Article original

Vers un complément à l'audiométrie tonale pour le suivi auditif du militaire

E. VANNSON[1], L. CASSOU[2], P. RAJOELISON[3], N. PARAOUTY[4], N. WALLAERT[5], C. LORENZI[6], J.-C. BOUY[7], C. SUIED[8], T. FUX[9], G. ANDÉOL[10]

(1) École du Val-de-Grâce, 1 place Alphonse Laveran – 75230 Paris Cedex 05.
(2) 11e CMA, 179e AM, Quartier Soult, BP 1430 – 65014 Tarbes Cedex.
(3) 5e CMA, 43e AM, quartier Rabier – 57404 Sarrebourg Cedex.
(4)(5)(6) Laboratoire des systèmes perceptifs, CNRS UMR 8248, Institut d'Étude de la Cognition, École normale supérieure, Paris Sciences et Lettres Research University, 29 rue d'Ulm – 75005 Paris.
(7)(8)(9)(10) Institut de recherche biomédicale des armées, Département Action et cognition en situation opérationnelle, Unité Perception, BP 73 – 91223 Brétigny-sur-Orge Cedex

Auteur correspondant : guillaume.andeol@intradef.gouv.fr

Open access DOI
10.17184/eac.6446

Reçu
le 2 février 2018

Accepté
le 3 janvier 2019

Publié
le 26 septembre 2022

Conflit d'intérêt :
Les auteurs ne déclarent pas de conflit d'intérêt.

Résumé :

Le suivi auditif des militaires exposés au bruit repose actuellement sur l'audiométrie tonale liminaire. Des travaux chez l'animal ont montré qu'une exposition au bruit pouvait entraîner l'apparition de synaptopathies cochléaires irrémédiables, malgré une élévation transitoire des seuils auditifs liminaires. L'extrapolation à l'humain suggère que l'exposition au bruit pourrait entraîner des lésions non détectables par l'audiométrie tonale liminaire réalisée à distance de l'exposition au bruit. Ainsi les synaptopathies cochléaires sont également appelées « pertes auditives cachées » ou « hidden hearing loss ». Cependant, leur existence chez l'humain normo-entendant demeure incertaine. Pour tenter de répondre à cette question, l'Institut de recherche biomédicale des armées a mesuré les capacités auditives supraliminaires de 35 sujets normo-entendants ayant entre une et 24 années d'exposition professionnelle au bruit. Les résultats montrent que les scores d'identification de parole en environnement bruyant et la capacité à détecter une modulation de fréquence, se dégradent avec le nombre d'années d'exposition, indépendamment de l'âge des sujets. Ces résultats pourraient être compatibles avec la présence de synaptopathies cochléaires. Ils suggèrent que le suivi auditif du militaire pourrait être amélioré par la réalisation de tests type audiométrie vocale dans le bruit. Ces tests nécessitent d'être validés par la mise en place d'études longitudinales incorporant des sujets exposés au bruit.

Mots-clés : Audition. Bruit. Protection. Surveillance médicale. Traumatisme sonore.

Abstract:

TOWARD A COMPLEMENT TO AUDIOMETRY FOR AUDITORY SURVEILLANCE WITHIN THE MILITARY.

The auditory surveillance of military personnel exposed to noise is based on threshold tonal audiometry. Animal studies have shown that noise exposure which causes temporary threshold shifts may lead to synaptopathy between the inner hair cells and the auditory nerve. Extrapolation to humans suggests that noise exposure can lead to auditory lesions undiagnosed by threshold tonal audiometry (so called "hidden hearing loss"). However, recent studies disagree about the presence of cochlear synaptopathy in normal hearing humans. The French Armed Forces biomedical research institute is currently conducting studies in order to clarify this issue which could lead to a better understanding of the consequences of noise exposure and hence, update the noise exposure and protection standards. The present study was conducted among 35 normal-hearing listeners. The results show that listeners exposed for the longest time have poorer scores in consonant recognition in noise and in frequency modulation detection. Those results are consistent with noise induced cochlear synaptopathies. Speech in noise tests could improve the auditory surveillance in the military. Nevertheless, additional data from similar ongoing studies as well as longitudinal studies is needed to confirm our main finding.

Keywords: Acoustic trauma. Audition. Medical surveillance. Noise. Protection.

