed. When pitch and loudness matches were done, participants pressed a red button (“Next”) to initiate the following trial. Each specific pure tone was presented three times in a pseudo-random order such that no two identical

frequencies were presented in a row. Two pure tones of 600 Hz and 5 kHz were presented before and served as practice trials. Headphones were calibrated before each session with a SoundPro SE/DL sound level meter using a QE-4170 microphone model (Quest Technologies, Oconomowoc, Wis., USA) and an EC-9A 2cc ear coupler (Quest Electronics, Oconomowoc, Wis., USA).



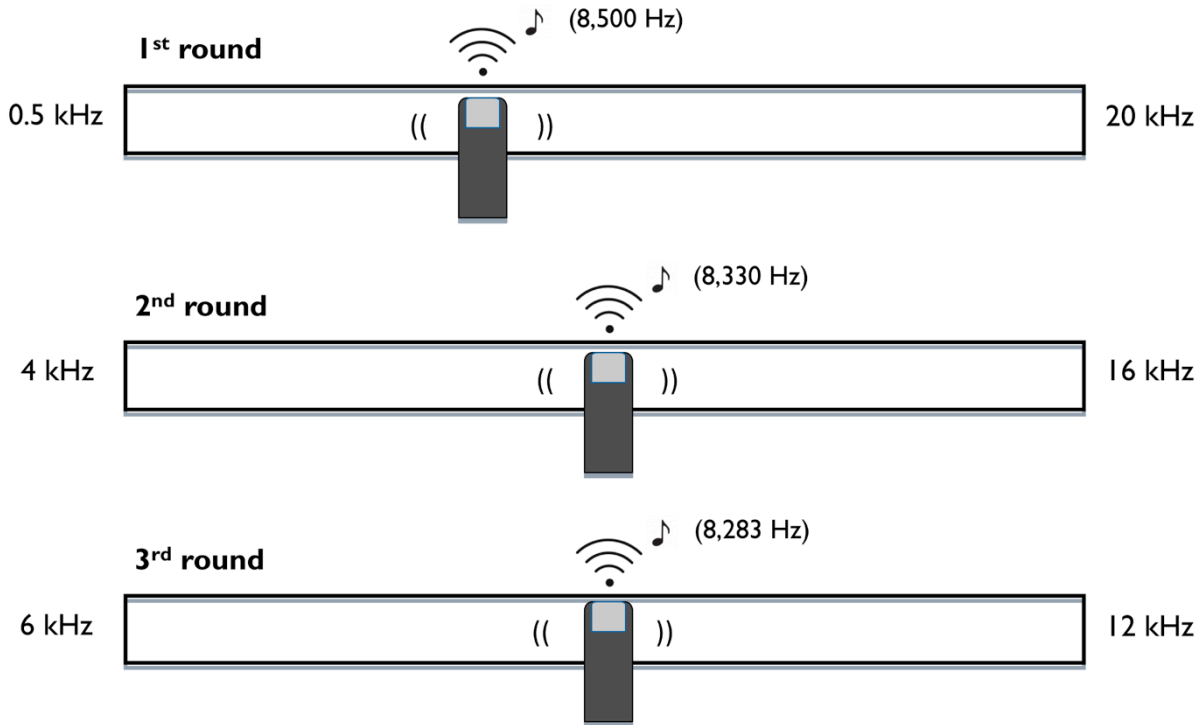
**Figure 1:** Instructions displayed on the touchscreen for performing tinnitus matching using the likeness rating method. Participants initiated a trial by pressing the green button. They had to rate how the tone contributed to their tinnitus on the 10-point scale. Then, they had to match its loudness by moving the gauge on the left side. When this was done, they could press the red button to initiate the next trial.

### *Tinnitus matching with the slider method*

The slider method, described in a previous study (Hutchins & Peretz, 2012) was used to validate the precision of the likeness rating method and involved tinnitus pitch matching using a continuous pitch presentation. Responses were made on a simple device called a slider, two superposed touch-sensitive strips, with the ability to sense pressure and position (Infusion System, Montreal, Canada). These 50 cm strips were mounted on a hard surface, inset between two plastic bars. The slider sent a 10-bit midi signal to indicate the position of the participant's finger presses that was converted into a sine wave by Max/MSP. The frequency of the slider's output was determined by the position of the participant's finger press, such that lower tones were created by pressing on the slider's left side, and higher tones by pressing on the slider's right side. The range of the slider was fixed for each individual trial, but could be changed between trials. The frequency associated with each position of the slider was based on an exponential curve, such that octaves and semitones were always equidistant in both directions (similar to how tones are arranged on a piano). Although the slider's output is fundamentally quantized by the position, in practice the 1024 available positions are so close together (~.5 mm per position) that the resulting frequency output is perceived as changing continuously when the finger moves between positions. Participants heard the tones generated by a Fireface sound card through DT 770 Pro headphones, and the sound level was adjusted at a comfortable level for each participant by the experimenter.

Participants initiated the tinnitus matching trials by pressing the space bar on a keyboard, and they were asked to use the slider to match the pitch of their tinnitus. There were three trials of tinnitus matching, with each trial subdivided into three different rounds (see Figure 2). In the first round, the range of the slider was set between 500 Hz and 20 kHz, to capture the entire possible range of a participant's tinnitus. Participants were instructed to find the pitch on the slider that best matched their tinnitus, and to save their final response and initiate the following round by pressing the space bar. In the second round, the range was limited to two octaves around the final tone chosen in round one, which was centered on the slider, and participants were again instructed to find the best match for their tinnitus. Once this was chosen, the range in the third round was limited to one octave around the final tone chosen in round two, and the tone was once again centered on the slider. This procedure was intended to

allow participants to match their tinnitus pitch as specifically as possible, up to 1 Hz precision, while still giving the entire range to draw from.



**Figure 2:** A schematic view of the tinnitus matching procedure using the slider. Each trial included three rounds. In the first round, the slider was set between 500 Hz and 20 kHz for all participants. In the second round, the range was limited to two octaves around the final tone chosen by the participant in round one (here two octaves around 8 kHz). Once the final tone was chosen in round two, the third round was further limited to one octave around this tone (here one octave around 8 kHz).

#### *Pitch matching abilities assessment*

Using the slider, the ability to match pitches to external tones was assessed. Target tones were set at 0.5 kHz, 2 kHz, 6 kHz, and 14 kHz, to cover most of the range of typical hearing, and were played a sine wave as well. The task began when the participant pressed the space bar on a keyboard. The target tone was played continuously through DT 770 Pro headphones,

and participants were instructed to match it as closely as possible on the slider. The target tone was turned off while the slider was being pressed, to avoid using beating or acoustical dissonance as cues, but it was turned back on when the participants removed their finger from the slider. This was done so that the participants never needed to remember the pitch and matching was not impaired by poor pitch memory skills or interference from tinnitus pitch. Participants were told that they could take as long as they liked to match the target. When they had done so, participants saved their final response by pressing the space bar and initiated the next trial. This pitch matching ability task included 20 tones presentation, using five examples of each target such that no two identical tones were presented in a row. The slider's total range was one octave during each trial, with the upper and lower boundaries randomly chosen such that the target tone would fall in the middle two thirds of the slider. Thus, participants did not have any cues from prior trials where the target tone would be located on the slider. Furthermore, pure tones of 0.25 kHz, 4 kHz, 1 kHz, 8 kHz, and 12 kHz were previously used as practice trials for the matching task before the target tones were presented. Finally, the loudness of the tone was adjusted to a comfortable level for each participant by the experimenter.

### *Visual analog scales*

Five visual analog scales (VAS) of tinnitus annoyance (usually, now), loudness (usually, now), as well as attention spent usually on tinnitus were used. The scales were 100 mm horizontal lines with the left and right extremes labeled, respectively, “no annoyance at all” and “very annoying”, for all five scales.

### *Procedure*

After hearing threshold assessment, tinnitus matching methods were conducted in a counterbalanced order among groups and between test sessions (test vs. retest). The slider method always began with the pitch matching ability assessment to familiarize the participants with the slider. Participants were asked to provide repeatable tinnitus matching responses to the best of their ability. Simulated malingerers were not instructed to use any particular method to provide consistent responses during matching. All measures were taken in a soundproof booth at the BRAMS (Eckel Industries, Morrisburg, Ontario, Canada). The



validated French version of the Tinnitus Handicap Questionnaire (THQ) (Kuk et al., 1990; Meric, Pham, & Chéry-Croze, 1997) and the visual analog scales were given in a random order before psychoacoustics tasks. The likeness rating method took 20-30 minutes and the slider method took no longer than 15 minutes.

### **Data processing and Statistical Analysis**

For the likeness rating method, the mode for each frequency for each participant was used (or the median when the mode failed to reveal a single rating value). Tinnitus loudness matching (in dB SPL) at each frequency was averaged. When participants in a trial rated the likeness of the pure tone as 0, the loudness value of that trial was removed from further analysis. The loudness was converted in sensation level (dB SL), that is, the difference between the sound pressure level of tinnitus loudness matching and the sound pressure level of the best hearing threshold shift between left and right ears. The predominant frequency of the tinnitus spectrum was defined as the frequency with the highest likeness rating score and the tinnitus loudness was set as the sensation level value at this frequency. If more than one highest rating value was reported, the predominant tinnitus pitch was averaged between the frequencies corresponding to the lowest and highest rating values across the frequency span and the mean loudness value of those frequencies.

For the slider method, the predominant tinnitus pitch corresponded to the mean frequency matched in round three of each trial. The ability to match pitch to external tones was assessed by the differences in cents between the target tone and matched frequency. Due to his elevated hearing thresholds at 14 kHz, one participant could not match this target tone and was excluded from pitch matching analyses ( $n = 15$ ) at this frequency. Pitch information obtained for the external pitch matching task with the slider was converted to semitones so that meaningful comparisons could be made between different trials. Because responses in both pitch and tinnitus matching tended to consist of multiple instances of discrete tones, the pitch of the final discrete tone produced during each trial was taken as the primary measurement. In the external pitch matching task, the absolute value of the error of the final response (the pitch of final response minus the pitch of target tone) was used to avoid sharp and flat errors cancelling out. Final responses for each target tone were considered accurate if

