

# Fatigue auditive et risques pour l'audition chez les professionnels du secteur de la musique amplifiée

## AUTEURS :

T. Venet, B. Pouyatos, département Toxicologie et Biométrie, INRS

### EN RÉSUMÉ

Les musiciens sont exposés à de forts niveaux sonores et souffrent fréquemment de pertes auditives. Toutefois, peu d'études ont porté sur l'exposition des autres professionnels travaillant dans l'espace de diffusion de la musique amplifiée. L'INRS a mené une étude de terrain auprès des techniciens et agents de sécurité des salles de concerts dans des conditions de travail réel, en croisant analyse de l'activité, mesures d'exposition sonore et mesures auditives. Une attention particulière a été portée sur la fatigue auditive engendrée par la journée de travail. Cette étude plaide pour une meilleure intégration de la prévention du risque auditif chez les intermittents et une prise en compte de l'ensemble des troubles auditifs dans le suivi de santé au travail des professionnels du secteur de la musique amplifiée.

### MOTS CLÉS

Art du spectacle /  
Audition / Bruit /  
Fatigue auditive /  
Musicien

**L**e nombre de professionnels dans le secteur du spectacle vivant est en constante progression pour atteindre 242 000 personnes en 2022. Le secteur embauche près de deux tiers de travailleurs intermittents (67 % des contrats) [1, 2].

Le nombre d'études internationales publiées sur l'exposition au bruit des professionnels du secteur de la musique amplifiée est très variable en fonction du type d'activité [3]. Les études portant sur l'exposition des musiciens sont les plus nombreuses et totalisent des mesures sur près de 700 musiciens. Elles montrent que la valeur médiane des niveaux sonores auxquels ils sont exposés est de 101,5 dB(A) avec une étendue comprise entre 92 et 115 dB(A) pour des mesures dont les durées des moyennes étaient comprises entre 30 minutes et 4 heures selon les études. À l'inverse, pour toutes les autres personnes travaillant dans l'espace de diffusion, ayant

des missions techniques (techniciens son, lumière ou plateau) ou de service (agents de sécurité, d'accueil, barman...), les données sont rares. La médiane des 25 niveaux collectés par 7 études est de 95 dB(A) avec une étendue comprise entre 86 et 103 dB(A) (moyennes de 1 à 8 heures selon les études). La fonction la plus représentée dans les données publiées est celle des techniciens son travaillant à la console de mixage lors de concerts, pour qui le niveau médian s'élève à 98 dB(A).

Ces données d'exposition recueillies au niveau international pourraient ne pas totalement refléter la situation en France, notamment depuis la publication du Décret n° 2017-1244 du 7 août 2017 abaissant les niveaux sonores maximaux pour le public à 102 dB(A) et 118 dB(C) moyennés sur 15 minutes. Cette réglementation spécifique à la protection du public ne s'applique pas aux personnes travaillant dans l'espace de diffusion,

## Fatigue auditive et risques pour l'audition chez les professionnels du secteur de la musique amplifiée

qui sont soumises au Code du travail limitant l'exposition moyenne sur 8 heures à 87 dB(A). Cependant, les travailleurs évoluant pour la plupart dans le même espace de diffusion que le public, une diminution du niveau de diffusion devrait mécaniquement entraîner une baisse de l'exposition des professionnels.

Les troubles auditifs engendrés par ces expositions sont très répan-

dus parmi les professionnels du secteur de la musique amplifiée. Les données publiées portent sur environ un millier de personnes [3]. Il s'agit principalement de musiciens puisque les techniciens et les personnes réalisant des missions de service ne représentent que 4 % de la population étudiée. Les auteurs de ces études se sont intéressés aux troubles auditifs déclarés par les travailleurs tels

que les acouphènes ou l'hyperacousie. Ils ont également mesuré les déficits auditifs permanents par audiométrie tonale liminaire (ATL). Quelques auteurs ont mesuré les déficits temporaires qui quantifient la fatigue auditive et traduisent la souffrance du système auditif suite à une exposition sonore. L'ensemble de ces données montre de manière unanime que les déficits et troubles auditifs ont

### ↓ Encadré 1

#### > TROUBLES AUDITIFS CHEZ LES TRAVAILLEURS EXPOSÉS À LA MUSIQUE AMPLIFIÉE

**Les acouphènes** sont des bruits (bourdonnements, sifflements) perçus par une personne sans stimulus acoustique correspondant aux sons perçus [4]. Ce symptôme touche 10 à 25 % de la population adulte générale mais elle est de l'ordre de 40 % chez les professionnels exposés à la musique amplifiée [3]. Les acouphènes peuvent altérer significativement la qualité de vie des personnes touchées. De plus, ils peuvent causer une cessation d'activité des musiciens concernés [5].

**L'hyperacousie** est une tolérance réduite aux sons d'intensité moyenne pouvant aller jusqu'à une sensation douloureuse [6]. En population générale, la prévalence de l'hyperacousie auto-déclarée est d'environ 10 % [7]. La prévalence étudiée chez 179 musiciens est proche de 35 % [3]. L'hyperacousie paraît donc être fréquente dans cette population, mais elle est trop peu étudiée à ce jour pour conclure qu'il s'agit d'un trouble auditif généralisé.

**Le déficit auditif permanent**, ou perte auditive, est généralement mesuré par audiométrie tonale liminaire (ATL). La perte auditive retenue par les auteurs est toujours très éloignée de la surdité

professionnelle définie par le tableau 42 du régime général, à savoir au moins 35 dB de déficit moyen sur les fréquences 500, 1 000, 2 000 et 4 000 Hz sur la meilleure oreille. Selon l'étude bibliographique menée par Di Stadio et al. [8] et regroupant 973 musiciens pop-rock, la prévalence des pertes auditives est de 63 % lorsque cette perte est définie comme un déficit supérieur à 25 dB HL (unité de mesure relative pour évaluer la sensibilité auditive humaine. La valeur de 0 dB HL correspond aux seuils d'audition d'une population normo-entendante de 20 ans) à au moins une fréquence [8]. Ces déficits touchent également les jeunes au cours de leur formation. Les auteurs concluent à un risque auditif modéré, c'est-à-dire moins important que pour une population qui serait exposée à un bruit industriel de même énergie sonore. Cette comparaison avec l'exposition en milieu industriel est souvent prise comme référence, car cette population a été largement étudiée et c'est en référence à ce type d'exposition que les réglementations limitant le bruit au travail ont été définies. En 2008, Amorim et al. parlaient quant à eux de risque élevé de

perte auditive. Contrairement à la plupart des autres études, ils avaient utilisé d'autres examens fonctionnels en complément de l'ATL. Ainsi les otoémissions reflétant spécifiquement le fonctionnement des cellules ciliées externes pourraient se révéler particulièrement sensibles et mettre en évidence des problèmes auditifs autres que le déficit de perception de sons au seuil d'audition comme le fait l'ATL. Parmi les 30 musiciens étudiés par Amorim et al., 25 % n'avaient pas d'otoémission mesurable du fait de la dégradation des cellules ciliées externes [9].