Introduction

Au cours de sa carrière, le militaire est sujet à un risque élevé de lésions auditives du fait de son exposition au bruit impulsionnel (tir d'arme) et au bruit continu (moteur d'engin). Le suivi auditif du militaire est réalisé par audiométrie tonale. Cette méthode consiste à déterminer le seuil liminaire d'audition par voie aérienne pour des sons purs. Une série de travaux de Liberman et Kujawa (1, 2) menés chez le rongeur pourraient conduire à reconsidérer la pertinence de l'audiométrie tonale pour le suivi auditif des personnes exposées au bruit. Les auteurs observent après exposition au bruit (100 dB SPL pendant 2h), une altération transitoire des mécanismes cochléaires : les seuils d'apparition de signaux électrophysiologiques auditifs, produits de distorsion acoustique, potentiels évoqués précoces, s'élèvent, indiquant respectivement une

atteinte des cellules ciliées externes et des premières synapses des voies auditives afférentes (2). Malgré un retour à la normale de ces seuils électrophysiologiques deux semaines après le traumatisme acoustique, les auteurs mettent en évidence des lésions synaptiques majeures entre les cellules ciliées internes et le nerf auditif. En dépit d'une préservation des seuils auditifs chez les animaux exposés, jusqu'à 80 % des synapses peuvent disparaître. Ces lésions synaptiques sont appelées synaptopathies cochléaires ou « pertes auditives cachées » car elles ne seraient pas détectables par l'audiométrie tonale. Les synaptopathies cochléaires induites par le bruit concerneraient préférentiellement l'une des trois populations de fibres auditives : les fibres auditives afférentes à seuil haut. Ces fibres jouent un rôle dans l'encodage des signaux supraliminaires de forte intensité. À l'inverse, les fibres à seuil bas, codant pour les sons de faible intensité, seraient indemnes de synaptopathies (1), ce qui expliquerait le retour à la normale des seuils auditifs liminaires après le traumatisme.

Les résultats de Kujawa et Liberman suggèrent que chez l'humain un retour à la normale des seuils audiométriques après une exposition à un bruit intense pourrait cacher la présence de synaptopathies cochléaires. La notion de simple « fatigue auditive » semble ainsi remise en question. Les normes de protection et d'exposition au bruit actuellement en vigueur ont été déterminées à partir de données d'audiométrie tonale (3). Or, l'intégrité des fibres à seuil haut n'est pas évaluée par l'audiométrie tonale. Si l'existence des « pertes auditives cachées , » était avérée chez l'homme, une réflexion pourrait être engagée pour en tenir compte dans une prochaine version des normes de protection et d'exposition.

Différentes études ont investigué l'existence des « pertes auditives cachées » chez l'humain. La plupart ont comparé différents groupes de sujets séparés en fonction de leur risque d'être porteurs ou non de synaptopathies cochléaires (4, 5). Les comparaisons portaient sur une série de mesures comportementales et physiologiques. Le risque de synaptopathie était déterminé à partir des réponses à un questionnaire visant à estimer l'exposition au bruit des sujets. Les mesures comportementales utilisées dans ces études évaluaient la compréhension des signaux de parole dans le bruit. En effet, en environnement bruyant, les fibres à seuil bas seraient saturées par le bruit et l'analyse des signaux de parole reposerait alors essentiellement sur l'analyse de l'activité des fibres à seuil haut. Quant aux mesures physiologiques, elles quantifient l'activité électrique synaptique entre la cellule ciliée interne et les fibres auditives afférentes ; cette activité serait modifiée en cas de lésion synaptique. Au final, les résultats de ces études divergent et l'existence de « pertes auditives cachées » chez l'homme fait l'objet de débats (4-6). La difficulté à évaluer l'exposition au bruit d'une personne *via* un questionnaire pourrait expliquer une part de ces divergences. Le recours à une variable objective pour évaluer l'exposition au bruit faciliterait la comparaison entre les sujets.