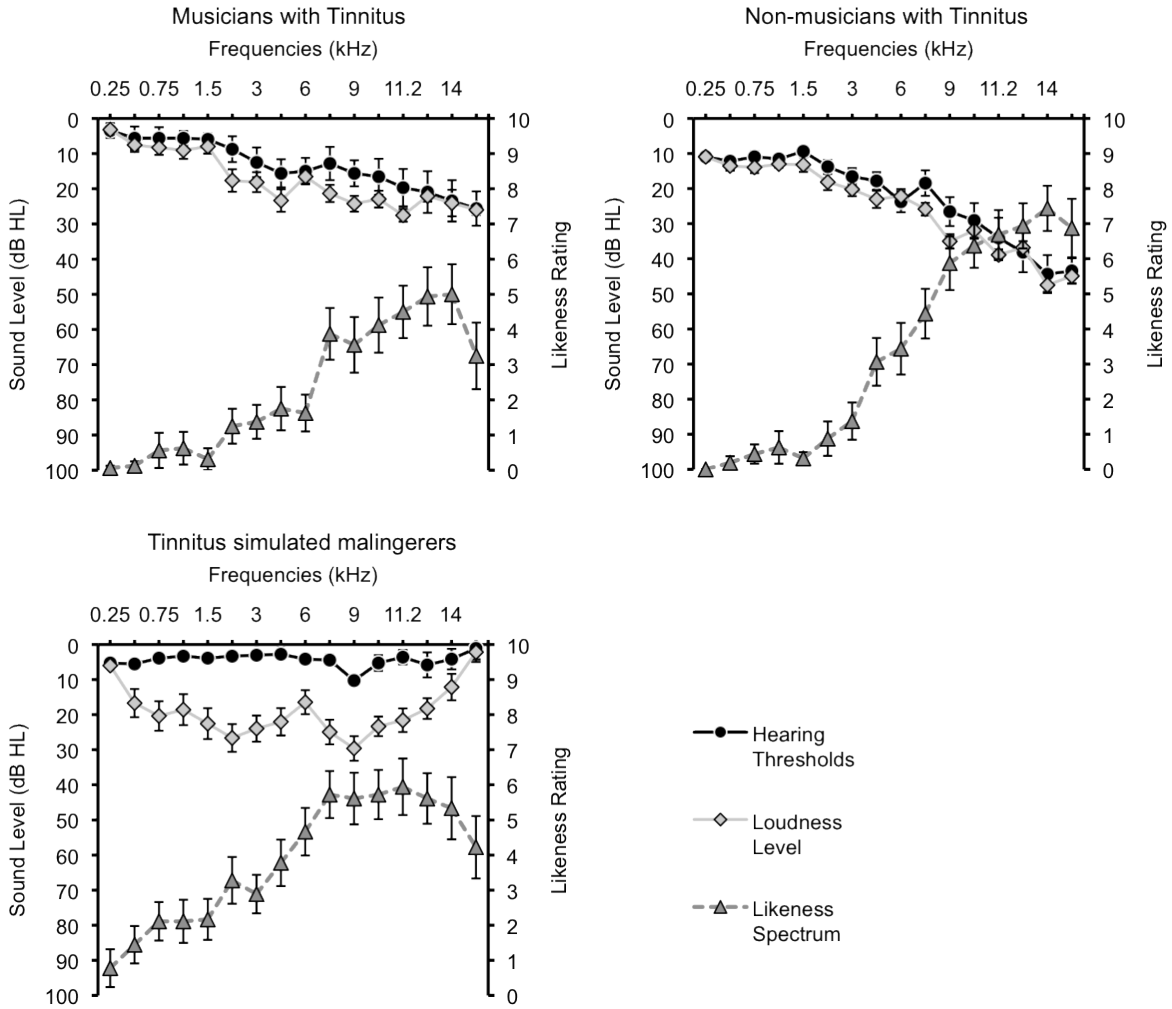
the pitch was within 50 cents (1/2 semitone) of the target, a criterion validated in other experiments (Hutchins & Peretz, 2012; Hutchins, Roquet, & Peretz, 2012).

Hearing thresholds were averaged separately for standard frequencies (0.25 to 8 kHz) and for very high frequencies (9 to 16 kHz) for each ear. Pitch and loudness matches and pitch matching ability were assessed as within-subjects factors by a mixed ANOVA between groups. When interactions involving groups were significant, Tukey post-hoc tests were conducted. The test-retest reliability between sessions was assessed using mixed ANOVAs with Group as the between-subject factor, Frequency and Session (Test/Retest) as the within-subject factors. When interactions involving session were significant, repeated-measure ANOVAs and paired sample t-tests were conducted. Pearson product-to-moment correlations were also used to assess within-trial reliability. Binary logistic regression was used to assess sensitivity and specificity of the psychoacoustic measures. The dependent variable was the presence of tinnitus irrespective of musicianship (Tinnitus/No tinnitus). Predictor variables were the two predominant pitches (the two highest likeness rating scores) and loudness match at these predominant frequencies. Statistical analyses were performed with SPSS 18.0 for Windows (Chicago, IL, USA).

## 2.4. Results

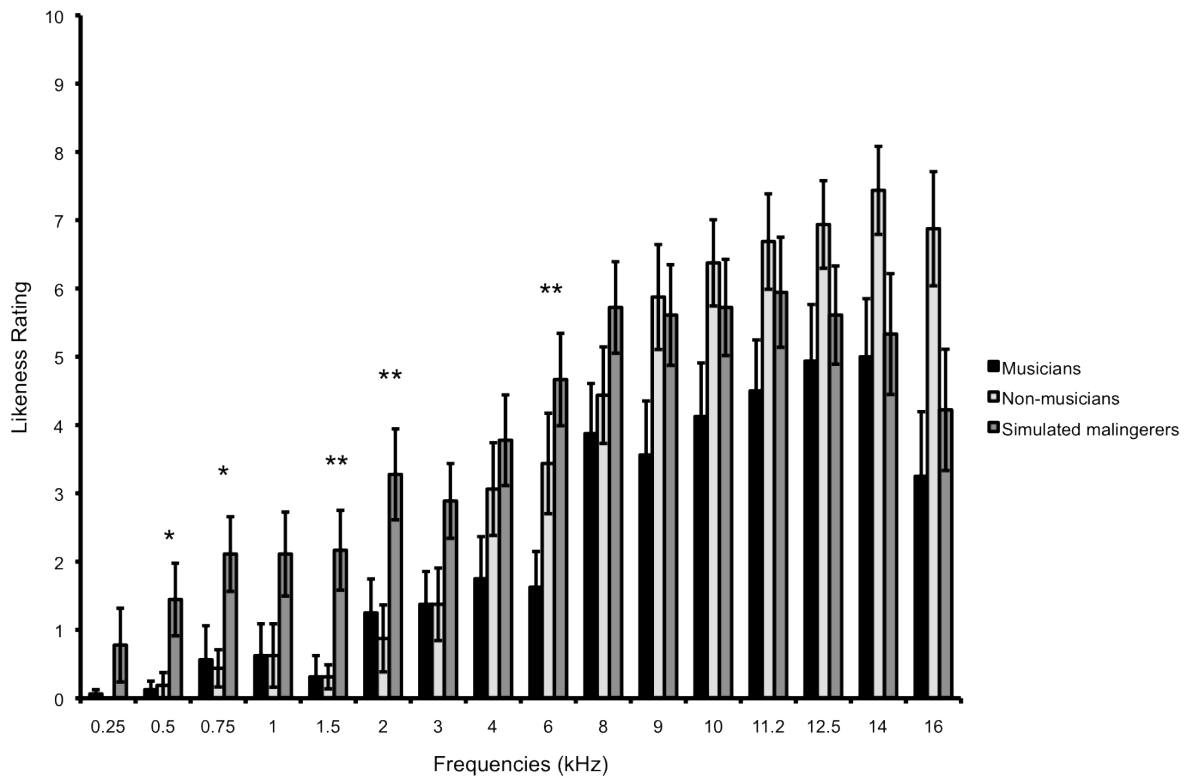
### **Tinnitus pitch matching using the likeness ratings**

A significant two-way interaction between Frequency and Group was found [ $F(30,705)=2.07$ ;  $p=.001$ ]. Musicians and non-musicians rated the pitch of their tinnitus very similarly, differing only for 16 kHz (means of 3 and 7, respectively,  $p=.019$ ), whereas simulated malingerers rated lower frequencies as being more like their tinnitus (see Figure 3 and 4) than did musicians (at 0.5 kHz, 1.5 kHz, 2 kHz, and 6 kHz, all  $p$  values between .029 and .005) and non-musicians (at 0.5 kHz, 0.75 kHz, 1.5 kHz, and 2 kHz, all  $p$  values between .039 and .007). At retest, only the main effect of Frequency [ $F(15,375)=50.78$ ;  $p<.001$ ] was significant.



**Figure 3:** The tinnitus spectrum (gray dotted line) mirrors hearing loss for both musicians (A) and non-musicians (B). Pure-tone thresholds (black line) are reported for the right ear. All groups rated the predominant tinnitus pitch in the high frequencies (>8 kHz). For simulated malingerers (C), tinnitus loudness matching (clear line) is well above the one of tinnitus participants. Error bars represent the standard error of the mean.

For the likeness rating reliability, the three-way interaction between Session (Test vs. Retest), Frequency and Group was marginally significant [ $F(30,375)=1.49$ ;  $p=.050$ ]. This was due to a significant difference between the two sessions at 11.2 kHz for musicians ( $p=.047$  by paired sample t-tests) (see Table 2).



**Figure 4:** Likeness ratings for the three groups. Simulated malingerers differed from tinnitus participants in the low frequency range ( $*p<.05$ ;  $**p<.01$ ). Error bars represent the standard error of the mean.

### **Tinnitus loudness matching using the likeness ratings**

A significant two-way interaction between Frequency and Group was also found [ $F(30,705)=2.16$ ;  $p<.001$ ]. Simulated malingerers rated the loudness of their tinnitus much higher than did both musicians and non-musicians at all frequencies except 0.25 kHz (all  $p$  values between .004 and  $<.001$  by post-hoc tests) (see Figure 3). From 0.25 to 16 kHz, the mean tinnitus loudness was  $4 \pm 2$  dB SL for musicians,  $3 \pm 2$  dB SL for non-musicians, and  $28 \pm 2$  dB SL for simulated malingerers. There was no significant difference between musicians and non-musicians. Retest data showed a main Group effect [ $F(2,25)=9.36$ ;  $p=.001$ ]. Again simulated malingerers rated loudness much higher than did the musicians ( $p=.001$ ) and non-musicians ( $p=.008$ ) (mean =  $18 \pm 3$  dB SL). Musicians and non-musicians did not differ in their loudness matches, with means of  $1 \pm 3$  dB SL and  $4 \pm 3$  dB SL, respectively, from 0.25 to 16 kHz.

For loudness matching reliability, an interesting result emerged. The three-way interaction between Session, Frequency, and Group was significant [ $F(30,375)=1.99$ ;  $p=.002$ ]. Two-way ANOVAs were conducted separately for the three groups. For simulated malingerers, a significant interaction between Session and Frequency was found [ $F(15,135)=3.49$ ;  $p<.001$ ]. Simulated malingerers' loudness ratings differed from test to retest at all frequencies from 6 to 16 kHz ( $p<.05$  for paired-sample t-tests) (see Table 2). This was not the case for musicians and non-musicians, whose mean loudness test-retest ratings were stable at all frequencies except for musicians at frequency 4 kHz (hence the three-way interaction).

**Table 2: Tinnitus likeness ratings and loudness matching differences (standard deviation) between test and retest for the three groups.**

Frequency in kHz	Mean likeness rating difference in numerical rating value			Mean loudness matching difference in dB SL		
	Musicians	Non-musicians	S.malingers	Musicians	Non-musicians	S.malingers
0.25	0 (0)	0 (1)	1 (1)	0 (1)	1 (2)	0 (13)
0.5	0 (0)	1 (1)	1 (2)	0 (1)	2 (3)	6 (18)
0.75	0 (1)	1 (2)	1 (3)	1 (5)	1 (4)	4 (21)
1	0 (1)	1 (2)	1 (2)	1 (8)	3 (6)	5 (28)
1.5	0 (0)	1 (3)	2 (2)*	4 (8)	5 (8)	3 (29)
2	0 (2)	1 (2)	0 (4)	1 (13)	5 (7)	7 (34)
3	0 (2)	0 (3)	1 (3)	1 (7)	1 (4)	6 (29)
4	1 (3)	0 (2)	2 (3)	2 (2)*	2 (4)	11 (20)
6	1 (3)	1 (2)	0 (3)	1 (5)	3 (4)	18 (12)**
8	1 (3)	2 (3)	2 (3)	0 (9)	2 (8)	16 (18)*
9	3 (5)	0 (3)	0 (2)	1 (14)	2 (7)	14 (14)*
10	2 (4)	0 (3)	0 (2)	2 (6)	1 (7)	21 (16)**
11.2	2 (3)*	1 (2)*	1 (2)	3 (12)	1 (5)	18 (16)**
12.5	1 (4)	1 (1)	0 (2)	2 (6)	1 (9)	19 (14)**
14	1 (3)	1 (2)	1 (2)	5 (11)	2 (8)	22 (15)**
16	4 (6)	0 (4)	1 (3)	3 (8)	1 (7)	32 (13)***

The asterisks represent  $p$ -values of \* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$ , for paired-sample t-tests between test and retest for each group. Paired sample t-tests were used as post-hoc tests following up a 3-way interaction between Groups X Session X Frequency. The interaction was driven mainly by the simulated malingerers group at high-frequencies who were inconsistent between test and retest (>6 kHz). The dotted line represents the limit between the standard audiometric measurements (<8 kHz) and the very high frequencies (>8 kHz).