**La fatigue auditive** se définit comme une baisse temporaire des performances auditives consécutive à une exposition sonore. Elle découle des nombreuses modifications physiologiques se produisant au niveau des différents maillons de la chaîne auditive lors de l'exposition sonore. Bien que les mécanismes sous-jacents soient difficiles à identifier de manière non invasive chez les travailleurs [10, 11], le diagnostic de fatigue auditive présente l'avantage de relier une souffrance immédiate du système auditif à une exposition sonore. Cependant, même si le seuil audiométrique

revient à son niveau initial après la récupération de la fatigue, les mécanismes physiologiques mis en œuvre lors de la fatigue auditive ne sont pas intégralement réversibles, comme la neuropathie enclenchée par la libération excessive de glutamate à la base des cellules ciliées internes [12, 13]. De plus, l'ATL n'est pas l'examen le plus sensible aux modifications des performances auditives [14, 15]. La fatigue auditive est par conséquent un phénomène traduisant une souffrance du système auditif, permettant un diagnostic précoce de situation pouvant conduire à terme à des troubles auditifs. Le diagnostic de la fatigue auditive est donc d'un grand intérêt dans le cadre d'une démarche de prévention des risques. La fatigue auditive est évaluée par la différence des performances auditives mesurées au repos et celles mesurées à la suite d'une tâche bruyante ou en fin de poste de travail. Dans le cadre de cette étude, deux examens ont été réalisés pour déterminer la fatigue auditive, l'ATL et la mesure du seuil de déclenchement du réflexe acoustique (SRA) (encadré 2 page suivante).

une prévalence forte chez les professionnels exposés à la musique amplifiée, avec de graves conséquences pour cette population (encadré 1).

Le constat des niveaux d'exposition sonore élevés ainsi que la prévalence importante des déficits et troubles auditifs chez les salariés travaillant dans l'espace de diffusion de la musique amplifiée font de cette problématique un enjeu majeur pour la santé de ces travailleurs.

Pour améliorer la prévention du risque auditif en fonction des spécificités du secteur de la musique amplifiée, une étude s'appuyant sur deux stratégies complémentaires a été réalisée :

- une observation des pratiques et actualisation des données d'exposition sonore pour les différents métiers de ce secteur d'activité ;
- une quantification de la fatigue auditive pour objectiver la souffrance aiguë du système auditif et déterminer les paramètres d'exposition sonore influençant cette fatigue, dans le but d'identifier des stratégies de réduction du risque.

## MÉTHODE

Cette étude a été menée en collaboration avec Thalie Santé, centre de santé au travail de référence pour le secteur des industries culturelles et créatives, et AGISON, association militant pour la maîtrise sonore et la prévention du risque auditif dans le secteur du spectacle vivant.

Les investigations ont été réalisées de 2019 à 2022 dans 12 établissements diffusant de la musique amplifiée avec des volontaires exerçant leur activité dans des conditions habituelles.

Le protocole de recherche impli-

quant la personne humaine, approuvé par le comité national d'éthique, était composé de deux phases principales :

1) la phase d'inclusion permettait de vérifier que les volontaires satisfaisaient les critères d'inclusion grâce à des tests auditifs. Les volontaires ayant un seuil auditif supérieur à 35 dB HL<sup>1</sup> à 4 000 Hz ou un seuil de déclenchement du réflexe acoustique (SRA) supérieur à 92 dB n'étaient pas inclus. La phase d'inclusion comportait également un questionnaire permettant d'obtenir diverses informations sur les pratiques professionnelles des volontaires, l'utilisation de protections auditives et, le cas échéant, l'existence de troubles auditifs déclarés ;

2) la phase de recueil des données *in situ* pendant laquelle l'audition des volontaires était évaluée en début puis en fin de poste de travail et l'exposition sonore des volontaires était mesurée par exposimétrie tout le long de leur journée de travail.

Le protocole définissait une population scindée en deux groupes avec un objectif de recrutement de 70 volontaires exposés à la musique amplifiée (groupe Musique) et 40 volontaires non exposés à de forts niveaux sonores le jour des mesures (groupe Témoin).

## MESURES AUDITIVES

Deux types d'examens ont été réalisés : l'ATL mesurant le seuil de perception auditif et la mesure du SRA (encadré 2). Elles ont été réalisées avec un même appareil intégrant l'ensemble des fonctions (ECHOSCAN® d'ECHODIA). Afin de limiter la durée des examens, une seule oreille a été mesurée. Tous les résultats sont exprimés en valeur moyenne  $\pm$  l'écart type. La fatigue auditive a été mesurée grâce à ces deux examens en cal-

culant la différence en dB des performances auditives entre le début de poste de travail (audition au repos) et la fin de poste de travail. La variation du seuil auditif est notée  $\Delta$ ATL, la variation du seuil de déclenchement du réflexe acoustique est notée  $\Delta$ SRA. Une  $\Delta$ SRA de 9 dB est considérée comme une fatigue auditive avérée [15]. Pour les personnes exposées à la musique amplifiée, les mesures auditives en fin de poste ont été réalisées en moyenne 15 minutes après la fin du concert. Lorsque la situation l'a permis, les mesures auditives,

*1. dB HL : Unité de mesure relative pour évaluer la sensibilité auditive humaine. La valeur de 0 dB HL correspond aux seuils d'audition d'une population normo-entendante de 20 ans.*

### ↓ Encadré 2

#### > MESURES AUDITIVES UTILISÉES DANS CETTE ÉTUDE

##### Mesure du seuil de perception par audiométrie tonale liminaire (ATL)

L'ATL permet de mesurer le seuil de perception à différentes fréquences dans le silence. Elle a été réalisée aux fréquences de 250, 500, 1 000, 2 000, 4 000, 6 000 et 8 000 Hz avec des sons pulsés. Afin de pouvoir réaliser l'ATL dans des conditions acceptables sur site, sans cabine insonorisée, des casques audiométriques équipés de coques anti-bruit, offrant un affaiblissement sonore élevé (37 dB), ont été utilisés. Ces casques d'audiométrie ont permis de garantir un niveau sonore résiduel bien inférieur à 27 dB(A), valeur seuil recommandée par la Société Française d'Audiologie.

##### Mesure du seuil de déclenchement du réflexe acoustique (SRA)

Le SRA était mesuré grâce au dispositif commercial ECHOSCAN®, basé sur un procédé de mesure breveté par l'INRS. ECHOSCAN® détecte le SRA en mesurant la variation de l'amplitude du produit de distorsion acoustique provoquée par une stimulation sonore controlatérale (bruit de bande centrée sur 1000 Hz évoluant entre 68 et 98 dB HL maximum avec un pas de 3 dB HL). Contrairement à l'ATL, qui est un test subjectif nécessitant une réponse du volontaire et sollicitant l'ensemble des voies auditives, ce procédé est objectif et n'implique que l'oreille et l'arc réflexe court médié par le tronc cérébral, sans mettre en jeu les voies auditives centrales sujettes à des phénomènes de plasticité et de compensation des pertes périphériques. De plus, la mesure du SRA est moins sensible au bruit ambiant que ne l'est l'ATL, ce qui est un avantage lors de mesures en entreprise. Durant la mesure, le volontaire reste assis et passif. L'évaluation de la fatigue auditive par la mesure du SRA est à la fois plus sensible et plus spécifique que par ATL [15, 16].