Les synaptopathies cochléaires provoquent une diminution du nombre de fibres auditives afférentes connectées aux cellules ciliées internes. À basse cadence de modulation et basse fréquence porteuse, la capacité à détecter une variation de la fréquence d'un son est dépendante d'un mécanisme temporel, appelé verrouillage de phase. Le verrouillage de phase décrit la propriété des fibres auditives à produire des potentiels d'action synchronisés avec la phase de la stimulation acoustique. Les potentiels d'action sont alors séparés dans le temps par un multiple entier de la période (la période

étant l'inverse de la fréquence). Toutefois, pour obtenir une information exploitable, l'activité de plusieurs fibres doit être combinée en raison de leur activité stochastique. La réduction du nombre de fibres auditives consécutivement à la synaptopathie cochléaire, dégraderait alors le codage temporel de la fréquence. Le codage temporel de la fréquence jouerait un rôle dans la compréhension de la parole en environnement bruyant (7). Une diminution des capacités à détecter une variation de fréquence pourrait alors expliquer les troubles d'intelligibilité dont souffriraient les porteurs de synaptopathies cochléaires.

La présente étude évalue l'existence d'un lien entre différentes mesures psychophysiques effectuées chez des sujets normo-entendants et leur exposition au bruit, estimée par l'ancienneté de l'exposition au bruit. Ainsi, l'exposition au bruit est quantifiée par une variable objective (l'ancienneté de l'exposition au bruit mesurée en années) en lieu et place d'un questionnaire qui fournirait une évaluation trop subjective. Différentes mesures psychophysiques, supposées être affectées en présence de synaptopathies cochléaires (8), ont été réalisées : mesure du seuil de détection de modulation de fréquence (9) et un type d'audiométrie vocale dans le bruit (10). Dans notre étude, le test d'audiométrie vocale dans le bruit est une tâche d'identification de consonnes (10-12). L'utilisation de consonnes, en lieu et place de mots, permet de s'affranchir de certains effets de plus haut niveau (e.g. suppléance mentale, impact des connaissances sémantiques ou linguistiques).

1 Matériels et méthodes

1.1 Participants

Trente-cinq sujets normo-entendants volontaires ont participé à l'étude. L'âge des sujets était compris entre 26 et 49 (moyenne = 35±6) ans. Les sujets étaient tous des militaires exposés à de forts niveaux de bruit continus (moteur d'engins). Leurs seuils tonaux liminaires à l'oreille droite étaient inférieurs ou égaux à 20 dB HL aux fréquences d'octave entre 0,125 à 8 kHz. Le protocole de l'étude a reçu un avis favorable du Comité de protection des personnes Sud-Ouest et outre-mer II. Le travail présenté fait partie d'un projet en cours comportant d'autres tests auditifs comportementaux et électrophysiologiques. Il a été choisi de présenter ici les données des tests les plus pertinents au regard de la littérature sur les synaptopathies.

1.2 Laboratoire mobile d'audition

Les tests ont été réalisés dans le laboratoire mobile d'audition (LAMA) de l'Institut de recherche biomédicale des armées (fig. 1). Le LAMA se composait de quatre cabines audiométriques permettant de réaliser sur le terrain des tests auditifs dans des conditions équivalentes à celles de l'hôpital ou du laboratoire. Chaque cabine disposait d'instruments expérimentaux pilotables à distance depuis la salle de contrôle (fig. 2).

Les quatre cabines étaient utilisées simultanément afin d'optimiser le temps de passation expérimentale d'un groupe de sujets. Une installation audio/vidéo permettait de communiquer avec les quatre sujets et ainsi de maintenir un contact pour le rappel des consignes, l'entretien de la motivation et le contrôle de leur état d'éveil.



Figure 1. Vue extérieure du Laboratoire mobile d'audiométrie (LAMA).



Figure 2. Vue intérieure du LAMA. Un écran vidéo au centre à droite montre les images des participants dans les quatre cabines. Au centre à gauche se trouvent les quatre ordinateurs « fils » portables, écrans rabattus auxquels sont reliés les écrans, claviers et souris de chaque cabine. Sous ces ordinateurs, est situé l'ordinateur « père » dont l'écran est visible en bas au centre. Il est possible d'y voir les quatre écrans correspondant aux ordinateurs « fils ».

1.3 Mesure du seuil de détection de modulation de fréquence

Les stimuli étaient construits à partir d'un signal porteur sinusoïdal de 500 Hz. Pour le signal cible, une modulation de fréquence sinusoïdale était appliquée au signal porteur. Pour l'ensemble des stimuli (signal cible et signal standard), une modulation sinusoïdale d'amplitude était appliquée de façon à ce que la détection de la modulation de fréquence soit réalisée principalement à partir des indices liés au codage temporel. Pour le signal standard, la profondeur de modulation (Δf) était fixée à 0. La valeur de Δf pour le signal cible était modifiée de façon adaptative pour déterminer le seuil auditif.