**Predominant tinnitus pitch and loudness with the likeness ratings**

Table 3 summarizes the results of the predominant tinnitus pitch and its loudness for the three groups at test (Table 3A) and retest (Table 3B). Tinnitus predominant pitch differed between groups ( $p=.002$ ) only at the first test session. Non-musicians rated their tinnitus pitch slightly higher than did musicians (means = 14.2 kHz and 10.3 kHz, respectively,  $p=.027$ ) and simulated malingerers (mean = 8.9 kHz,  $p=.001$ ), but simulated malingerers and musicians did not differ ( $p=.58$ ). Loudness at the predominant tinnitus pitch differed between groups for both test sessions ( $p<.001$ ). Simulated malingerers rated the tinnitus loudness much higher than did musicians and non-musicians at both test (mean differences = 27.5 and 37.5 dB SL, respectively, both  $p<.001$  by post-hoc comparisons) and retest (mean differences = 23.7 and 20.5 dB SL, respectively,  $p<.001$  and  $p=.003$ ).

**Table 3: Psychoacoustic characteristics of tinnitus pitch and loudness (standard deviation) for musicians with tinnitus, non-musicians with tinnitus and simulated malingerers, at test (A) and retest (B) assessed by the likeness rating method.**

<b>A</b>		<b>Musicians</b>	<b>Non-musicians</b>	<b>S.malingerers</b>	<b><i>p</i>-Value</b>
		(n=16)	(n=16)	(n=18)	
Mean predominant tinnitus pitch in kHz		10.3 (4.6)	14.2 (1.7)	8.9 (5.0)	.002
Mean loudness at the predominant pitch in dB SL		11.3 (12.6)	1.2 (5.9)	38.8 (18.9)	<.001
<b>B</b>		<b>Musicians</b>	<b>Non-musicians</b>	<b>S.malingerers</b>	<b><i>p</i>-Value</b>
		(n=9)	(n=9)	(n=10)	
Mean predominant tinnitus pitch in kHz		12.9 (3.9)	13.9 (1.7)	9.1 (3.8)	n.s.
Mean loudness at the predominant pitch in dB SL		-1.1 (7.5)	2.0 (6.7)	22.5 (17.8)	<.001

### **Loudness ratings, not pitch, predict tinnitus malingering**

When loudness at the two predominant tinnitus pitches was used as a predictor of the presence or absence of tinnitus, the model was very successful ( $R^2 = 0.752$ , overall percentage = 94.0%), correctly identifying 93.8% of tinnitus participants (i.e., sensitivity,  $n=30$ ), while correctly rejecting 94.4% of participants without tinnitus (i.e., specificity,  $n=17$ ). The model was much less successful ( $R^2 = 0.163$ , overall percentage = 70.0%) when using the two predominant tinnitus pitches, correctly identifying 90.6% of tinnitus participants (i.e., sensitivity,  $n=29$ ), while correctly rejecting only 33.3% of participants without tinnitus (i.e., specificity,  $n=6$ ). At retest, better predictive values were again found for tinnitus loudness than pitches ( $R^2 = .693$  vs.  $.243$ , overall percentages of 84.6 vs. 73.1%), with sensitivity of 93.8% (vs. 87.5%) and specificity of 70.0% (vs. 50.0%).

### **Tinnitus matching using the slider method**

A mixed ANOVA between Tinnitus matching trials (3) and Group was performed, and a main Group effect was found [ $F(2,47)= 6,40$ ;  $p=.003$ ]. Results were similar to those obtained with the likeness ratings at both test and retest : at test non-musicians described a mean pitch higher than musicians (with means of  $13.5 \pm 3.0$  kHz and  $9.6 \pm 5.2$  kHz, respectively,  $p=.049$  by post-hoc comparisons) and than simulated malingerers (mean =  $8.0 \pm 5.2$  kHz,  $p=.003$ ), but there was no significant difference between musicians and simulated malingerers (see table 4A). At retest, no significant main effects or interactions were found (see table 4B). For pitch matching reliability, there was no interaction between sessions; however, a main effect of Group was significant [ $F(2,25)=3,95$ ;  $p=.032$ ]. For both sessions, non-musicians had a mean tinnitus pitch higher than did simulated malingerers (with means of  $13.9 \pm 1.5$  kHz and  $10.0 \pm 4.6$  kHz, respectively,  $p=.025$ , by post-hoc comparisons). Table 5 shows the inter-trials reliability between the groups at test (Table 5A) and retest (Table 5B). All groups were consistent in their responses of tinnitus pitch in both sessions (all  $r_s > .80$ ,  $p < .010$ ).



**Table 4: Pitch matching values in kHz (standard deviation) for the three groups, at test (A) and retest (B) for both methods.**

<b>Tinnitus Pitch Matching</b>		<b>musicians</b>		<b>gerers</b>		
<b>A</b>	<b>Mean in kHz</b>	<b><i>p</i>-Value</b>	<b>Mean in kHz</b>	<b><i>p</i>-Value</b>	<b>Mean in kHz</b>	<b><i>p</i>-Value</b>
Likeness rating method	10.3 (4.6)		14.2 (1.7)		8.9 (5.0)	
Slider method	9.6 (5.2)		13.5 (3.0)		8.0 (5.2)	
Difference between methods	0.8 (3.6)	.40	0.7 (3.2)	.40	1.0 (3.9)	.31
<b>B</b>	<b>Mean in kHz</b>	<b><i>p</i>-Value</b>	<b>Mean in kHz</b>	<b><i>p</i>-Value</b>	<b>Mean in kHz</b>	<b><i>p</i>-Value</b>
Likeness rating method	12.8 (3.9)		13.9 (1.7)		10.1 (3.8)	
Slider method	11.9 (3.9)		13.9 (1.5)		10.0 (4.6)	
Difference between methods	1.0 (4.8)	.56	1.02 (1.3)	.96	1.11 (4.4)	.94

**Predominant tinnitus pitch does not differ from one method to the other**

The predominant tinnitus pitch between the two matching methods was compared using paired sample t-tests. Results are displayed in table 4 for each group for both sessions. The mean tinnitus pitch differences were not significant for musicians, non-musicians and simulated malingerers at test (Table 4A) or at retest (Table 4B).

**Table 5: Pearson product-to-moment correlations of the inter-trials reliability of the tinnitus pitch matching using the slider for the three groups, at test (A) and retest (B).**

	Musicians			Non-musicians			S.malingers		
<b>A</b>	Mean diff. in kHz (SD)	<i>r</i>	<i>p</i>	Mean diff. in kHz (SD)	<i>r</i>	<i>p</i>	Mean diff. in kHz (SD)	<i>r</i>	<i>p</i>
Trial 1 – Trial 2	0.5 (1.4)	.96	<.001	0.4 (1.6)	.89	<.001	0.4 (2.1)	.92	<.001
Trial 2 – Trial 3	0.2 (1.1)	.98	<.001	0.5 (1.7)	.92	<.001	0.4 (1.3)	.97	<.001
Trial 1 – Trial 3	0.3 (1.4)	.97	<.001	0.1 (0.9)	.97	<.001	0.04 (2.0)	.92	<.001
<b>B</b>	Mean diff. in kHz (SD)	<i>r</i>	<i>p</i>	Mean diff. in kHz (SD)	<i>r</i>	<i>p</i>	Mean diff. in kHz (SD)	<i>r</i>	<i>p</i>
Trial 1 – Trial 2	0.4 (2.0)	.90	.001	0.2 (0.6)	.94	<.001	0.8 (1.4)	.98	<.001
Trial 2 – Trial 3	0.3 (2.4)	.81	.008	0.08 (0.8)	.89	.001	0.2 (1.1)	.97	<.001
Trial 1 – Trial 3	0.7 (2.6)	.80	.009	0.3 (0.8)	.91	.001	0.6 (1.1)	.99	<.001

**No difference between tonal and noise tinnitus types**

The psychoacoustic characteristics (predominant pitch, loudness) and the psychological aspects (VAS and THQ) of tinnitus were compared between tinnitus reported as “tonal” and “noise” types using paired sample t-tests and ANOVA. Simulated malingers were not included in this analysis. Results are shown in Table 6. Pitch and loudness at the predominant pitch and the distress measured through VAS and THQ scores did not differ between the two subgroups. The number of predominant frequencies tended to be higher by 1 in noise tinnitus than in tonal tinnitus, but the difference did not reach significance.

**Table 6. Psychoacoustic characteristics of tinnitus (pitch, loudness) and psychological distress (VAS, THQ) (standard deviation) between reported tonal tinnitus and noise tinnitus.**

Reported type of tinnitus	« Tonal »	« Noise »	<i>p</i> -Value
N	24	8	
Number of predominant frequencies	1.4 (0.6)	2.9 (1.9)	.07
Predominant Pitch in kHz (likeness)	12.8 (3.9)	10.7 (3.8)	n.s.
Predominant Pitch in kHz (slider)	11.8 (4.6)	10.3 (4.6)	n.s.
Loudness at the predominant pitch in dB SL	6.6 (12.4)	5.4 (4.9)	n.s.
VAS Score	37.7 (5.5)	31.1 (9.0)	n.s.
THQ Score	26.6 (16.5)	23.8 (20.1)	n.s.

**Tinnitus percept does not correlate with VAS or THQ**

Table 7 shows the correlations among all VAS, the THQ, and psychoacoustic predominant pitch and loudness at the predominant pitch for tinnitus participants. Simulated malingerers were not included in this analysis. All VAS, including loudness, were highly correlated with THQ scores, but not with psychoacoustic pitch and loudness.

**Table 7: Correlations among visual analog scales scores, Tinnitus Handicap Questionnaire scores, and psychoacoustic pitch and loudness.**

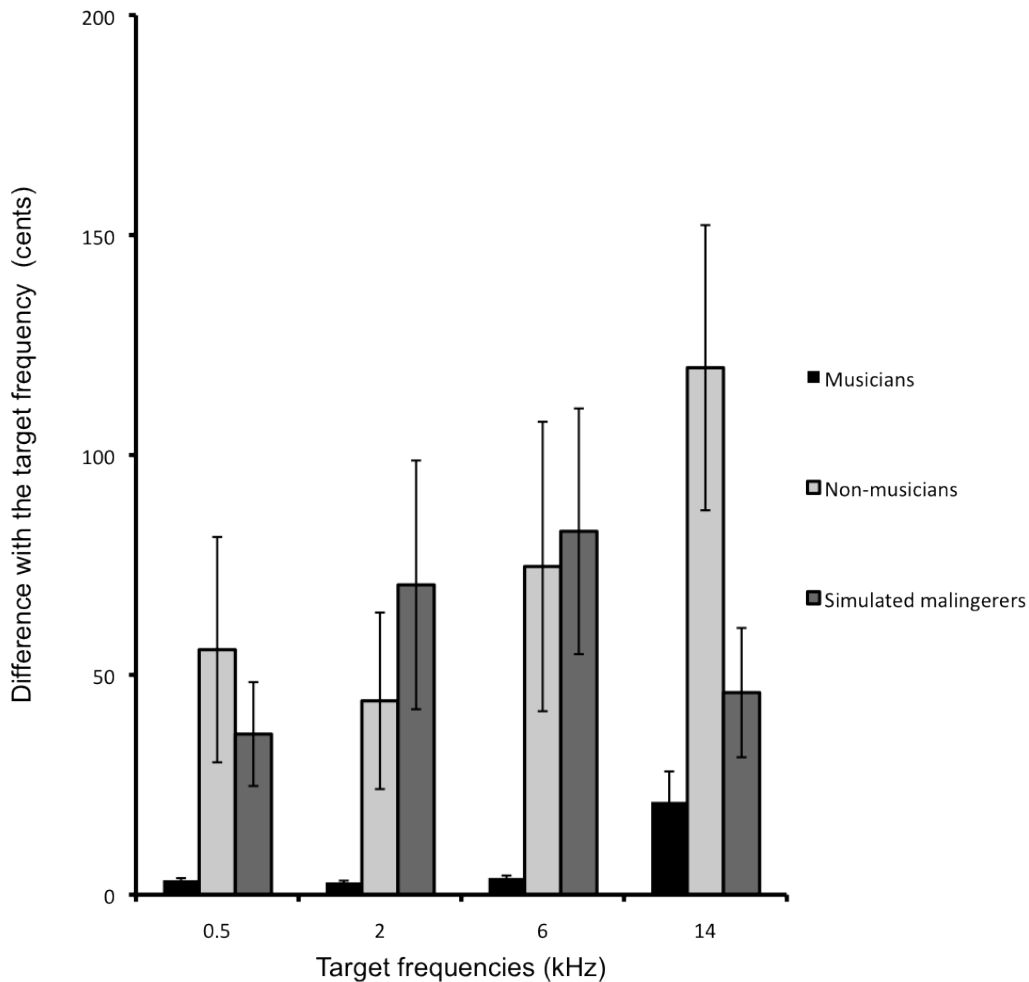
Visual Analog Scales	THQ total score		Predominant pitch		Loudness at the predominant pitch	
	<i>r</i>	<i>p</i> -Value	<i>r</i>	<i>p</i> -Value	<i>r</i>	<i>p</i> -Value
Question 1 How <u>annoying</u> is your tinnitus <b>usually</b> ?	.75**	<.001	.25	.22	-.09	.68
Question 2 How <u>annoying</u> is your tinnitus <b>now</b> ?	.70**	<.001	.31	.13	-.08	.70
Question 3 How <u>loud</u> is your tinnitus <b>usually</b> ?	.67**	<.001	.30	.13	-.17	.40
Question 4 How <u>loud</u> is your tinnitus <b>now</b> ?	.60*	=.001	.29	.16	-.10	.62
Question 5 How much <u>attention</u> do you <u>spend on</u> your <u>tinnitus</u> usually?	.72**	<.001	.32	.11	-.24	.23

The asterisks represent *p*-values of \*\**p*<.01, \*\*\**p*<.001.