## Fatigue auditive et risques pour l'audition chez les professionnels du secteur de la musique amplifiée

ATL et SRA, ont été répétées pour 10 volontaires après une durée de récupération comprise entre 32 minutes et 1h45 après la fin du concert.

### MESURE DE L'EXPOSITION SONORE

Tous les volontaires ont porté un exposimètre pour mesurer précisément leur exposition sonore entre les mesures auditives de début et de fin de poste.

Les niveaux sonores intégrés sur une seconde ( $Leq_{1s}$ ) ont été calculés avec les pondérations A, C, Z ou filtrés par bandes d'octaves de 63 à 16 000 Hz. Les quantiles L10 et L90 (niveaux sonores dépassés durant 10 % et 90 % du temps) ont été déterminés pour évaluer la stabilité du bruit. Les moyennes des  $Leq_{1s}$  ont également permis de calculer les niveaux sonores pour différentes périodes de la journée de travail. La valeur d'exposition journalière normalisée sur une durée de 8 heures a été calculée pour chaque volontaire. Cette valeur peut être confrontée aux valeurs déclenchant des actions de prévention, 80 et 85 dB(A), et à la valeur limite d'exposition 87 dB(A) (article R4431-2 du Code du travail). Tous les résultats sont exprimés en valeur moyenne  $\pm$  l'écart type.

Les niveaux sonores de crête (pondérés C) ont été analysés pour déterminer le nombre d'événements sonores à caractère impulsionnel dépassant les seuils de 135, 137 et 140 dB(C) (article R4431-2 du Code du travail).

Pour compléter les indicateurs de l'énergie sonore et de sa distribution, les kurtosis<sup>2</sup> du signal sonore numérisé ont été calculés selon la méthode développée par Fuente et al. (2018) [17].

Une analyse fine des expositions sonores a permis d'identifier les différentes phases d'exposition

des volontaires du groupe Musique: balances, répétitions et concert vs autres sources sonores de l'environnement.

### MODÉLISATION DES FACTEURS INFLUENÇANT LA FATIGUE AUDITIVE

Le but de la modélisation de la fatigue auditive était de déterminer les paramètres de l'exposition sonore pouvant expliquer cette

fatigue en fin de poste de travail.

Des modèles de régressions linéaires multiples entre les niveaux de fatigue mesurés et les variables explicatives ont été construits. Les variables explicatives comprenaient 16 variables décrivant les volontaires (performance auditive au repos, âge, sexe...) et 5 facteurs caractérisant l'exposition sonore.

L'encadré 3 décrit de manière synthétique la méthode employée [11].

#### ↓ Encadré 3

#### > MODÉLISATION DE LA FATIGUE AUDITIVE SELON VENET ET AL. [11]

La recherche des paramètres influençant la fatigue auditive a été menée par des modèles de régressions linéaires. En raison du grand nombre de variables explicatives produites par l'exposition sonore (158) au regard du nombre d'observations (86), une analyse factorielle a été réalisée préalablement au modèle de régression permettant de regrouper les indicateurs d'exposition en 5 facteurs :

- **facteur 1**, l'énergie sonore équivalente sur l'ensemble des périodes de la journée de travail calculée par des moyennes de  $Leq_{15}$  (niveaux sonores intégrés sur une seconde) ;
- **facteur 2**, la dynamique de la pression acoustique pour l'ensemble des périodes aux fréquences moyennes, calculée par des moyennes de kurtosis (indicateur statistique d'aplatissement de distribution d'une série de valeurs) de l'enregistrement audio numérisé à 48 000 Hz ;
- **facteur 3**, la stabilité des niveaux sonores sur de longues périodes, calculée par les écarts des quantiles L10 – L90 (niveaux sonores dépassés durant 10 % et 90 % du temps) des  $Leq_{15}$  ;

- **facteur 4**, la stabilité des niveaux sonores durant la dernière heure d'exposition, calculée par les écarts des quantiles L10 – L90 des  $Leq_{15}$  ;
- **facteur 5**, la dynamique de la pression acoustique aux fréquences extrêmes (octave 63, 125 et 16 000 Hz), calculée par des moyennes de kurtosis de l'enregistrement audio numérisé à 48 000 Hz.

Des modèles de régressions linéaires multiples par sélection incrémentale ont été réalisés pour expliquer la fatigue auditive mesurée. Les variables explicatives de ces modèles étaient les 5 facteurs d'exposition sonore, des informations issues du questionnaire (âge, sexe, troubles auditifs déclarés) et les performances auditives mesurées au repos à l'exception de celle utilisée pour le calcul de la variable à expliquer. À titre d'exemple, le seuil auditif à 4 000 Hz au repos n'a pas été utilisé dans le modèle expliquant la fatigue auditive à 4 000 Hz.

La performance des modèles a été évaluée par l'analyse des coefficients de régression et par l'analyse du *Root Mean Square Error* (RMSE) qui évalue l'erreur de prédiction.

2. Kurtosis: indicateur statistique d'aplatissement de distribution d'une série de valeurs.

## PRINCIPAUX RÉSULTATS

### POPULATION ÉTUDIÉE

Cent personnes ont répondu au questionnaire dont 66 exposées à de la musique (groupe Musique) et 34 non exposées (groupe Témoin). L'âge moyen était de 37 ans pour le groupe Musique et de 36 ans pour le groupe Témoin. Parmi les volontaires exposés à de la musique, 48 étaient des techniciens (techniciens son, lumière ou plateau). Les 18 autres volontaires exposés à de la musique étaient des agents de sécurité, des barmen ou des régisseurs. La proportion d'hommes était de 76 % dans le groupe Musique contre 58 % dans le groupe Témoin. Les volontaires du groupe Témoin étaient des salariés permanents des établissements de spectacles visités, occupant des postes administratifs, de communication ou d'agent culturel, qui n'étaient pas exposés à de forts niveaux sonores le jour de la mesure de fatigue auditive.

Parmi les 100 volontaires ayant répondu au questionnaire, 86 ont réalisé les mesures d'exposition sonore et d'ATL post-exposition. Seuls 79 volontaires ont participé à l'intégralité du protocole comportant en plus les mesures du SRA. Dans ces différents échantillonnages, l'âge moyen, la proportion homme/femme et les performances auditives au repos ne diffèrent pas significativement.