Tous les stimuli ont été générés numériquement en utilisant une fréquence d'échantillonnage de 44,1 kHz, puis furent présentés aux sujets à un niveau de présentation

de 10 dB SL et 60 dB SL, *via* un casque Beyer DT 770 et une carte son externe AudioEngine D3. Les stimuli ont été présentés de façon monaurale, sur l'oreille droite. Le seuil était calculé selon une procédure à deux intervalles en choix forcé. Chaque essai contenait un signal cible (modulé en fréquence) et un signal standard (non modulé), présentés dans un ordre aléatoire, séparés par un intervalle de silence de 600 ms. Le sujet indiquait le stimulus contenant la modulation de fréquence, puis était informé de la justesse de sa réponse par un signal lumineux. La durée des stimuli était fixée à 1 200 ms. La détermination du seuil s'effectuait en suivant une procédure 2 bas 1 haut. La Δf diminuait lorsque le sujet répondait correctement deux fois consécutivement et augmentait en cas d'erreur. Le test s'arrêtait au bout de quatorze inversions, définies comme une augmentation suivie d'une diminution de Δf ou réciproquement. Le seuil de détection était calculé à partir de la moyenne de Δf sur les six dernières inversions. Trois estimations de seuils ont été réalisées pour chaque niveau d'intensité. La valeur finale retenue correspondait à la meilleure des performances obtenues lors des trois tests.

1.4 Identification de consonnes dans le bruit

Quarante-huit logatomes de type vCvCv (voyelle-Consonne-voyelle-Consonne-voyelle) prononcés par un locuteur féminin ont été présentés dans le bruit (rapport signal/bruit de -10 à +10 dB par pas de 5 dB) et dans le silence aux sujets pour identification. Ces vCvCv consistaient en trois enregistrements de seize consonnes de la langue française (C = /p, t, k, b, d, g, f, s, ʃ, v, z, ʒ, l, m, n, r/), systématiquement présentés avec la voyelle /a/. La durée moyenne des logatomes était de 1 272 ±113 ms. Le bruit utilisé avait un spectre identique à celui des logatomes.

Pour chaque test, les 48 logatomes ont été présentés dans un ordre aléatoire. À chaque essai, le sujet devait indiquer la consonne qu'il pensait avoir perçue en cliquant sur la case correspondante sur une matrice comportant les 16 consonnes différentes. Aucun retour sur la justesse de la réponse n'était fourni. Le score d'identification correspondait au pourcentage de réponses correctes.

2 Résultats

2.1 Relation entre l'exposition au bruit et le seuil de détection de modulation de fréquence

La figure 3 représente le seuil de détection de fréquence estimé à 60 dB SL en fonction de l'ancienneté d'exposition au bruit des sujets. Plus l'ancienneté de l'exposition était importante, plus la profondeur de modulation devait être élevée pour être perçue par le sujet. Une corrélation positive significative (Pearson $R^2 = 0{,}22$; $p = 0{,}0041$) a été observée entre l'ancienneté de l'exposition au bruit et le seuil de détection de modulation de fréquence des signaux de haute intensité. Toutefois, la corrélation entre l'âge des sujets et le seuil de détection de modulation de fréquence était non significative ($R^2 = 0{,}05$; $p = 0{,}18$) suggérant que la dégradation des capacités à détecter une modulation de fréquence ne pouvait pas être expliquée par l'âge *per se*. Par ailleurs, la corrélation entre l'ancienneté de l'exposition au bruit et le seuil de détection de modulation de fréquence mesuré à faible intensité (i.e. 10 dB SL) était non significative ($R^2 = 0{,}04$; $p = 0{,}24$).

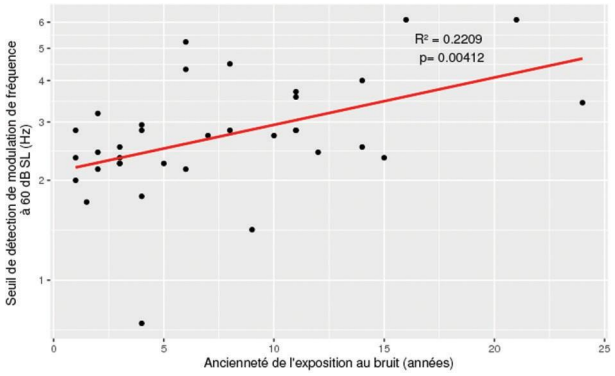


Figure 3. Seuil de détection d'une modulation de fréquence présentée à haute intensité (60 dB SL) en fonction de l'ancienneté de l'exposition au bruit des sujets.