### **Ability to match pitch to external tones**

Figure 5 shows differences between target and matched frequencies using the slider for musicians, non-musicians, and simulated malingerers. Since variability among musicians' responses was as much as 74 times smaller than within the two other groups and Levene's test for homogeneity of variances was significant for all target tones (all *ps*<.001), non-parametric Kruskal-Wallis and Mann-Whitney U tests were used to test group differences for each target tones. Differences among groups were significant for all four target tones (all *ps* between <.001 and .015). Musicians were better to match target tones than were non-musicians at all frequencies (all *ps* between <.001 and .008) and than simulated malingerers at all frequencies except 14 kHz (*ps* between .002 and .004, *p*=.13 for 14 kHz). Non-musicians and simulated malingerers did not differ from one another at any frequency (all *ps* between .07 and .72). Overall, the mean difference in cents was 7.8 (SE: 17.5) for musicians compared to 76 (SE: 18.1) for non-musicians - almost ten times greater than musicians - and 59 (SE: 16.5) for simulated malingerers. At retest, differences among groups were significant at all target tones except 14 kHz (all *ps* between .003 and .05; *p*= .57 at 14 kHz). Musicians differed from non-

musicians and simulated malingerers at all frequencies except 14 kHz (all  $p$ s between .002 and .05;  $p$ s = .69 and .23 at 14 kHz, respectively). Again, non-musicians and simulated malingerers did not differ from one another at any frequency (all  $p$ s between .12 and .69). At retest, the mean difference in cents was 6.7 (SE: 16.5) for musicians compared to 51.9 (SE: 16.5) for non-musicians and 36.2 (SE: 16.5) for simulated malingerers.



**Figure 5:** Differences in cents between target and matched frequencies using the slider for musicians, non-musicians, and simulated malingerers (test session). Error bars represent the standard error of the mean.

## 2.5. Discussion

Herein, we reported several novel findings in support of the psychoacoustic assessment of tinnitus for tinnitus diagnosis and characterization.

### *Psychoacoustic assessment improves tinnitus diagnosis*

Using a participant-directed likeness rating method to match tinnitus pitch and loudness over a wide frequency spectrum (from 0.25 to 16 kHz), we found that musicians and non-musicians rated the pitch of their tinnitus very similarly, with low likeness ratings in the low frequencies rising slowly towards the highs. Likewise, musicians and non-musicians rated the SL loudness of their tinnitus no differently over the whole frequency span and in the SL range usually described (< 5 dB SL). In sharp contrast, even relying on their past –though fleeting– experience of tinnitus, simulated malingerers rated their tinnitus as being composed of lower pitches and at a much higher loudness than did tinnitus participants over the entire range of frequencies except 0.25 kHz. Our findings support and extend previous findings showing lower pitch matches (Henry et al., 2009; Henry et al., 2006) and higher loudness in SL (Jacobson et al., 2000) in simulated malingerers but contradict those reporting lower loudness or no difference between tinnitus and no-tinnitus participants (Henry et al., 2009; Henry et al., 2013; Henry et al., 2006). The robustness of our data was further corroborated, however, by a retest session that took place six months on average after the first session, compared to less than a month in previous studies (Henry et al., 2009; Henry et al., 2006; Jacobson et al., 2000; Mitchell et al., 1993). While reliability of pitch matching was similar in the three groups, loudness reliability was excellent among musicians and non-musicians but much less reliable among simulated malingerers. It is striking that the last group's loudness ratings were different from test to retest over a broad range of frequencies, especially those in the very high frequencies, which are not routinely assessed during audiological testing. This finding highlights the importance of assessing frequencies above 8 kHz for tinnitus diagnosis and puts forth the potential value of loudness as a parameter to distinguish individuals simulating tinnitus from those who genuinely have tinnitus.

### *Tinnitus pitch identification*

One important question addressed here was whether the likeness rating method could allow the extraction of one predominant tinnitus pitch that provides an advantage over no constraint on pitch selection. Predominant tinnitus pitch using the likeness ratings was higher in non-musicians than both musicians and simulated malingerers. This is unsurprising since non-musicians displayed slightly higher very high frequency thresholds and tinnitus pitch is usually in the frequency band region of hearing loss (Fournier & Hébert, 2013; Noreña et al., 2002; Roberts et al., 2008; Zhou et al., 2011). Use of the slider yielded essentially the same results: non-musicians rated their tinnitus pitch as higher than both musicians and simulated malingerers, with no difference between the latter two. Strikingly the comparison between these two extremely different methods indeed yielded no significant tinnitus pitch differences for any of the groups, therefore supporting the strength of the likeness rating method in extracting a predominant tinnitus pitch. Similar to what has been described in previous studies (Roberts et al., 2008; Sereda et al., 2011), it is remarkable that participants who reported noise tinnitus were able to identify a predominant pitch. Given that tonal tinnitus comprises a bandwidth that can be wider than noise tinnitus (Roberts et al., 2008; Sereda et al., 2011), the relevance of distinguishing “tonal” from “noise” tinnitus becomes questionable. More detailed differences among tinnitus spectra, such as type of hearing loss, may be more relevant to distinguishing subgroups of tinnitus patients (Heijneman et al., 2013).

Our data emphasize the appropriateness of the likeness rating method for assessing the tinnitus pitch of participants notwithstanding their musical backgrounds. Our study is the first to assess whether musical training could improve the assessment of tinnitus pitch. Indeed, although musicians were able to match external sine waves within a few cents, all three groups were consistent at matching their tinnitus pitch.

### *Tinnitus predictors*

One of the most novel findings of this study is that when predominant pitch and loudness are extracted from the likeness ratings and compared as predictors for the presence of tinnitus, it is the loudness, not the pitch, that has the greatest predictive value. Psychoacoustic loudness at the predominant pitch is therefore a sensitive and a specific measure of the tinnitus percept. This was shown here redundantly by the fact that simulated malingerers rated higher

loudness levels at many frequencies, and evinced loudness (not pitch) unreliability from test to retest, especially in the very high frequency range. These results contradict a previous study (Henry et al., 2013), which found lower loudness matches sensation level as sensitive factor of tinnitus absence. If loudness is rated greater and less reliably from one session to the next, clinicians may have an indication that tinnitus is not present. Therefore, implementing a likeness rating method similar to the touchscreen in clinical practice could potentially be a tool for discriminating tinnitus sufferers from malingerers. In 30 minutes of testing, the experimenter is able to measure both tinnitus pitch and loudness and to report whether loudness matching is consistent with real tinnitus or simulation. If there is doubt, a retest would confirm greater loudness matches. Finally, unreliability between the test and retest would provide a third opportunity to detect simulated tinnitus, especially at very high frequencies.

*Perspective: Tinnitus percept versus distress*

Predictably, widely used visual analog scales or handicap questionnaires were not correlated to psychoacoustic parameters of tinnitus, a finding consistent with previous studies that found that visual analog scales are correlated with mood and distress rather than actual loudness in SL (Andersson, 2003). We therefore propose that psychoacoustic loudness should constitute an essential and complementary measure of tinnitus. In this regard, the literature on pain, to which tinnitus is often compared, is enlightening. The largely independent encoding, modulation (Kunz, Lautenbacher, LeBlanc, & Rainville, 2012), and brain networks for (Rainville, Carrier, Hofbauer, Bushnell, & Duncan, 1999) sensory (pain intensity) and affective (pain unpleasantness) dimensions of pain suggest that it is a multidimensional response system that differentially encode both qualities. Furthermore, psychological interventions involving emotions (such as the cognitive behavioural therapy) modulates perceived pain unpleasantness more than perceived intensity of pain (Rainville, Bao, & Chretien, 2005), whereas therapies involving distraction seem to modulate more directly perceived intensity of pain and not mood (Villemure & Bushnell, 2002, 2009). If we transfer this analogy to tinnitus, this means that sensory (percept) and affective (distress) dimensions of tinnitus would be separable. The lack of correlations between psychoacoustic loudness and distress shown in our study (and previous ones (Hiller & Goebel, 2006, 2007)), and evidence



showing separable brain networks of tinnitus psychoacoustic loudness and distress, although still scarce (Balkenhol, Wallhäusser-Franke, & Delb, 2013), are both consistent with this idea. The implication is that interventions modulating mood, such as cognitive behavioural therapy, would act on the unpleasantness of tinnitus, which seems to be the case (Cima et al., 2012; Hesser, Weise, Westin, & Andersson, 2011), whereas therapies that modulate attention, such as noise generators or neuromodulators of attention (see (Roberts, Husain, & Eggermont, 2013) for a discussion of the role of attention in tinnitus), would act mainly on tinnitus percept. One study has shown that alprazolam, a benzodiazepine that binds to GABA<sub>A</sub> receptors, significantly reduced both tinnitus psychoacoustic loudness (3.6 dB on average) and loudness on a 10-point visual analog scale (1.5 point on average) after 12 weeks (Johnson, Brummett, & Schleuning, 1993). The systematic assessment of both tinnitus percept and distress would make the field progress by identifying which therapies act on distress only, both distress and percept, or percept only. The answer to this question has important implications about the underlying mechanisms of tinnitus and those involved in treatment efficacy.

## **2.6. Acknowledgements**

We thank Prof. Jos J. Eggermont and an anonymous reviewer for helpful comments on a previous version of this paper.

## **2.7. Author Contributions**

Conceived and designed the experiments : S. Hébert S. Hutchins PF. Performed the experiments : CEB. Analyzed the data : CEB PF S. Hébert S. Hutchins. Wrote the manuscript : CEB PF S. Hébert S. Hutchins.

## 4. Discussion générale

L'étude intitulée « *Psychoacoustic assessment to improve tinnitus diagnosis* » a permis de mettre à jour de nouvelles observations dans l'évaluation psychoacoustique de l'acouphène. Cette étude prend d'autant plus d'importance depuis que chercheurs et cliniciens ont un intérêt à trouver un consensus dans la standardisation d'une méthode d'appariement fiable.