### PROTECTION INDIVIDUELLE

La proportion de personnes équipées de protecteur individuel contre le bruit (PICB) était de 47 % pour le groupe Témoin contre 57 % pour le groupe Musique. Pour 80 % des témoins équipés de PICB, l'équipement avait été fourni par l'employeur, alors que ce pourcentage n'était que de 43 % pour les

volontaires du groupe Musique. Parmi les personnes équipées de PICB dans le groupe Musique, 30 % ont déclaré ne jamais les porter, 58 % ont indiqué qu'elles utilisaient leur PICB «parfois» pendant les phases d'exposition et 12 % ont déclaré les porter systématiquement. Ces proportions doivent néanmoins être considérées avec prudence, car lors des interventions menées dans le cadre de cette étude, seuls 3 volontaires sur 55 ont porté des PICB, et seulement pendant une partie du concert. Parmi les volontaires du groupe Musique, 90 % avaient déclaré être conscients du fait que leur activité professionnelle constituait un risque pour leur audition.

### TROUBLES AUDITIFS DÉCLARÉS

Les acouphènes ressentis immédiatement après une exposition sonore, tel qu'un concert, étaient le trouble auditif le plus fréquemment rapporté et la seule catégorie

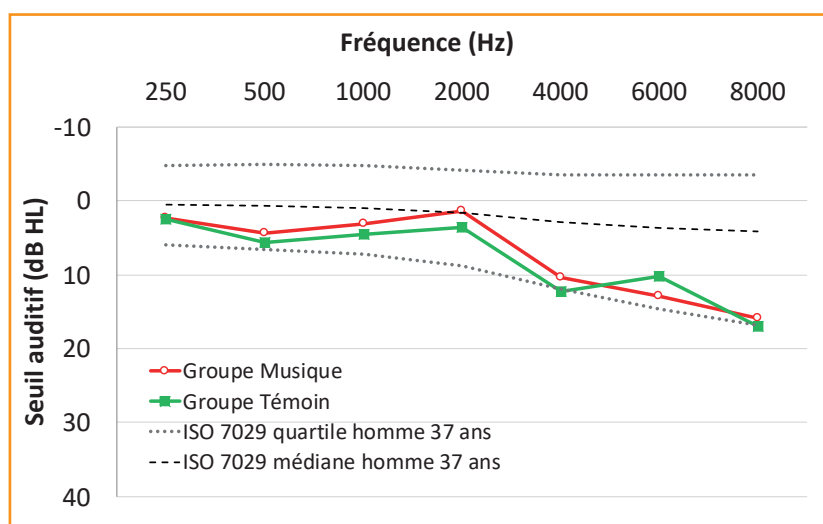
de troubles significativement plus élevée dans le groupe Musique que dans le groupe Témoin ( $p < 0,01$ ), avec respectivement 56% et 21% des volontaires de ces deux groupes. Dans le groupe musique, la prévalence atteignant 67 % chez les techniciens son, lumière ou plateau et 28% pour les autres professions. Parmi les techniciens, près d'un sur deux déclarait également des acouphènes chroniques perceptibles au repos. Pour le groupe Témoin, 21 % des volontaires ont déclaré des acouphènes chroniques.

### PERFORMANCES AUDITIVE AU REPOS

Les seuils auditifs moyens des groupes Musique et Témoin étaient très similaires à toutes les fréquences (figure 1). Les faibles différences entre ces deux groupes n'étaient pas significatives. Le SRA au repos était de  $81,9 \pm 6,6$  dB HL pour le groupe Témoin et  $83,5 \pm 6,5$  dB HL pour le groupe Musique.

**Figure 1: Seuils auditifs en début de poste de travail mesurés pour l'ensemble des 100 volontaires par audiométrie tonale liminaire**

Musique n=66; Témoin n=34. Norme ISO 7029:2017: Distribution statistique des seuils d'audition en fonction de l'âge et du sexe



## Fatigue auditive et risques pour l'audition chez les professionnels du secteur de la musique amplifiée

Les analyses statistiques des performances auditives au repos des volontaires inclus ayant réalisé les mesures de fatigue auditive ( $\Delta$ ATL  $n=86$ ;  $\Delta$ SRA  $n=79$ ) indiquent qu'il n'y a pas de différence significative entre les groupes Musique et Témoin. En début de poste de travail, les performances auditives étaient donc équivalentes entre les deux groupes.

### EXPOSITION SONORE

Les mesures d'exposition sonore ont permis de vérifier que les volontaires du groupe Témoin n'ont pas été exposés à de forts niveaux sonores le jour de la mesure puisque leur exposition sonore journalière moyenne était de  $67 \pm 4$  dB(A). En revanche, celle du groupe Musique était de  $87 \pm 5$  dB(A) (soit voisine à la valeur limite réglementaire de 87 dB(A) imposée par le Code du travail) et

69 % des volontaires de ce groupe avaient une exposition supérieure ou égale à 85 dB(A) (seuil d'action réglementaire imposant, entre autres, le port de PICB). La valeur moyenne du groupe Musique masque toutefois une grande diversité d'expositions sonores puisque dans ce groupe, l'étendue des valeurs était comprise entre 74 dB(A) pour un technicien son lors d'un concert de jazz et 96,5 dB(A) pour un autre technicien son au cours d'un concert de rock. Même si certains techniciens avaient des expositions inférieures à 80 dB(A), la différence entre les groupes Musique et Témoin était très significative ( $p < 0,0001$ ). L'exposition sonore n'était pas dépendante du métier exercé par les volontaires du groupe Musique (figure 2), en revanche elle était significativement différente en fonction du genre musical (figure 3).

Le Jazz et surtout le Folk ont engendré des expositions sonores plus faibles que le Blues, le Rock et le Rap.

La durée de travail moyenne du groupe Musique était de  $8h10 \pm 3h00$ . L'exposition à de la musique amplifiée, balance, répétitions et concert compris était de  $3h08 \pm 1h22$ .

### FATIGUE AUDITIVE

La fatigue auditive du groupe Témoin était très faible, avec des variations de seuils proches de 0 dB ( $\Delta$ ATL et  $\Delta$ SRA). La  $\Delta$ ATL était significativement différente entre les groupes Musique et Témoin de 500 à 4 000 Hz (figure 4 page suivante). L'effet le plus important a été observé à la fréquence de 4 000 Hz, avec une  $\Delta$ ATL de  $4,7 \pm 6,6$  dB. La  $\Delta$ SRA du groupe Musique s'élevait quant à elle à  $6,7 \pm 3,9$  dB (figure 5 page suivante), soit deux

Figure 2: Exposition sonore journalière en fonction de la catégorie de profession

Techniciens (son, lumière et plateau) vs Autres Exposés (barman, agent de sécurité, agent d'accueil). Test statistique: test t (ns: non significatif)