2.2 Relation entre l'ancienneté de l'exposition au bruit et identification de consonnes dans le bruit

Seul le rapport signal sur bruit le plus défavorable (-10 dB) fut considéré pour les analyses, les scores de la plupart des sujets pour les autres rapports signal sur bruit étant proches du maximum (100 %).

La figue 4 représente les scores d'identification de consonnes dans le bruit en fonction de l'ancienneté de l'exposition au bruit. À nouveau, plus l'ancienneté de l'exposition était importante, plus les capacités d'identification de consonnes dans le bruit des sujets étaient dégradées ($R^2 = 0{,}22$; $p = 0{,}0033$). Cependant, la corrélation entre l'âge des sujets et les scores d'identification de consonnes dans le bruit s'approchait de la significativité ($R^2 = 0{,}08$; $p = 0{,}08$). Toutefois, cette corrélation devenait non significative dès lors que l'on contrôlait par l'ancienneté de l'exposition au bruit (corrélation partielle entre l'âge et les scores d'identification, en contrôlant par l'ancienneté de l'exposition au bruit : $R^2 = 0{,}017$; $p = 0{,}43$). À l'inverse, la corrélation entre les scores d'identification et l'ancienneté de l'exposition restait significative lorsque l'âge était pris en compte (corrélation partielle entre l'ancienneté de l'exposition et les scores d'identification, en contrôlant par l'âge : Pearson $R^2 = 0{,}16$; $p = 0{,}014$).

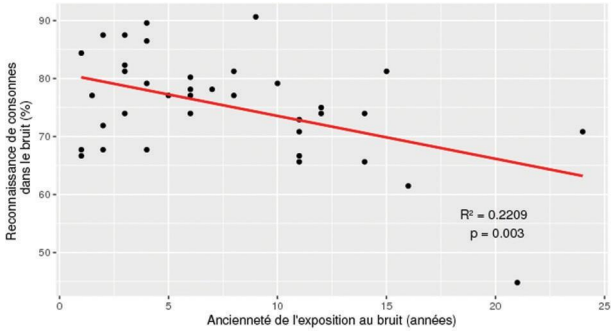


Figure 4. Score d'identification de consonnes présentées dans le bruit (RS/B = -10 dB) en fonction de l'ancienneté de l'exposition au bruit des sujets.

2.3 Relation entre seuil de détection de fréquence et identification de consonnes dans le bruit

La figure 5 représente les seuils d'identification de consonnes dans le bruit en fonction de la capacité à détecter une modulation de fréquence à forte intensité (60 dB SL). Une corrélation significative entre la capacité de codage temporel des signaux à haute intensité et les seuils d'identification de consonnes dans le bruit était observée ($R^2 = 0{,}18$; $p = 0{,}0099$). Cependant, cette corrélation était tirée par les performances de quelques sujets (n=2) présentant des seuils de détection de fréquences et d'identification de consonnes fortement affectés par l'exposition au bruit.

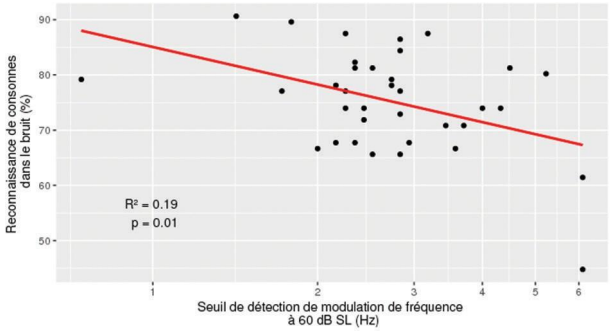


Figure 5. Score d'identification de consonnes présentées dans le bruit (RS/B = -10 dB) en fonction du seuil de détection d'une modulation de fréquence présentée à 60 dB SL.

3 Discussion

3.1 Effet différentiel de l'exposition au bruit sur le codage temporel

Nos résultats montrent que les seuils de détection de modulation de fréquence à forte intensité se dégradent à mesure que l'ancienneté de l'exposition au bruit augmente, malgré une préservation des seuils tonaux liminaires. Plusieurs études ont suggéré (13, 14) que la détection de modulation de fréquence à basse cadence de modulation et basse fréquence porteuse repose sur un codage temporel, suggérant ainsi que le codage temporel des signaux à forte intensité est moins performant chez les sujets exposés au bruit.