Dans la mise en place d'un protocole clinique rigoureux, l'évaluation audiolgique est recommandée dans un premier temps puisque la plupart des patients avec acouphènes présentent des troubles du système auditif. L'évaluation des seuils auditifs a démontré que la plupart des participants avec acouphènes de notre étude avaient une perte auditive dans les très hautes fréquences (Tableau 1A et 1B) qui n'aurait pas été détectée par une audiométrie tonale standard. Le clinicien aurait intérêt, dans le but d'améliorer le diagnostic psychoacoustique de l'acouphène, d'élargir dans un premier temps l'évaluation des seuils auditifs dans les très hautes fréquences, au-delà de 8 kHz, pour confirmer que la perte auditive est un facteur non dissociable de la présence d'un acouphène. Par contre, ces limitations sont souvent dues au manque de temps du clinicien ou encore par l'absence d'équipement adéquat (audiomètre clinique avec très hautes fréquences) (Henry & Meikle, 2000).

Dans l'intérêt d'améliorer l'évaluation des caractéristiques psychoacoustiques, cette étude a évalué une méthode d'appariement de type « *likeness rating* » qui cherche la ressemblance individuelle de chaque fréquence, et leur contribution, avec le percept de l'acouphène. Plusieurs études (Fournier & Hébert, 2013; Heijneman et al., 2013; Kay et al., 2008; Moffat et al., 2009; Noreña et al., 2002; Roberts et al., 2008; Sereda et al., 2011; Weisz et al., 2006; Zhou et al., 2011) utilisant ce type de méthode, ont évalué les caractéristiques psychoacoustiques de l'acouphène par la mesure de son spectre fréquentiel et non plus sur la détermination d'une seule fréquence qui caractériserait un percept unique. L'avantage de cette méthode est qu'elle laisse au patient la possibilité d'avoir un jugement plus large car il évaluera l'entièreté des fréquences pouvant définir son acouphène plutôt qu'une seule par choix forcé. Ceci est d'autant plus intéressant pour faciliter le diagnostic psychoacoustique des patients qui pourraient décrire un acouphène composé de multiples fréquences ou encore ne sachant pas vraiment décrire la nature de leur percept (Wahlström & Axelsson, 1995 ). La

présente étude, ainsi que d'autres (Noreña et al., 2002; Roberts et al., 2008; Roberts et al., 2006; Sereda et al., 2011), a remarqué que des participants décrivant un acouphène de type tonal comme un sifflement ou un sillement peuvent également décrire plusieurs fréquences. Les résultats ont montré que les participants avec acouphènes (musiciens et non-musiciens) ont coté les fréquences très aiguës (au-delà de 8 kHz) comme correspondant le plus à leur acouphène (Figure 4) avec un spectre qui prédomine dans la région de la perte auditive (Figure 3). Ces résultats s'alignent donc avec des résultats obtenus par des méthodes d'appariement similaires (Fournier & Hébert, 2013; Heijneman et al., 2013; Noreña et al., 2002; Roberts et al., 2008; Sereda et al., 2011). Ces données tendent à supporter le modèle neurophysiologique qui décrit les mécanismes sous-jacents de l'acouphène. La configuration du spectre étant le miroir du profil audiométrique implique que l'acouphène et la perte auditive sont alors étroitement liés. Le modèle neurophysiologique sous-tend que l'acouphène est le résultat d'une augmentation de l'activité spontanée neuronale du système auditif central. L'augmentation de l'activité surviendrait suite à une désafférentation, c'est-à-dire à une réduction de l'influx nerveux du nerf auditif causée par un dommage cochléaire, donc un dommage périphérique (Eggermont & Roberts, 2004). Cette activité neuronale, dite aberrante, serait interprétée comme un véritable son dans les structures corticales supérieures (Noreña, 2011). Jastreboff avait déjà proposé la notion de « perception auditive fantôme » liée à cette activité sans rapport avec le processus vibratoire des cellules ciliées externes (Jastreboff, 1990). Cette idée est renforcée par l'observation que la section du nerf auditif ne supprime pas toujours la perception de l'acouphène et dans certains cas peut même en produire un (Kameda, Shono, Hashiguchi, Yoshida, & Sasaki, 2010). Plusieurs études sur des modèles animaux ont observé que le noyau cochléaire dorsal semblait être le premier niveau affecté par un changement de l'activité neuronale après un dommage de l'oreille interne (Kaltenbach & Afman, 2000; Kaltenbach, Zacharek, Zhang, & Frederick, 2004; Noreña & Eggermont, 2003), traduit par l'émergence de potentiels en bouffées et d'une augmentation de la synchronie entre la décharge des neurones. Ces modifications du patron d'activité neuronale seraient la conséquence d'un bouleversement de l'équilibre entre les processus corticaux d'excitation et d'inhibition latérale de la plasticité homéostatique (Schaette & Kempner, 2006). Le rôle de l'inhibition latérale est de restreindre l'activité synchrone des neurones adjacents (provenant de bandes de fréquences plus larges) contrôlés par des inter-neurones inhibiteurs qui

dépendent de l'activité spontanée des fibres au niveau sous-cortical. Lors de la désafférentation, l'inhibition latérale est affaiblie par la diminution de taux de décharge du nerf cochléaire et des connexions intracorticales non fonctionnelles s'activeraient alors, laissant l'activité synchrone se répandre et se stabiliser sur des territoires corticaux plus larges dans la région fréquentielle lésée (Eggermont & Roberts, 2004; Noreña & Eggermont, 2003). Cependant, le modèle décrit ci-dessus est confronté à deux théories quant à l'émergence de cette réorganisation tonotopique et de la surreprésentation fréquentielle (Eggermont & Roberts, 2004). La théorie de l'expansion tonotopique prédit un modèle dans lequel l'acouphène serait une surreprésentation de la fréquence à partir de laquelle les seuils auditifs sont endommagés. Plusieurs études ont révélé des corrélations entre la hauteur de l'acouphène et la frontière entre l'audition normale et altérée (König et al., 2006; Moore et al., 2010). À l'inverse, la théorie de la synchronie neuronale prédit un modèle où l'acouphène serait une surreprésentation de plusieurs fréquences dans la zone du dommage auditif et que la hauteur prédominante perçue se situerait n'importe où dans cette bande de fréquence (Schecklmann et al., 2012). Améliorer la mesure de la hauteur est alors un objectif important pour l'avancement des connaissances sur les mécanismes neurophysiologiques de l'acouphène.

Dans l'intérêt de diagnostiquer avec précision la hauteur, il semblait pertinent de savoir s'il était possible de caractériser une fréquence prédominante à travers le spectre de l'acouphène obtenu avec une méthode de ressemblance. Dès lors, l'intérêt d'utiliser le « *slider* », était de comparer la fréquence obtenue par l'écran tactile, avec une méthode nous permettant de présenter et varier en continu des sons purs allant des basses fréquences (500 Hz) jusqu'aux très hautes fréquences (20 kHz). Les résultats des essais pour obtenir la hauteur principale avec le « *slider* » ont démontré une bonne cohérence entre chaque mesure, confirmant la fiabilité de cet outil et la bonne capacité des participants à l'utiliser (Tableau 5). Tous, y compris les simulateurs, ont démontré des résultats convergents entre les deux méthodes (Tableau 4). Ces résultats suggèrent que la fréquence prédominante du spectre de l'acouphène peut être définie comme celle qui a obtenu le plus haut score à la cotation.

Une observation importante est que l'appariement de l'acouphène s'est effectué sur toute la gamme de l'audition humaine (jusque 16 kHz). Non seulement évaluer les très hautes fréquences au-delà des fréquences standard (8 kHz) a permis de diagnostiquer la présence

d'une perte auditive chez les participants avec acouphènes, mais aussi de laisser l'opportunité au participant de juger toutes les fréquences pouvant composer son acouphène lors des tâches d'appariement. La moyenne de la hauteur pour les musiciens et les non-musiciens était supérieure à 8 kHz (Tableau 4). Cette observation soulève dès lors bien des questions sur certains protocoles cliniques qui n'évaluent pas le percept de l'acouphène au-delà de 8 kHz alors que plusieurs études avec des méthodes cohérentes ont rapporté des hauteurs au-delà de cette fréquence (Nageris et al., 2010; Pan et al., 2009; Roberts et al., 2008; Sereda et al., 2011). En ce qui concerne les mesures relatives à l'intensité de l'acouphène, la Figure 3 montre que la sonie est très proche des seuils auditifs pour les participants avec acouphènes et que l'intensité à la fréquence prédominante est inférieure à 5 dB SL. Ces résultats confirment que l'acouphène, même perçu comme fort, a une sonie faible et proche des seuils d'audibilité. La seconde session de l'évaluation des caractéristiques psychoacoustiques a permis de confirmer la fiabilité de cette mesure avec une méthode de ressemblance.

Concernant les simulateurs, l'amélioration du diagnostic clinique de l'acouphène passe par le développement d'une mesure sensible et spécifique à révéler la présence de ce symptôme. Tout comme les participants avec acouphènes, les simulateurs ont décrit que le spectre de l'acouphène prédominait dans les très hautes fréquences (Figure 3) même si la tendance à coter les fréquences plus basses dans le percept était plus importante (Figure 4). La reproductibilité à appairer une hauteur (bien qu'imaginative) entre les deux méthodes utilisées ne permettait pas de distinguer une différence au regard de la reproductibilité de cette même mesure chez les acouphéniques. Toutefois, la sonie de l'acouphène a été plus pertinente dans la mise en évidence de différences entre les deux groupes. Une sonie plus importante a été observée chez les simulateurs tant à la fréquence prédominante que sur l'ensemble des fréquences du spectre (excepté 0.25 kHz). De plus, l'analyse test-retest a révélé une incohérence à reproduire la sonie de l'acouphène pour les fréquences au-delà de 6 kHz (Tableau 2). De ce fait, la prise en compte des très hautes fréquences dans le diagnostic des paramètres psychoacoustiques se révèle d'autant plus pertinent sur la reproductibilité des mesures qui n'aurait pas été mise en évidence lors d'une évaluation standard jusque 8 kHz. Cette étude vient lever les divergences entre des études précédemment menées dans un but similaire (Henry et al., 2009; Henry et al., 2006; Jacobson et al., 2000) et s'aligne avec une

dernière étude (Henry et al., 2013), montrant que la sonie est une mesure sensible à distinguer des simulateurs. Une limitation à apporter toutefois est que les groupes (acouphénique vs simulateurs) différaient en âge, mais surtout dans leur profil audiométrique, spécialement les très hautes fréquences (Figure 3). Il serait intéressant de reproduire sur base du même protocole, une étude avec des groupes comparables sur ces deux critères.

Une question importante était de savoir si les habiletés d'appariement en fréquence de l'acouphène pouvaient être améliorées par la formation musicale. Cette considération a toute son importance lorsque l'on sait que beaucoup de musiciens se plaignent de la perception d'un acouphène (Jansen et al., 2009; Kähärit, Zachau, Eklöf, Sandsjö, & Möller, 2003). Beaucoup d'auteurs (Evered & Lawrenson, 1981b; Henry et al., 2001; Henry & Meikle, 2000) ont supposé que des musiciens ou des professionnels dans le son ou l'acoustique auraient plus de facilité à appairer la hauteur de leur acouphène depuis que des études ont montré leurs habiletés à appairer des sons externes (Estis, Dean-Claytor, Moore, & Rowell, 2011; Zarate et al., 2012). Ceci dit, personne n'avait encore vérifié cette hypothèse. Bien que les musiciens ont démontré d'excellentes capacités à appairer des sons externes avec le « *slider* » (Figure 5), aucune différence n'est apparue entre musiciens et non-musiciens sur les performances à indiquer la hauteur de leur acouphène entre les deux méthodes (Tableau 4). L'étude éloigne donc les habiletés musicales comme potentielle source de variabilité chez les participants musiciens, ne distinguant pas ce sous-groupe lors d'une évaluation des paramètres psychoacoustiques.