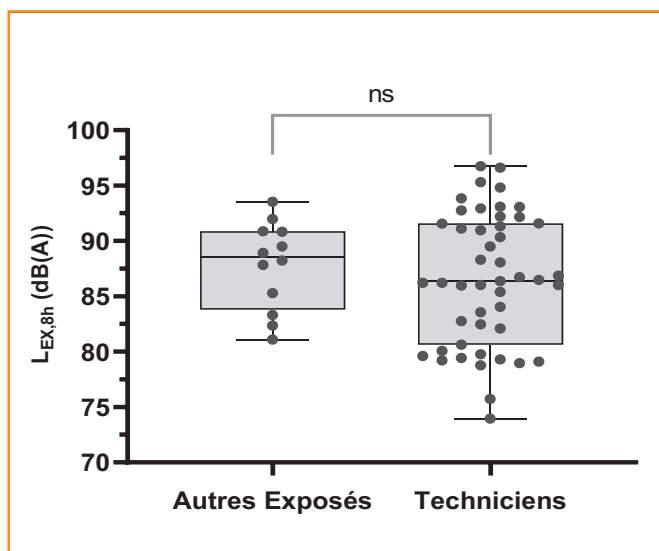
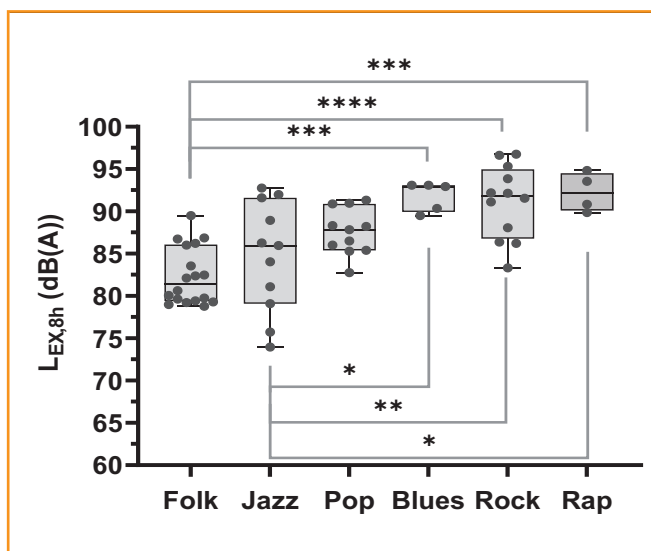


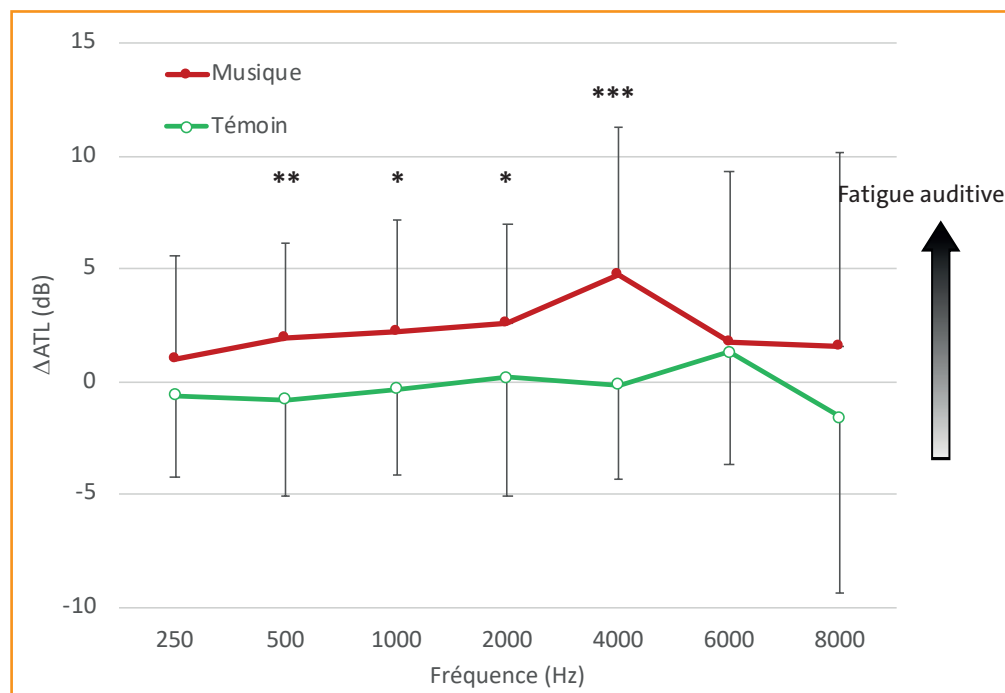
Figure 3: Exposition sonore en fonction du genre musical

Test statistique: ANOVA à un facteur puis test de comparaisons multiples avec correction de Bonferroni. Significativité intergroupe (\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ ; \*\*\*\*  $p < 0,0001$ )



**Figure 4: Variation du seuil auditif (moyenne  $\Delta$ ATL  $\pm$  écart-types) pour les groupes Musique (n = 55) et Témoin (n = 31).**

Significativité intergroupe \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ ; \*\*\*\*  $p < 0,0001$



décibels de plus que la  $\Delta$ ATL. En fin de poste de travail, 43 % des volontaires du groupe Musique présentaient une fatigue auditive avérée, c'est-à-dire une  $\Delta$ SRA d'au moins 9 dB [15], alors que cela n'a jamais été observé pour les témoins.

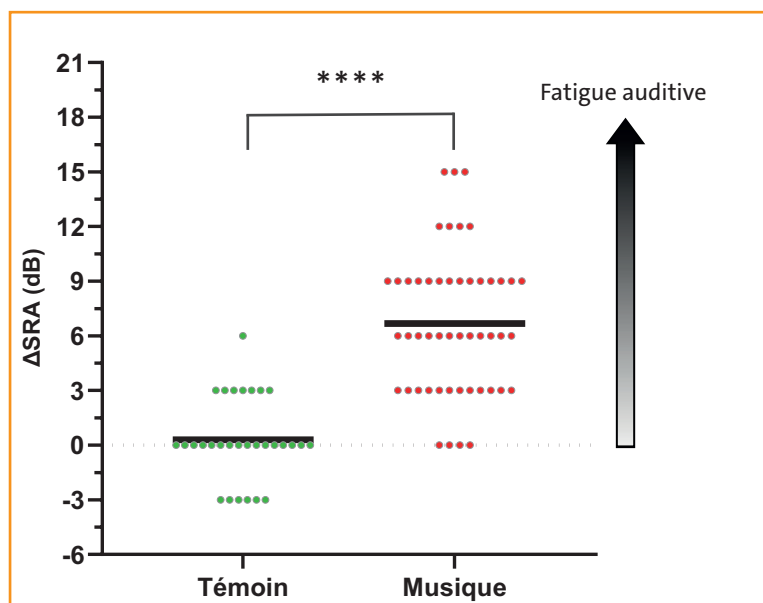
### PARAMÈTRES INFLUENÇANT LA FATIGUE AUDITIVE

Les deux indicateurs les plus sensibles à la fatigue auditive,  $\Delta$ SRA et  $\Delta$ ATL à 4 000 Hz ( $\Delta$ ATL<sub>4k</sub>), ont été utilisés pour déterminer les paramètres influençant la fatigue auditive. Cette analyse a été menée en réalisant des modèles de régression multiple.