À l'inverse, la corrélation entre les seuils de détection de modulation de fréquence à faible intensité et l'ancienneté de l'exposition au bruit n'est pas significative. L'exposition au bruit conserverait les capacités de codage temporel pour les signaux de faible intensité. Cet effet différentiel de l'exposition au bruit sur le codage temporel corrobore les résultats précédemment obtenus chez le rongeur montrant que les fibres auditives codant pour les signaux de hautes intensités seraient plus fragiles que celles codant pour les signaux de basses intensités (1, 2). Une exposition chronique au bruit entraînerait une destruction des synapses reliant les cellules ciliées internes aux fibres afférentes auditives à seuil haut par exitotoxicité induite par le glutamate. La plus grande densité mitochondriale dans les fibres à seuil bas pourrait expliquer leur résistance, ainsi que la conservation des seuils audiométriques (15).

3.2 Détérioration des capacités d'identification de consonnes dans le bruit avec l'ancienneté de l'exposition

Les capacités d'identification de consonnes dans le bruit des sujets normo-entendants se dégradent à mesure que l'ancienneté de l'exposition au bruit augmente (fig. 4). Ce résultat corrobore l'hypothèse d'une dégradation du traitement sensoriel parallèlement à l'exposition au bruit. Cet effet délétère du bruit sur l'intelligibilité ne peut *a priori* pas être expliqué par des facteurs de plus haut niveau, l'utilisation de logatomes faisant appel principalement aux traitements dits de « bas niveaux ». Cette altération des capacités d'identification de consonnes dans le bruit pourrait provenir d'une altération du codage temporel (7).
En effet, la capacité du système auditif à percevoir des variations de fréquence de basse cadence de modulation est corrélée à l'intelligibilité de la parole dans le bruit (16, 17). Nos résultats confirment l'existence d'une corrélation significative entre la capacité à détecter une modulation de fréquence et les seuils d'identification de consonnes dans le bruit, suggérant que le codage temporel et l'identification de consonnes dans le bruit sont liés. Cette corrélation est cependant modérée. Cette faible relation entre les deux mesures pourrait être due au fait que la mesure du codage temporel est réalisée à basses fréquences (500 Hz), tandis que la reconnaissance des consonnes implique le traitement d'informations en provenance des hautes fréquences.

Comparaison avec des études précédentes

Les résultats des études précédentes sont divergents. Ainsi, l'étude de Liberman *et al.* (4) retrouve des scores d'identification de mots dans le bruit plus faibles chez un groupe de sujets jeunes fortement exposés au bruit (n= 22) comparativement à un groupe de sujets plus faiblement exposé (n=12). À l'inverse, l'étude de Prendergast *et al.* (5), réalisée sur 138 personnes, n'a pas permis d'objectiver de relation entre l'exposition au bruit et une série de tâches comportementales dont certaines mesuraient les capacités de codage temporel. La divergence entre ces études vient probablement en partie de la méthodologie utilisée pour estimer l'exposition au bruit des sujets dans les études précédentes (questionnaires). Notre étude, de par l'adoption d'une variable objective pour mesurer l'exposition au bruit, corrobore l'idée selon laquelle les capacités auditives supraliminaires se dégradent à mesure que l'ancienneté de l'exposition au bruit augmente.

3.3 Effet de l'âge

Chez les sujets relativement jeunes (de 26 à 49 ans, âge moyen de 35 ± 6 ans) inclus dans la présente étude, aucun effet délétère du vieillissement n'est observé sur la capacité à détecter une modulation de fréquence de basse cadence de modulation, dès lors que l'on contrôle par l'ancienneté de la durée d'exposition au bruit (bien que ces deux facteurs co-varient). Ce résultat contraste avec les résultats d'études précédentes (9, 18, 19). Cette différence peut toutefois s'expliquer par le fait que notre population était plus jeune que celles des études de Paraouty et Lorenzi (18) (sujets âgés de 20 à 70 ans), de Whiteford *et al.* (sujets âgés de 20 à 79 ans) (19) et de Wallaert *et al.* (50 à 64 ans) (9).