Dans le contexte clinique qui est lié à l'acouphène, l'évaluation des caractéristiques psychoacoustiques permettra au clinicien de répondre plus précisément au motif de consultation du patient. L'évaluation du spectre fréquentiel apportera une preuve mesurable de cette perception auditive fantôme et de rassurer son patient que son symptôme est réel. Il n'est pas rare que certains patients soient désespérés à l'idée que leur entourage ne puisse comprendre ce qu'ils perçoivent dans leur tête au quotidien. Dans un temps n'excédant pas 30 minutes, les participants de la présente étude ont été capables de décrire la hauteur et la sonie de leur acouphène. L'établissement d'une méthodologie rigoureuse doit prendre un compte la durée de l'évaluation. Les mesures du percept physique et son évaluation émotionnelle sont deux facettes différentes, mais non dissociables lors d'un suivi clinique. Cette étude, ainsi que

d'autres (Andersson, 2003; Figueiredo et al., 2012), n'a pas trouvé de corrélation entre les mesures psychoacoustiques avec les scores de handicap et de détresse émotionnelle obtenus avec le THQ et les VAS (Tableau 7). Cependant, les résultats ont confirmé l'existence d'une forte corrélation entre ces deux échelles de handicap. La corrélation avec le THQ supporte la fiabilité des VAS dans l'évaluation de la gêne associée à l'acouphène. Ces deux aspects de la prise en charge, entre l'évaluation du percept d'une part et l'évaluation de la gêne d'autre part, doivent être évalués à part entière. Les questionnaires et les VAS restent, pour le clinicien, un moyen d'évaluer l'efficacité d'un traitement (El Refaie et al., 2004). Certaines thérapies s'intéresseront à l'évolution de l'état psychologique du patient plutôt que de suivre l'évolution du percept psychoacoustique. Par exemple, les thérapies de type « cognitivo-comportementale » tendent à améliorer la qualité de vie liée à l'état de santé et aident à réduire le caractère intrusif de l'acouphène (Cima et al., 2012). Une réduction de la sévérité de l'acouphène tend à réduire l'état dépressif qu'il peut engendrer (Hébert et al., 2012). D'autres thérapies du type « acoustico-émotionnelle » comme la TRT (Tinnitus Retraining Therapy) (Jastreboff & Jastreboff, 2003), utilisent des techniques d'enrichissement sonore pour masquer la perception de l'acouphène en réduisant le degré attentionnel qui lui est porté. Bien que l'enrichissement sonore consiste en la mise en place d'un bruit blanc, sans spécificité fréquentielle, il semble néanmoins que la nature du percept de l'acouphène puisse être lié à l'efficacité du masquage appliqué. McNeill et collaborateurs (2012) (McNeill, Tavora-Vieira, Alnafjan, Searchfield, & Welch, 2012) ont observé que des patients, ayant reçu une thérapie par enrichissement sonore avec des aides auditives, avaient eu une réduction plus efficace du percept par le masquage dû à l'amplification lorsque la hauteur de l'acouphène se trouvait dans la zone de réponse en fréquence de l'appareil. Les caractéristiques psychoacoustiques pourraient prédire alors l'efficacité d'un traitement pour masquer l'acouphène. Un potentiel bénéfique des technologies des aides auditives serait d'augmenter le champ de réponse dans les très hautes fréquences puisque l'étude présentée ici, comme d'autres (Henry et al., 2000; Nageris et al., 2010; Pan et al., 2009), a rapporté une hauteur prédominante au-delà de 8 kHz. Une autre étude (Moffat et al., 2009), évaluant les bénéfices de l'amplification haute fréquence sur la modification du percept de l'acouphène, n'a pas observé de changement sur le spectre fréquentiel décrit par les participants. Cependant, l'évaluation du spectre se limitait à 8 kHz et l'effet des aides auditives a été évalué seulement 1 mois après l'appareillage. Il n'est pas

improbable que l'amplification ait pu apporter des modifications sur le spectre de l'acouphène si ce dernier avait été évalué par une méthode de ressemblance jusque 16 kHz. Ceci souligne une nouvelle fois l'importance d'évaluer les caractéristiques psychoacoustiques sur toutes les fréquences audibles pour le suivi d'un traitement, qu'il soit de réduire la détresse ou l'ultime but, de rendre silencieux ce son.



## 5. Conclusion

En conclusion, la présente étude a permis de tester la fiabilité d'une nouvelle méthode d'appariement pour quantifier les caractéristiques psychoacoustiques de l'acouphène. Cette méthode a présenté plusieurs avantages. Elle laisse au participant la liberté d'exécuter lui-même la tâche dans un temps cliniquement acceptable, et de pouvoir juger l'entière des fréquences qui pourraient composer son acouphène et leur sonie correspondante. Quel que soit le type d'acouphène (tonal ou multi-fréquentiel), la fréquence prédominante perçue correspond au plus haut score de ressemblance coté dans le spectre. Cette méthode est aussi fiable pour les musiciens que pour les non-musiciens. Elle a démontré que l'appariement en sonie était sensible et spécifique à la simulation de la perception de ce son interne. Un des poids majeurs de cette étude, contrairement à d'autres, est que la seconde session pour évaluer les paramètres psychoacoustiques s'est déroulée plusieurs semaines après la session initiale. La reproductibilité des résultats renforce la fiabilité des mesures pour un suivi longitudinal.

## 6. Bibliographie

- Andersson, G. (2003). Tinnitus loudness matchings in relation to annoyance and grading of severity. *Auris Nasus Larynx*, 30(2), 129-133. doi: 10.1016/s0385-8146(03)00008-7
- Axelsson, A., & Ringdahl, A. (1989). Tinnitus--a study of its prevalence and characteristics. *British Journal of Audiology*, 23(1), 53-62. doi: 10.3109/03005368909077819
- Balkenhol, T., Wallhäusser-Franke, E., & Delb, W. (2013). Psychoacoustic Tinnitus Loudness and Tinnitus-Related Distress Show Different Associations with Oscillatory Brain Activity. *PLoS ONE*, 8(1), e53180. doi: 10.1371/journal.pone.0053180
- Burns, E. M. (1984). Variability among measure of subjective tinnitus and objective stimuli. *Audiology*, 23(4), 426-440.
- Cima, R. F., Maes, I. H., Joore, M. A., Scheyen, D. J., El Refaie, A., Baguley, D. M., . . . Vlaeyen, J. W. (2012). Specialised treatment based on cognitive behaviour therapy versus usual care for tinnitus: a randomised controlled trial. *Lancet*, 379(9830), 1951-1959. doi: 10.1016/S0140-6736(12)60469-3
- Dauman, R., & Tyler, R. S. (1992). Some considerations on the classification of tinnitus. In J. M. Aran (Ed.), *Tinnitus 91: Proceedings of the Fourth International Tinnitus Seminar, Bordeaux, France, August 27-30, 1991* (pp. 225-229). Amsterdam: Kugler.
- de Azevedo, A. A., Langguth, B., de Oliveira, P. M., & Figueiredo, R. R. (2009). Tinnitus treatment with piribedil guided by electrocochleography and acoustic otoemissions. *Otology and Neurotology*, 30(5), 676-680. doi: doi: 10.1097/MAO.0b013e3181ab8fd5
- De Ridder, D., Vanneste, S., Adriaenssens, I., Lee, A. P., Plazier, M., Menovsky, T., . . . Moller, A. (2010). Microvascular decompression for tinnitus: significant improvement for tinnitus intensity without improvement for distress. A 4-year limit. *Neurosurgery*, 66(4), 656-660. doi: 10.1227/01.NEU.0000366110.87836.53
- Demeester, K., van Wieringen, A., Hendrickx, J. J., Topsakal, V., Fransen, E., Van Laer, L., . . . Van de Heyning, P. (2007). Prevalence of tinnitus and audiometric shape. *B-ENT*, 3(7), 37-49.
- Dille, M. F., Konrad-Martin, D., Gallun, F., Helt, W. J., Gordon, J. S., Reavis, K. M., . . . Fausti, S. A. (2010). Tinnitus onset rates from chemotherapeutic agents and ototoxic antibiotics: results of a large prospective study. *Journal of the American Academy of Audiology*, 21(6), 409-417. doi: 10.3766/jaaa.21.6.6

- Dong-Kee, K., Park, S.-N., Hyung Min, K., Son, H. R., Kim, N.-G., Park, K.-H., & Yeo, S. W. (2011). Prevalence and significance of high-frequency hearing loss in subjectively normal-hearing patients with tinnitus. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, 120(8), 523-528. Retrieved from <http://web.ebscohost.com/ehost/detail?sid=c4070ca6-5df2-4938-aa34-44a059bdc2ba%40sessionmgr4001&vid=1&hid=4112&bdata=Jmxhbm9ZnImc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#db=rzh&AN=2011268884>
- Eggermont, J. J., & Roberts, L. E. (2004). The neuroscience of tinnitus. *Trends in Neurosciences*, 27(11), 676-682. doi: 10.1016/j.tins.2004.08.010
- El Refaie, A., Davis, A., Kayan, A., Baskill, J., Lovell, E., & Owen, V. (2004). A questionnaire study of the validity of life and quality of family life of individuals complaining of tinnitus pre- and post-attendance at a tinnitus clinic. *International Journal of Audiology*, 43(7), 410-416. doi: 10.1080/14992020400050052
- Estis, J. M., Dean-Clayton, A., Moore, R. E., & Rowell, T. L. (2011). Pitch-matching accuracy in trained singers and untrained individuals: the impact of musical interference and noise. *Journal of Voice*, 25(2), 173-180. doi: 10.1016/j.jvoice.2009.10.010
- Evered, D., & Lawrenson, G. (1981a). Appendix II. Guidelines for recommended procedures in tinnitus testing. In D. Evered & G. Lawrenson (Eds.), *Tinnitus. Ciba Foundation symposium 85* (pp. 303-306). London: Pitman.
- Evered, D., & Lawrenson, G. (1981b). Classification of tinnitus. In D. Evered & G. Lawrenson (Eds.), *Tinnitus. Ciba Foundation symposium 85* (pp. 4-15). London: Pitman.
- Figueiredo, R. R., Rates, M. A., de Azevedo, A. A., de Oliveira, P. M., & de Navarro, P. B. A. (2012). Correlation analysis of hearing thresholds, validated questionnaires and psychoacoustic measurements in tinnitus patients. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 76(4), 522-526. doi: 10.1590/S1808-86942010000400018
- Fioretti, A. B., Fusetti, M., & Elbnstein, A. (2013). Association between sleep disorders, hyperacusis and tinnitus: evaluation with questionnaires. *Noise Health*, 15(63), 91-95. doi: 10.4103/1463-1741.110287
- Folmer, R. L., McMillan, G. P., Austin, D. F., & Henry, J. A. (2011). Audiometric thresholds and prevalence of tinnitus among male veterans in the United States: Data from the National Health and Nutrition Examination Survey, 1999-2006. *The Journal of Rehabilitation Research and Development*, 48(5), 503-516. doi: 10.1682/jrrd.2010.07.0138
- Fournier, P., & Hébert, S. (2013). Gap detection deficits in humans with tinnitus as assessed with the acoustic startle paradigm: Does tinnitus fill in the gap? *Hearing Research*, 295, 16-23. doi: 10.1016/j.heares.2012.05.011