**Modèle  $\Delta$ ATL<sub>4k</sub>** - Dans le modèle de la  $\Delta$ ATL<sub>4k</sub>, le sexe est un paramètre significatif. Les femmes ont une variation du seuil auditif plus faible que les hommes. Cependant, la population exposée à de la musique amplifiée comportait très peu de femmes (moins de 25 %) tandis que la répartition hommes-femmes était plus équilibrée dans le groupe Témoin. De plus, dans le groupe Musique, les femmes étaient parmi les volontaires les moins exposés. Une seule femme a été exposée à plus de 90 dB(A) contre 18 hommes. Lorsque des modèles équivalents ont été construits avec des données concernant uniquement les hommes ou les femmes, le coefficient du Facteur 1 (énergie sonore) était beaucoup plus élevé pour les hommes que pour les femmes. Il existe donc une interaction entre le sexe et l'énergie sonore (Facteur 1) qui induit un biais dans le modèle. Par conséquent, la distinction entre hommes et femmes n'a pas pu être faite. Un second modèle a donc été construit en omettant la variable du sexe ([tableau I page suivante](#)). Le modèle est très similaire à celui incluant le sexe (mêmes

**Figure 5: Variation du seuil de déclenchement du réflexe acoustique (moyenne  $\Delta$ SRA et valeurs individuelles) des groupes Musique (n = 49) et Témoin (n = 30)**

Significativité intergroupe \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ ; \*\*\*\*  $p < 0,0001$



## Fatigue auditive et risques pour l'audition chez les professionnels du secteur de la musique amplifiée

↓ **Tableau I**

➤ **MODÈLE DE VARIATION DU SEUIL AUDITIF À 4 000 HZ ( $\Delta\text{ATL}_{4k}$ ) SANS LA VARIABLE SEXE**

$\Delta\text{ATL}_{4k}$	$R^2 = 0,35$	RMSE = 5,4
Variables	Coefficient	Probabilité
Énergie sonore	3,18	< 0,0001
Instabilité sonore	-1,07	0,06
$\text{ATL}_r$ 6 000 Hz	-0,18	0,008
Constante	3,33	0

$\text{ATL}_r$ : seuil auditif mesuré au repos.  $R^2$ : coefficient de détermination (indicateur qui permet de juger la qualité d'une régression linéaire). RMSE: écart des résidus du modèle par rapport à la courbe du modèle. Le RMSE évalue l'erreur de prédiction

autres variables, coefficients équivalents). Sans la variable sexe, le coefficient de régression est légèrement inférieur (0,35 contre 0,39) et l'erreur de prédiction (RMSE) est légèrement supérieure (5,4 dB contre 5,2 dB).

Dans le modèle  $\Delta\text{ATL}_{4k}$  omettant l'effet du sexe, l'énergie sonore est le principal facteur jouant sur la fatigue auditive. Le coefficient positif indique logiquement que plus l'énergie augmente, plus la fatigue augmente. L'instabilité de l'exposition a en revanche un coefficient négatif. Les expositions sonores instables, avec de grandes différences entre les niveaux élevés et faibles engendrent moins de fatigue auditive en fin de poste de travail. Enfin, le modèle indique que les volontaires ayant une audition dégradée en hautes fréquences (6 000 Hz) ont une plus faible  $\Delta\text{ATL}_{4k}$ .

La faible valeur du coefficient de régression ( $R^2$ ) indique qu'une grande partie de la variabilité du seuil d'audition à 4 000 Hz n'est pas prise en compte par les variables explicatives.

**Modèle  $\Delta\text{SRA}$ .** La variable sexe n'intervient pas dans le modèle

$\Delta\text{SRA}$  (tableau II). Comme pour la  $\Delta\text{ATL}_{4k}$ , les facteurs d'exposition sonore jouant sur la fatigue sont l'énergie sonore et l'instabilité de cette énergie au cours de longues périodes. Les seuils auditifs au repos sont également corrélés à la  $\Delta\text{SRA}$ . Le seuil à 250 Hz est corrélé négativement à la fatigue auditive, mais les seuils auditifs au repos à 500 et 6 000 Hz sont, quant à eux, positivement corrélés à la fatigue auditive. On constate alors que pour les personnes ayant des seuils équivalents à toutes les fréquences, ce qui est souvent le cas des sujets ayant une bonne audition, la somme de ces trois variables se compense et l'effet dans le modèle  $\Delta\text{SRA}$  s'annule. En revanche, dans le cas d'une audition médiocre en moyennes et hautes fréquences, mais encore préservée en basses fréquences (profil typique d'une atteinte provoquée par une surexposition sonore répétée), le modèle  $\Delta\text{SRA}$  se traduit par une augmentation de la fatigue. Cet effet n'est pas lié

à un biais d'observation puisque les pertes auditives mesurées en moyennes et hautes fréquences en début de poste de travail sont indépendantes du niveau d'exposition sonore des volontaires.

Ce modèle explique 64 % de la variance de la  $\Delta\text{SRA}$ . Ce résultat est nettement meilleur que pour le modèle de la  $\Delta\text{ATL}_{4k}$ . De même, l'erreur de prédiction n'est que de 3 dB, ce qui correspond exactement au pas de mesure du SRA.

## DISCUSSION

### EXPOSITION SONORE

L'exposition sonore journalière de 47 % des volontaires du groupe Musique dépassait la limite réglementaire de 87 dB(A). Cette exposition moyenne élevée masquait de grandes différences dans les niveaux d'exposition journalière compris entre 74 et 96,5 dB(A). De manière assez surprenante, l'exposition sonore ne dépendait pas de

↓ **Tableau II**

➤ **MODÈLE DE VARIATION DU SEUIL DE DÉCLENCHEMENT DU RÉFLEXE ACOUSTIQUE  $\Delta\text{SRA}$**

$\Delta\text{SRA}$	$R^2 = 0,63$	RMSE = 3,0
Variables	Coefficient	Probabilité
Énergie sonore	3,53	< 0,0001
Instabilité sonore	-0,85	0,013
$\text{ATL}_r$ 250 Hz	-0,32	< 0,0001
$\text{ATL}_r$ 500 Hz	0,16	0,037
$\text{ATL}_r$ 6000 Hz	0,06	0,04
Constante	3,43	0

$\text{ATL}_r$ : seuil auditif mesuré au repos.  $R^2$ : coefficient de détermination (indicateur qui permet de juger la qualité d'une régression linéaire). RMSE: écart des résidus du modèle par rapport à la courbe du modèle. Le RMSE évalue l'erreur de prédiction



la fonction des professionnels mais du genre musical. La littérature ne rapporte pas cette dépendance au style musical, car la plupart des études ont été menées dans les conditions les plus bruyantes, principalement les concerts de rock ou les clubs [3, 8], alors que différents genres musicaux ont été mesurés dans la présente étude. Malgré l'effort de diversité réalisé au cours de cette étude, le nombre de volontaires ayant réalisé l'intégralité du protocole (86) reste cependant limité au regard de la diversité des expositions et des situations de travail dans ce secteur d'activité.