3.4 Perspectives

Au cours du projet dans lequel cette étude est incluse, d'autres tests ont été réalisés, d'une part chez les sujets de l'étude et d'autre part sur d'autres sujets présentant d'autres profils d'exposition au bruit (exposition de loisir, ou quasi-absence d'exposition). Le recueil de données est toujours en cours, il porte notamment sur des tests utilisés par d'autres équipes, en particulier les tests d'évaluation de l'intelligibilité de la parole en environnement bruyant pour des stimuli plus écologiques (mots). Cela facilitera la comparaison de nos résultats avec ceux de la littérature (4). Par ailleurs, des mesures électrophysiologiques sont également en cours de recueil pour évaluer chez le normo-entendant l'impact du bruit sur le fonctionnement des cellules ciliées externes (otoémissions) et internes (potentiels évoqués précoces).

Prochainement des mesures acoustiques seront réalisées *in situ* (i.e. microphone dans l'oreille) pour mieux déterminer les niveaux d'exposition au bruit des sujets.

3.5 Impact pour la surveillance des populations exposées au bruit

L'altération de certaines capacités auditives supraliminaires chez le normo-entendant exposé au bruit pourrait, si elle est confirmée, conduire à repenser les normes actuelles de protection et de surveillance des personnes exposées au bruit. Une remise en cause des pratiques nécessite au préalable un niveau de preuve élevé. Pour y parvenir, il faudra probablement mettre en place des études longitudinales sur un large effectif pour prendre en compte les facteurs liés à l'exposition (dose, type de bruit) et au sujet (variabilité inter-individuelle dans la sensibilité aux agressions sonores, variabilité dans les capacités perceptivo-cognitives).

Quoi qu'il en soit, les résultats de la présente étude incitent à interpréter avec prudence la normalité d'un bilan auditif réalisé par une audiométrie tonale liminaire chez des personnes exposées au bruit. L'hypothèse de troubles auditifs supraliminaires induits par le bruit, présents malgré une audiométrie tonale normale, permet d'insister sur la nécessité d'appliquer les mesures de protection contre le bruit. Pour rappel, la plaquette du « Groupe de travail DGA/SSA Bruit et surpressions » est un outil à l'usage du combattant permettant de connaître la protection recommandée selon le type d'exposition. En fonction des résultats des futures études, ces mesures de protection pourront être renforcées ou mises à jour.

Notre étude évalue l'effet d'une exposition prolongée à un bruit continu sur les capacités auditives supraliminaires de sujets normo-entendants. D'autres travaux seront menés pour réaliser des mesures similaires chez les sujets normo-entendants exposés au bruit impulsionnel (e.g. tir d'arme), et plus particulièrement chez les sujets présentant des antécédents de traumatismes sonores aigus.

Dans les autres armées occidentales, une réflexion est également en cours, en vue de compléter le suivi de l'audition des militaires au-delà de l'audiogramme (20, 21).

Conclusion

Les résultats de cette étude montrent que l'exposition au bruit continu, telle que la subissent de nombreux militaires (bruit d'engins aéronautiques ou terrestres) peut altérer certaines capacités auditives tout en conservant des seuils audiométriques normaux. Les altérations observées sont compatibles avec l'hypothèse de synaptopathies cochléaires chez l'humain, également appelées « pertes auditives cachées ». L'utilisation de tests d'audiométrie vocale dans le bruit comme ceux utilisés dans cette étude pourrait participer à améliorer le suivi des militaires exposés au bruit. Une confirmation des résultats de cette étude par des études longitudinales semble nécessaire.
À terme, une réflexion pourrait être menée sur l'opportunité d'utiliser les données issues de l'audiométrie vocale dans le bruit pour reconsidérer les normes de protection et d'exposition fondées sur l'audiométrie tonale.

Les auteurs ne déclarent pas de conflit d'intérêt concernant les données présentées dans cet article.

Références bibliographiques

1. Furman AC, Kujawa SG, Liberman MC. Noise-induced cochlear neuropathy is selective for fibers with low spontaneous rates. J Neurophysiol. août 2013 ;110(3) :577-86.

2. Kujawa SG, Liberman MC. Adding insult to injury : cochlear nerve degeneration after « temporary » noise-induced hearing loss. J Neurosci Off J Soc Neurosci. 11 nov 2009 ;29(45) :14077-85.

3. Organisation internationale de normalisation (ISO). ISO 1999 : Acoustique — Détermination de l'exposition au bruit en milieu professionnel et estimation du dommage auditif induit par le bruit.