- Fujii, K., Nagata, C., Nakamura, K., Kawachi, T., Takatsuka, N., Oba, S., & Shimizu, H. (2011). Prevalence of tinnitus in community-dwelling Japanese adults. *Journal of Epidemiology*, *21*(4), 299-304. doi: 10.2188/jea.JE20100124
- Gilles, A., De Ridder, D., Van Hal, G., Wouters, K., Kleine Punte, A., & Van de Heyning, P. (2012). Prevalence of leisure noise-induced tinnitus and the attitude toward noise in university students. *Otology and Neurotology*, *33*(6), 899-906. doi: 10.1097/MAO.0b013e31825d640a
- Gopinath, B., McMahon, C. M., Rochtchina, E., Karpa, M. J., & Mitchell, P. (2010). Incidence, persistence, and progression of tinnitus symptoms in older adults: the Blue Mountains Hearing Study. *Ear and Hearing*, *31*(3), 407-412. doi: 10.1097/AUD.0b013e3181cdb2a2
- Griest, S. E., & Bishop, P. M. (1998). Tinnitus as an early indication of permanent hearing loss. A 15 year longitudinal study of noise exposed workers. *AAOHN Journal*, *46*(7), 325-329.
- Hallam, R. S., Jakes, S. C., Chambers, C., & Hinchcliffe, R. (1985). A comparison of different methods for assessing the 'intensity' of tinnitus. *Acta Oto-laryngologica*, *99*(5-6), 501-508.
- Hallam, R. S., Jakes, S. C., & Hinchcliffe, R. (1988). Cognitive variables in tinnitus annoyance. *British Journal of Clinical Psychology*, *27*(3), 213-222.
- Hébert, S., Canlon, B., Hasson, D., Magnusson Hanson, L. L., Westerlund, H., & Theorell, T. (2012). Tinnitus severity is reduced with reduction of depressive mood - a prospective population study in Sweden. *PLoS ONE*, *7*(5), 1-5. doi: 10.1371/journal.pone.0037733.t001
- Hébert, S., & Carrier, J. (2007). Sleep complaints in elderly tinnitus patients: a controlled study. *Ear and Hearing*, *28*(5), 649-655. doi: 10.1097/AUD.0b013e31812f71cc
- Hébert, S., Fullum, S., & Carrier, J. (2011). Polysomnographic and quantitative electroencephalographic correlates of subjective sleep complaints in chronic tinnitus. *Journal of Sleep Research*, *20*(1), 38-44. doi: 10.1111/j.1365-2869.2010.00860.x
- Heijneman, K., de Kleine, E., Wiersenga-Post, E., & van Dijk, P. (2013). Can the tinnitus spectrum identify tinnitus subgroups? *Noise and Health*, *15*(63), 101-106. doi: 10.4103/1463-1741.110290
- Henry, J. A., Fausti, S. A., Flick, C. L., Helt, W. J., & Ellingson, R. M. (2000). Computer-Automated Clinical Technique for Tinnitus Quantification. *American Journal of Audiology*, *9*(1), 36-49. doi: 10.1044/1059-0889(2000/002)

- Henry, J. A., Flick, C. L., Gilbert, A., Ellingson, R. M., & Fausti, S. A. (1999). Reliability of tinnitus loudness matches under procedural variation. *Journal of the American Academy of Audiology*, *10*(9), 502-520.
- Henry, J. A., Flick, C. L., Gilbert, A., Ellingson, R. M., & Fausti, S. A. (2001). Comparison of two computer-automated procedures for tinnitus pitch matching. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, *38*(5), 557-566. Retrieved from <http://web.ebscohost.com/ehost/detail?sid=459b41bc-46d3-4758-9131-1343e9d736f9%40sessionmgr4002&vid=1&hid=4106&bdata=Jmxhbm9ZnImc210ZT1laG9zdC1saXZl#db=s3h&AN=5563286>
- Henry, J. A., James, K. E., Owens, K., Zaugg, T., Porsov, E., & Silaski, G. (2009). Auditory test result characteristics of subjects with and without tinnitus. *The Journal of Rehabilitation Research and Development*, *46*(5), 619. doi: 10.1682/jrrd.2008.11.0157
- Henry, J. A., McMillan, G. P., Thielman, E. J., Galvez, G., Zaugg, T. L., Porsov, E., & Silaski, G. (2013). Evaluating psychoacoustic measures for establishing presence of tinnitus. *The Journal of Rehabilitation Research and Development*, *50*(4), 573-584. doi: 10.1682/jrrd.2012.05.0090
- Henry, J. A., & Meikle, M. B. (2000). Psychoacoustic Measures of Tinnitus. *Journal of the American Academy of Audiology*, *11*(3), 138-155.
- Henry, J. A., Rheinsburg, B., & Ellingson, R. M. (2004). Computer-automated tinnitus assessment using patient control. *The Journal of Rehabilitation Research and Development*, *41*(6), 871-888. doi: 10.1682/jrrd.2003.10.0158
- Henry, J. A., Rheinsburg, B., Owens, K. K., & Ellingson, R. M. (2006). New instrumentation for automated tinnitus psychoacoustic assessment. *Acta Oto-laryngologica*, *126*(556), 34-38. doi: 10.1080/03655230600895291
- Hesser, H., Weise, C., Westin, V. Z., & Andersson, G. (2011). A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials of cognitive-behavioral therapy for tinnitus distress. *Clinical Psychology Review*, *31*(4), 545-553. doi: 10.1016/j.cpr.2010.12.00
- Hiller, W., & Goebel, G. (2006). Factors influencing tinnitus loudness and annoyance. *Archives of Otolaryngology - Head & Neck Surgery*, *132*(12), 1323-1330. Retrieved from <http://archotol.jamanetwork.com/article.aspx?articleid=484595>
- Hiller, W., & Goebel, G. (2007). When Tinnitus Loudness and Annoyance Are Discrepant: Audiological Characteristics and Psychological Profile. *Audiology and Neurotology*, *12*(6), 391-400. doi: 10.1159/000106482
- Hoffman, H. J., & Reed, G. W. (2004). Epidemiology of tinnitus. In J. B. Snow (Ed.), *Tinnitus : Theory and Management* (pp. 16-41). London: BC Decker.

- Holgers, K.-M., Barrenäs, M.-L., Svedlund, J., & Zöger, S. (2003). Clinical Evaluation of Tinnitus: a Review. *Audiological Medicine*, 2, 101-106. doi: 10.1080/16513860310009133
- Hsu, S. Y., Wang, P. C., Yang, T. H., Lin, T. F., Hsu, S. H., & Hsu, C. J. (2013). Auditory efferent dysfunction in normal-hearing chronic idiopathic tinnitus. *B-ENT*, 9(2), 101-109.
- Hutchins, S., & Peretz, I. (2012). A frog in your throat or in your ear? Searching for the causes of poor singing. *Journal of Experimental Psychology: General*, 141(1), 76-97. doi: 10.1037/a0025064 21875245
- Hutchins, S., Roquet, C., & Peretz, I. (2012). The vocal generosity effect: How bad can your singing be? *Music Perception*, 30(2), 147-159. doi: 10.1525/mp.2012.30.2.147
- Jacobson, G. P., Henderson, J. A., & McCaslin, D. L. (2000). A re-evaluation of tinnitus reliability testing. *Journal of the American Academy of Audiology*, 11(3), 156-161.
- Jansen, E. J., Helleman, H. W., Dreschler, W. A., & de Laat, J. A. (2009). Noise induced hearing loss and other hearing complaints among musicians of symphony orchestras. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 82(2), 153-164. doi: 10.1007/s00420-008-0317-1
- Jastreboff, P. J. (1990). Phantom auditory perception (tinnitus): mechanisms of generation and perception. *Neuroscience Research*, 8(4), 221-254.
- Jastreboff, P. J., & Jastreboff, M. M. (2003). Tinnitus Retraining Therapy for patients with tinnitus and decreased sound tolerance. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 36(2), 321-336. doi: 10.1016/s0030-6665(02)00172-x
- Johnson, R. M., Brummett, R., & Schleuning, A. (1993). Use of alprazolam for relief of tinnitus. A double-blind study. *Archives of Otolaryngology - Head & Neck Surgery*, 119(8), 842-845. doi: 10.1001/archotol.1993.01880200042006
- Joos, K., Vanneste, S., & De Ridder, D. (2012). Disentangling depression and distress networks in the tinnitus brain. *PLoS ONE*, 7(7), e40544. doi: 10.1371/journal.pone.0040544
- Kähärit, K., Zachau, G., Eklöf, M., Sandsjö, L., & Möller, C. (2003). Assessment of hearing and hearing disorders in rock/jazz musicians. *International Journal of Audiology*, 42(5), 279-288. doi: 10.3109/14992020309078347
- Kaltenbach, J. A., & Afman, C. E. (2000). Hyperactivity in the dorsal cochlear nucleus after intense sound exposure and its resemblance to tone-evoked activity: a physiological model for tinnitus. *Hearing Research*, 140(1-2), 165-172. doi: 10.1016/S0378-5955(99)00197-5

- Kaltenbach, J. A., Zacharek, M. A., Zhang, J., & Frederick, S. (2004). Activity in the dorsal cochlear nucleus of hamsters previously tested for tinnitus following intense tone exposure. *Neuroscience Letters*, 355(1-2), 121-125. doi: 10.1016/j.neulet.2003.10.038
- Kameda, K., Shono, T., Hashiguchi, K., Yoshida, F., & Sasaki, T. (2010). Effect of tumor removal on tinnitus in patients with vestibular schwannoma. *Journal of Neurosurgery*, 112(1), 152-157. doi: 10.3171/2009.3.JNS081053
- Karatas, E., & Deniz, M. (2011). The comparison of acoustic and psychic parameters of subjective tinnitus. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 269(2), 441-447. doi: 10.1007/s00405-011-1655-2
- Kay, F., Searchfield, G. D., Coad, G., & Koyabashi, K. (2008). Towards improving the assessment of tinnitus pitch. *The New Zealand Audiological Society Bulletin*, 18, 27-41.
- König, O., Schaette, R., Kempster, R., & Gross, M. (2006). Course of hearing loss and occurrence of tinnitus. *Hearing Research*, 221(1-2), 59-64. doi: 10.1016/j.heares.2006.07.007
- Kuk, F. K., Tyler, R. S., Russell, D., & Jordan, H. (1990). The psychometric properties of a Tinnitus Handicap Questionnaire. *Ear and Hearing*, 11(6), 434-445.
- Kunz, M., Lautenbacher, S., LeBlanc, N., & Rainville, P. (2012). Are both the sensory and the affective dimensions of pain encoded in the face? *Pain*, 153(2), 350-358. doi: 10.1016/j.pain.2011.10.027
- Langguth, B., Goodey, R., Azevedo, A., Bjorne, A., Cacace, A., Crocetti, A., . . . Vergara, R. (2007). Consensus for tinnitus patient assessment and treatment outcome measurement: Tinnitus Research Initiative meeting, Regensburg, July 2006. *Progress in Brain Research*, 166, 525-536. doi: 10.1016/s0079-6123(07)66050-6
- Langguth, B., Searchfield, G., Biesinger, E., & Greimel, K. (2011). History and Questionnaires. In A. Moller, B. Langguth, D. De Ridder & T. Kleinjung (Eds.), *Textbook of Tinnitus* (pp. 387-404). New York: Springer.
- Lasisi, A. O., & Gureje, O. (2011). Prevalence of insomnia and impact on quality of life among community elderly with tinnitus. *Annals of Otology, Rhinology, and Laryngology*, 120(4), 226-230. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3097393/>
- Lim, J. J., Lu, P. K., Koh, D. S., & Eng, S. P. (2010). Impact of tinnitus as measured by the Tinnitus Handicap Inventory among tinnitus sufferers in Singapore. *Singapore Medical Journal*, 51(7), 551-557. Retrieved from <http://smj.sma.org.sg/5107/5107a1.pdf>
- Lockwood, A. H., Salvi, R. J., & Burkard, R. F. (2002). Tinnitus. *The New England Journal of Medicine*, 347(12), 904-910. doi: 10.1056/NEJMra013395