L'exposition sonore étant indépendante de la fonction, tous les salariés travaillant dans l'espace de diffusion de la musique, quelle que soit leur activité, doivent être considérés à risque pour leur audition. Même si les niveaux pour les concerts de jazz et de folk sont inférieurs à ceux des autres genres musicaux, la variabilité des niveaux pour chaque genre musical et les expositions potentielles associées (montage-démontage de structures) nécessitent l'application des mesures de prévention à tous les professionnels et tous les concerts.

## DÉFICIT AUDITIF ET TROUBLES AUDITIFS

Les courbes audiométriques des groupes Témoin et Musique montrent un léger déficit auditif à partir de 4 000 Hz qui pourrait être lié à des expositions sonores, qu'elles soient professionnelles ou non. Ceci peut paraître étrange pour le groupe Témoin, mais les volontaires de ce groupe ne sont pas des individus exempts de toute exposition au bruit dans le passé ou dans leur activité actuelle. Par exemple, les volontaires du groupe Témoin ont déclaré assister à des concerts 2,5 fois par mois en moyenne dans le cadre de leurs loisirs. Cependant,

les mesures d'exposimétrie ont permis de vérifier que les volontaires du groupe Témoin n'étaient pas exposés à de forts niveaux sonores le jour des mesures. Ce léger déficit peut être mis en relation avec le fait que plus d'un tiers des participants des groupes Musique et Témoin ont déclaré avoir des problèmes de compréhension dans un environnement bruyant qui est l'un des signes précoces de perte auditive légère. Parmi l'ensemble des volontaires, ce problème de compréhension dans le bruit était indépendant de l'âge.

La proportion de volontaires du groupe Témoin ayant déclaré des acouphènes chroniques (21 %) est proche de la prévalence rapportée en population générale, soit 15 à 20 % [4, 18]. En revanche, la proportion est beaucoup plus élevée parmi les volontaires du groupe Musique et surtout parmi les techniciens son. Ces résultats du questionnaire confirment la forte prévalence des acouphènes rapportée dans la littérature [19, 20]. Les conséquences de ces acouphènes sont parfois dramatiques pour ces professionnels du secteur de la musique car ils peuvent conduire à une inaptitude médicale au travail et à un arrêt de l'activité professionnelle, notamment chez les musiciens [5].

## FATIGUE AUDITIVE

La fatigue auditive moyenne des volontaires du groupe Musique s'élevait à  $4,7 \pm 6,6$  dB à 4 000 Hz, lorsqu'elle était évaluée par  $\Delta$ ATL, et à  $6,7 \pm 3,9$  dB pour les calculs de  $\Delta$ SRA. La mesure de la variation du seuil du réflexe acoustique par ECHOSCAN® s'est donc révélée plus sensible pour mettre en évidence la fatigue auditive, confirmant ainsi les résultats obtenus avec le prototype INRS lors d'une étude antérieure [15].

Une précédente étude menée auprès d'employés des secteurs de l'industrie et de la construction avait conduit à des résultats similaires en termes de fatigue auditive ( $4,5 \pm 5,5$  dB de  $\Delta$ ATL et  $8,6 \pm 6,4$  dB de  $\Delta$ SRA), mais l'exposition sonore journalière moyenne de ces salariés de l'industrie était de  $LEX,8h = 85,0$  dB(A) soit inférieure de 1,9 dB à celle des professionnels du secteur de la musique amplifiée (86,9 dB(A)) [15].

Par ailleurs, selon la littérature, les musiciens et les techniciens exposés à de la musique présentent des déficits auditifs moins importants que les travailleurs exposés à des bruits industriels de niveaux équivalents [3]. Certains auteurs ont émis l'hypothèse que cette différence était liée à la nature intermittente de la musique, contrairement au profil plus stable et continu du bruit industriel [20]. Les mesures réalisées dans le cadre de la présente étude sont en accord avec cette hypothèse. Elles ont révélé que le niveau de bruit pendant les périodes sans musique était négligeable par rapport à celui de la musique amplifiée. Ces périodes de « pause auditive » – qui représentaient 60 % du temps de travail – ont permis de réduire l'exposition quotidienne de près de 4 dB par rapport à une exposition continue à de la musique, mais surtout, elles ont fourni des périodes pendant lesquelles le système auditif des volontaires pouvait récupérer. Cette configuration pourrait donc être un élément favorable pour les professionnels du secteur de la musique par rapport aux salariés des milieux industriels, où le bruit a tendance à être plus continu.

Les modèles statistiques présentés dans cette étude soutiennent cette hypothèse. En effet, que la fatigue soit évaluée par la  $\Delta$ ATL ou la  $\Delta$ SRA, la stabilité de l'exposition sonore tend à augmenter

## Fatigue auditive et risques pour l'audition chez les professionnels du secteur de la musique amplifiée

la fatigue mesurée, même si son rôle est moins important que celui de l'énergie sonore. Dans les deux modèles, une valeur élevée de l'instabilité sonore, qui correspond à une large distribution des  $Leq_{1s}$  et une grande différence entre les quantiles de ces  $Leq_{1s}$  (par exemple  $L_{10} - L_{90}$ ), réduit la fatigue auditive. Des périodes de calme, même de courte durée, pourraient donc permettre une récupération partielle de l'audition, limitant ainsi l'accumulation de la fatigue en fin de journée de travail. Ces résultats sont en accord avec des expositions contrôlées de volontaires en laboratoire : à énergie constante, le bruit intermittent provoque moins de déplacement temporaire des seuils auditifs 2 minutes après l'exposition que le bruit constant [21]. Cependant, ces pauses de récupération, sans autre action, ne seront pas suffisantes pour supprimer le risque de troubles auditifs pour les professionnels du secteur de la musique amplifiée.

### PRÉVENTION

Près de 69 % des volontaires du groupe Musique ont été exposés à une dose de bruit supérieure à 85 dB(A) sur 8 heures le jour où les mesures ont été réalisées. D'après le Code du travail, un tel environnement sonore oblige, entre autres, l'employeur à fournir des PICB, et le travailleur à les porter. Ces deux obligations ont été rarement respectées.

Seuls 24 % des volontaires du groupe Musique possédaient un PICB fourni par un employeur. Ce résultat est d'autant plus surprenant que chez les volontaires du groupe Témoin, 80 % des personnes équipées l'avaient été grâce à l'employeur. Les résultats du questionnaire montrent que les employeurs financent plus facilement la fabrication de bou-

chons moulés pour les salariés permanents (soit la quasi-totalité des volontaires du groupe Témoin), que pour les intermittents qui représentent pourtant la grande majorité des volontaires du groupe Musique et sont exposés beaucoup plus régulièrement à des niveaux sonores élevés. Ces derniers se voient parfois proposer des bouchons jetables en mousse, disponibles gratuitement pour le public, mais inadaptés à leur pratique professionnelle.