4. Liberman MC, Epstein MJ, Cleveland SS, Wang H, Maison SF. Toward a Differential Diagnosis of Hidden Hearing Loss in Humans. PloS One. 2016 ;11(9) :e0162726.

5. Prendergast G, Millman RE, Guest H, Munro KJ, Kluk K, Dewey RS, @et al.@ Effects of noise exposure on young adults with normal audiograms II : Behavioral measures. Hear Res. déc 2017 ;356 :74-86.

6. Grose JH, Buss E, Hall JW. Loud Music Exposure and Cochlear Synaptopathy in Young Adults : Isolated Auditory Brainstem Response Effects but No Perceptual Consequences. Trends Hear. déc 2017 ;21 :2331216517737417.

7. Lorenzi C, Gilbert G, Carn H, Garnier S, Moore BCJ. Speech perception problems of the hearing impaired reflect inability to use temporal fine structure. Proc Natl Acad Sci U S A. 5 déc 2006 ;103(49) :18866-9.

8. Bharadwaj HM, Verhulst S, Shaheen L, Liberman MC, Shinn- Cunningham BG. Cochlear neuropathy and the coding of supra-threshold sound. Front Syst Neurosci. 2014 ;8 :26.

9. Wallaert N, Moore BCJ, Ewert SD, Lorenzi C. Sensorineural hearing loss enhances auditory sensitivity and temporal integration for amplitude modulation. J Acoust Soc Am. févr 2017 ;141(2) :971.

10. Gnansia D, Lazard DS, Léger AC, Fugain C, Lancelin D, Meyer B, *et al.* Role of slow temporal modulations in speech identification for cochlear implant users. Int J Audiol. janv 2014 ;53(1) :48-54.

11. Lorenzi C, Wallaert N, Gnansia D, Leger AC, Ives DT, Chays A, *et al.* Temporal-envelope reconstruction for hearing-impaired listeners. J Assoc Res Otolaryngol JARO. déc 2012 ;13(6) : 853-65.

12. Calcus A, Lorenzi C, Collet G, Colin C, Kolinsky R. Is There a Relationship Between Speech Identification in Noise and Categorical Perception in Children With Dyslexia ? J Speech Lang Hear Res JSLHR. 01 2016 ;59(4) :835-52.

13. Moore BC, Sek A. Detection of frequency modulation at low modulation rates : evidence for a mechanism based on phase locking. J Acoust Soc Am. oct 1996 ;100(4 Pt 1) :2320-31.

14. Moore BC. Auditory processing of temporal fine structure : Effects of age and hearing loss. World Scientific ; 2014.

15. Liberman MC, Kujawa SG. Cochlear synaptopathy in acquired sensorineural hearing loss : Manifestations and mechanisms. Hear Res. juin 2017 ;349 :138-47.

16. Johannesen PT, Pérez-González P, Kalluri S, Blanco JL, Lopez- Poveda EA. Predictors of suprathreshold speech-in-noise intelligibility by hearing-impaired listeners. In : Proceedings of the International Symposium on Auditory and Audiological Research. 2015. p. 125–136.

17. Füllgrabe C, Moore BCJ, Stone MA. Age-group differences in speech identification despite matched audiometrically normal hearing : contributions from auditory temporal processing and cognition. Front Aging Neurosci. 2014 ;6 :347.

18. Paraouty N, Lorenzi C. Using individual differences to assess modulation-processing mechanisms and age effects. Hear Res. févr 2017 ;344 :38-49.

19. Whiteford KL, Kreft HA, Oxenham AJ. Assessing the Role of Place and Timing Cues in Coding Frequency and Amplitude Modulation as a Function of Age. J Assoc Res Otolaryngol JARO. août 2017 ;18(4) :619-33.

20. Brungart DS, Walden B, Cord M, Phatak S, Theodoroff SM, Griest S, *et al.* Development and validation of the Speech Reception in Noise (SPRINT) Test. Hear Res. juin 2017 ;349 :90-7.

21. Le Prell CG, Brungart DS. Speech-in-Noise Tests and Supra-threshold Auditory Evoked Potentials as Metrics for Noise Damage and Clinical Trial Outcome Measures. Otol Neurotol Off Publ Am Otol Soc Am Neurotol Soc Eur Acad Otol Neurotol. 2016 ;37(8) :e295-302.