- Maes, I. H. L., Cima, R. F. F., Vlaeyen, J. W., Anteunis, L. J. C., & Joore, M. A. (2013). Tinnitus: A cost study. *Ear and Hearing, 34*(4), 508-514. doi: 10.1097/AUD.0b013e31827d113a
- Martines, F., Bentivegna, D., Di Piazza, F., Martines, E., Sciacca, V., & Martinciglio, G. (2010). Investigation of Tinnitus Patients in Italy: Clinical and Audiological Characteristics. *International Journal of Otolaryngology, 2010*, 265861. doi: 10.1155/2010/265861
- McNeill, C., Tavora-Vieira, D., Alnafjan, F., Searchfield, G. D., & Welch, D. (2012). Tinnitus pitch, masking, and the effectiveness of hearing aids for tinnitus therapy. *International Journal of Audiology, 51*(12), 914-919. doi: 10.3109/14992027.2012.721934
- Meikle, M. B., Stewart, B. J., Griest, S. E., & Henry, J. A. (2008). Tinnitus Outcomes Assessment. *Trends in Amplification, 12*(3), 223-235. doi: 10.1177/1084713808319943
- Meric, C., Pham, E., & Chéry-Croze, S. (1997). Traduction et validation du questionnaire « Mesure du handicap lié à l'acouphène » (Tinnitus Handicap Questionnaire 1990). *The Journal of Otolaryngology, 26*(3), 167-170.
- Micheyl, C., Delhommeau, K., Perrot, X., & Oxenham, A. J. (2006). Influence of musical and psychoacoustical training on pitch discrimination. *Hearing Research, 219*(1-2), 36-47. doi: 10.1016/j.heares.2006.05.004
- Mitchell, C. R., Vernon, J. A., & Creedon, T. A. (1993). Measuring tinnitus parameters: loudness, pitch and maskability. *Journal of the American Academy of Audiology, 4*(3), 139-151.
- Moffat, G., Adjout, K., Gallego, S., Thai-Van, H., Collet, L., & Noreña, A. J. (2009). Effects of hearing aid fitting on the perceptual characteristics of tinnitus. *Hearing Research, 254*(1-2), 82-91. doi: 10.1016/j.heares.2009.04.016
- Moore, B. C. J., Vinay, & Sandhya. (2010). The relationship between tinnitus pitch and the edge frequency of the audiogram in individuals with hearing impairment and tonal tinnitus. *Hearing Research, 261*(1-2), 51-56. doi: 10.1016/j.heares.2010.01.003
- Nageris, B. I., Attias, J., & Raveh, E. (2010). Test-retest tinnitus characteristics in patients with noise-induced hearing loss. *American Journal of Otolaryngology, 31*(3), 181-184. doi: 10.1016/j.amjoto.2008.12.007
- Newman, C. W., Jacobson, G. P., & Spitzer, J. B. (1996). Development of the Tinnitus Handicap Inventory. *Archives of Otolaryngology - Head & Neck Surgery, 122*(2), 142-148. doi: 10.1001/archotol.1996.01890140029007



- Newman, C. W., Wharton, J. A., Shivapuja, B. G., & Jacobson, G. P. (1994). Relationships among psychoacoustic judgments, speech understanding ability and self-perceived handicap in tinnitus subjects. *Audiology*, 33(1), 47-60. Retrieved from <http://search.proquest.com/docview/194775993?accountid=12543>
- Norena, A. J. (2011). An integrative model of tinnitus based on a central gain controlling neural sensitivity. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 35(5), 1089-1109. doi: 10.1016/j.neubiorev.2010.11.003
- Noreña, A. J., & Eggermont, J. J. (2003). Changes in spontaneous neural activity immediately after an acoustic trauma: implications for neural correlates of tinnitus. *Hearing Research*, 183(1-2), 137-153. doi: 10.1016/s0378-5955(03)00225-9
- Noreña, A. J., Micheyl, C., Chéry-Croze, S., & Collet, L. (2002). Psychoacoustic characterization of the tinnitus spectrum: implications for the underlying mechanisms of tinnitus. *Audiology & Neuro-Otology*, 7(6), 358-369. doi: 10.1159/000066156
- Pan, T., Tyler, R. S., Ji, H., Coelho, C., Gehringer, A. K., & Gogel, S. A. (2009). The relationship between tinnitus pitch and the audiogram. *International Journal of Audiology*, 48(5), 277-294. doi: 10.1080/14992020802581974
- Penner, M. J., & Bilger, R. C. (1992). Consistent within-session measures of tinnitus. *Journal of Speech and Hearing Research*, 35(3), 694-700.
- Penner, M. J., & Klafter, E. J. (1992). Measures of Tinnitus: Step Size, Matches to Imagined Tones, and Masking Patterns. *Ear and Hearing*, 13(6), 410-416.
- Penner, M. J., & Saran, A. (1994). Simultaneous Measurement of Tinnitus Pitch and Loudness. *Ear and Hearing*, 15(6), 416-421.
- Pridmore, S., Walter, G., & Friedland, P. (2012). Tinnitus and suicide: recent cases on the public record give cause for reconsideration. *Otolaryngology -- Head and Neck Surgery*, 147(2), 193-195. doi: 10.1177/0194599812446286
- Rainville, P., Bao, Q. V., & Chretien, P. (2005). Pain-related emotions modulate experimental pain perception and autonomic responses. *Pain*, 118(3), 306-318. doi: 10.1016/j.pain.2005.08.022
- Rainville, P., Carrier, B., Hofbauer, R. K., Bushnell, M. C., & Duncan, G. H. (1999). Dissociation of sensory and affective dimensions of pain using hypnotic modulation. *Pain*, 82(2), 159-171. doi: 10.1016/S0304-3959(99)00048-2
- Ralli, M., Lobarinas, E., Fetoni, A. R., Stolzberg, D., Paludetti, G., & Salvi, R. (2010). Comparison of salicylate- and quinine-induced tinnitus in rats: development, time course, and evaluation of audiologic correlates. *Otology and Neurotology*, 31(5), 823-831. doi: 10.1097/MAO.0b013e3181de4662

- Roberts, L. E., Husain, F. T., & Eggermont, J. J. (2013). Role of attention in the generation and modulation of tinnitus. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 37(8), 1754-1773. doi: 10.1016/j.neubiorev.2013.07.007
- Roberts, L. E., Moffat, G., Baumann, M., Ward, L. M., & Bosnyak, D. J. (2008). Residual Inhibition Functions Overlap Tinnitus Spectra and the Region of Auditory Threshold Shift. *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*, 9(4), 417-435. doi: 10.1007/s10162-008-0136-9
- Roberts, L. E., Moffat, G., & Bosnyak, D. J. (2006). Residual inhibition functions in relation to tinnitus spectra and auditory threshold shift. *Acta Oto-laryngologica*, 126(s556), 27-33. doi: 10.1080/03655230600895358
- Savastano, M. (2007). Characteristics of tinnitus in childhood. *European journal of pediatrics* 166(8), 797-801. doi: 10.1007/s00431-006-0320-z
- Savastano, M. (2008). Tinnitus with or without hearing loss: are its characteristics different? *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 265(11), 1295-1300. doi: 10.1007/s00405-008-0630-z
- Schaette, R., & Kempster, R. (2006). Development of tinnitus-related neuronal hyperactivity through homeostatic plasticity after hearing loss: a computational model. *European Journal of Neuroscience*, 23(11), 3124-3138. doi: 10.1111/j.1460-9568.2006.04774.x
- Schecklmann, M., Vielsmeier, V., Steffens, T., Landgrebe, M., Langguth, B., & Kleinjung, T. (2012). Relationship between Audiometric Slope and Tinnitus Pitch in Tinnitus Patients: Insights into the Mechanisms of Tinnitus Generation. *PLoS ONE*, 7(4), e34878. doi: 10.1371/journal.pone.0034878
- Schlauch, R. S., & Nelson, P. (2009). Puretone Evaluation. In J. Katz (Ed.), *Handbook of Clinical Audiology* (Sixth ed., pp. 30-49). New York: Lippincott Williams & Wilkins.
- Sereda, M., Hall, D. A., Bosnyak, D. J., Edmondson-Jones, M., Roberts, L. E., Adjamian, P., & Palmer, A. R. (2011). Re-examining the relationship between audiometric profile and tinnitus pitch. *International Journal of Audiology*, 50(5), 303-312. doi: 10.3109/14992027.2010.551221
- Shargorodsky, J., Curhan, G. C., & Farwell, W. R. (2010). Prevalence and Characteristics of Tinnitus among US Adults. *The American Journal of Medicine*, 123(8), 711-718. doi: 10.1016/j.amjmed.2010.02.015
- Shekhawat, G. S., Searchfield, G. D., & Stinear, C. M. (2014). The relationship between tinnitus pitch and hearing sensitivity. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 271(1), 41-48. doi: 10.1007/s00405-013-2375-6

- Shulman, A. (1991). Epidemiology of Tinnitus. In A. Shulman, J.-M. Aran, J. Tonndorf, H. Feldmann & J. A. Vernon (Eds.), *Tinnitus : Diagnosis/Treatment*. Philadelphia: Lea & Febiger.
- Sindhusake, D., Mitchell, P., Newall, P., Golding, M., Rochtchina, E., & Rubin, G. (2003). Prevalence and characteristics of tinnitus in older adults: the Blue Mountains Hearing Study. *International Journal of Audiology*, 42(5), 289-294. doi: 10.3109/14992020309078348
- Stolzberg, D., Salvi, R. J., & Allman, B. L. (2012). Salicylate toxicity model of tinnitus. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 6, 28. doi: 10.3389/fnsys.2012.00028
- Tyler, R. S., & Conrad-Arnes, D. (1983a). The determination of tinnitus loudness considering the effects of recruitment. *Journal of Speech and Hearing Research*, 26(1), 59-72.
- Tyler, R. S., & Conrad-Arnes, D. (1983b). Tinnitus Pitch: A Comparison of Three Measurement Methods. *British Journal of Audiology*, 17(2), 101-107.
- Vanneste, S., van Dongen, M., De Vree, B., Hiseni, S., van der Velden, E., Strydis, C., . . . De Ridder, D. (2013). Does enriched acoustic environment in humans abolish chronic tinnitus clinically and electrophysiologically? A double blind placebo controlled study. *Hearing Research*, 296, 141-148. doi: 10.1016/j.heares.2012.10.003
- Vernon, J. A., & Meikle, M. B. (2003). Tinnitus: clinical measurement. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 36(2), 293-305. doi: 10.1016/s0030-6665(02)00162-7
- Villemure, C., & Bushnell, M. C. (2002). Cognitive modulation of pain: how do attention and emotion influence pain processing? *Pain*, 95(3), 195-199. doi: 10.1016/S0304-3959(02)00007-6
- Villemure, C., & Bushnell, M. C. (2009). Mood influences supraspinal pain processing separately from attention. *Journal of Neuroscience*, 29(3), 705-715. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3822-08.2009
- Wahlström, B., & Axelsson, A. (1995 ). *The description of tinnitus sounds*. . Paper presented at the Fifth International Tinnitus Seminar, Portland, OR.
- Ward, L. M., & Baumann, M. (2009). Measuring tinnitus loudness using constrained psychophysical scaling. *American Journal of Audiology*, 18(2), 119-128. doi: 10.1044/1059-0889(2009/07-0033)
- Weisz, N., Hartmann, T., Dohrmann, K., Schlee, W., & Norena, A. (2006). High-frequency tinnitus without hearing loss does not mean absence of deafferentation. *Hearing Research*, 222(1-2), 108-114. doi: 10.1016/j.heares.2006.09.003

- Wilson, P. H., Henry, J., Bowen, M., & Haralambous, G. (1991). Tinnitus reaction questionnaire: psychometric properties of a measure of distress associated with tinnitus. *Journal of Speech and Hearing Research*, 34(1), 197-201.
- Yankaskas, K. (2013). Prelude: Noise-induced tinnitus and hearing loss in the military. *Hearing Research*, 295, 3-8. doi: 10.1016/j.heares.2012.04.016
- Zarate, J. M., Ritson, C. R., & Poeppel, D. (2012). Pitch-interval discrimination and musical expertise: Is the semitone a perceptual boundary? *The Journal of the Acoustical Society of America*, 132(2), 984-993. doi: 10.1121/1.4733535
- Zhou, X., Henin, S., Long, G. R., & Parra, L. C. (2011). Impaired cochlear function correlates with the presence of tinnitus and its estimated spectral profile. *Hearing Research*, 277(1-2), 107-116. doi: 10.1016/j.heares.2011.02.006

# ANNEXE 1 : Tinnitus Handicap Questionnaire (version française)

## Mesure de handicap lié à l'acouphène

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

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 me 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 \_\_\_\_\_

## ANNEXE 2 : Échelles visuelles analogues (VAS)

1. Sur une échelle de pas dérangeant à très dérangeant, barrer la ligne à l'endroit correspondant le mieux à votre acouphène habituellement.



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



3. Sur une échelle de très faible à très fort, barrer la ligne à l'endroit correspondant le mieux au niveau sonore de votre acouphène habituellement.



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



5. Sur une échelle de presque jamais porter à toujours porter, barrer la ligne à l'endroit correspondant le mieux au degré d'attention porté sur votre acouphène.