Seuls 3 volontaires du groupe Musique sur 55 ont porté leur PICB, et seulement pendant une partie du concert. Cette sous-utilisation des PICB contraste avec le fait que 90 % des volontaires du groupe Musique avaient déclaré dans le questionnaire être conscients que leur activité comportait un risque pour leur audition. Plusieurs études ont conclu que cette divergence reflète un comportement de prise de risque, qui semble assez courant dans le secteur de la musique [22, 23]. Certains auteurs ont mis en évidence le fatalisme des salariés qui les conduit à ignorer certaines règles de sécurité [23, 24], alors que d'autres ont souligné que ces professionnels exposés à de la musique manquaient de connaissances et d'informations sur les types de PICB et leur disponibilité [25].

Tous les ingénieurs du son rencontrés au cours de cette étude ont déclaré qu'ils ne pouvaient pas mixer avec des PICB, y compris avec des bouchons d'oreille moulés sur mesure équipés de filtres plats. S'il est compréhensible que le port de PICB soit difficile à concilier avec l'activité d'un ingénieur du son, il n'en est pas de même pour toutes les autres professions. Les professionnels rencontrés n'avaient pas toujours des PICB adaptés aux contraintes de leur activité alors que des

gammes de protecteurs existent pour couvrir de nombreuses situations. Un guide de prévention «Audition : Préservez votre capital» à destination des employeurs et des salariés du spectacle, librement accessible ([https://travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/laudition\\_un\\_capital\\_a\\_preserver\\_guide\\_complet.pdf](https://travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/laudition_un_capital_a_preserver_guide_complet.pdf)), permet entre autre aux professionnels du secteur de choisir le type de PICB adapté au poste de travail. Ce guide rappelle également le nécessaire engagement des employeurs vis-à-vis des salariés, et notamment des intermittents, pour les problématiques de santé et sécurité au travail. En effet, le faible taux d'équipement en PICB des volontaires du groupe Musique (57 %), et le fait que plus de la moitié des volontaires équipés l'aient fait à leurs frais, témoignent de cette différence d'investissement des employeurs entre les personnels permanents de l'établissement et les intermittents. Mais la prévention du risque auditif ne se limite pas au port de PICB. Tous les moyens visant à limiter les niveaux sonores à l'émission et au poste de travail permettent de réduire ce risque. Dans le secteur de la musique amplifiée, il pourra s'agir d'aménager les locaux pour réduire le niveau sonore au poste de travail, d'utiliser la multidiffusion pour réduire les points chauds (très forte intensité) ou de jouer sur les facteurs organisationnels pour réduire le nombre de personnes exposées et la durée d'exposition.

Enfin, les modèles de la fatigue auditive ont confirmé l'intérêt du morcellement de l'exposition sonore au cours de la journée. À l'instar des zones calmes obligatoires pour le public, il serait souhaitable de créer pour les professionnels des zones calmes, accessibles et bien identifiées, où le niveau sonore serait inférieur à 70 dB(A), ce qui

permettrait aux oreilles des techniciens de récupérer dans de bonnes conditions. Cela serait particulièrement utile lors des festivals en plein air où l'exposition journalière à la musique peut être plus longue et les infrastructures d'accueil itinérantes moins efficaces pour atténuer les forts niveaux sonores environnants. Pour les agents de sécurité, nous recommandons une rotation entre les postes très exposés (en salle) et plus calmes (aux abords de la salle), afin d'aménager des pauses auditives.

Des pauses fréquentes de courtes durées pourraient être efficaces car la durée de la demi-vie de la fatigue engendrée par un concert semble être proche de 30 minutes selon les données parcellaires obtenues au cours de cette étude (10 volontaires). Cependant, les paramètres de fréquence et de durée des pauses devront être étudiés de manière plus approfondie pour préciser la durée de récupération optimale permettant d'empêcher l'accumulation de fatigue, tout en étant applicable en situation réelle de travail. C'est notamment l'un des enjeux du projet de recherche Fatigaudit, financé par l'Agence nationale de la Recherche, actuellement en cours, pour lequel l'INRS s'est associé à l'Institut de l'Audition de Paris, l'Institut des Neurosciences de Montpellier et le CHU de Montpellier.

## CONCLUSION

L'exposition quotidienne de la moitié des professionnels exposés à la musique amplifiée dépasse la valeur limite réglementaire de 87 dB(A) dans cette étude. Cette exposition n'est pas liée à la fonction, mais plutôt au style de musique. Ces expositions entraînent une

fatigue auditive en fin de journée. Cette fatigue est similaire à celle mesurée dans une étude équivalente dans le secteur industriel, malgré un niveau d'exposition moyen qui était 2 dB(A) plus bas dans l'industrie. L'énergie sonore à laquelle la personne est exposée est le facteur prédominant pour expliquer la fatigue auditive. Cependant, la répartition de cette énergie dans le temps est également un paramètre déterminant. L'alternance de périodes calmes et bruyantes ou le maintien d'une large dynamique sonore, tout en excluant les bruits impulsifs (chocs, percussions) particulièrement nuisibles, sont des situations favorables qui réduisent la fatigue en fin de journée.

Les professionnels interrogés dans le cadre de cette étude sont clairement conscients des risques que leurs activités font peser sur leur audition. En plus des déficits auditifs permanents, ils peuvent être atteints d'hyperacousie et/ou d'acouphènes. Ces troubles auditifs doivent être appréhendés dans leur ensemble lors du suivi individuel de l'état de santé de ces travailleurs. Malgré les niveaux sonores élevés rencontrés dans leur environnement de travail, l'utilisation de PICB est rare. Il reste beaucoup à faire pour promouvoir des actions préventives dans ce secteur d'activité. Parmi les approches possibles, l'instauration ou le renforcement de périodes de calme sont recommandés, car elles réduisent l'accumulation de la fatigue auditive et les risques à long terme pour l'audition. Il faut également continuer à militer pour une réduction des niveaux sonores de diffusion de la musique qui puisse concilier expression artistique, plaisir d'écoute pour le public et sécurité pour les professionnels de ce secteur

## POINTS À RETENIR

- L'exposition sonore dépend du style de musique diffusée.
- Toutes les personnes travaillant dans l'espace de diffusion doivent être considérées à risque pour l'audition, quelle que soit leur fonction.
- Les professionnels du secteur de la musique amplifiée sont peu équipés en protection individuelles contre le bruit (PICB).
- Ils ne sont pas équipés avec des PICB adaptés aux contraintes de leur activité.
- Ils portent peu leurs protections même s'ils déclarent être conscients des risques auditifs.
- Les employeurs doivent s'investir davantage pour la prévention des risques auditifs des intermittents.
- La prévalence des acouphènes est importante notamment parmi les techniciens son, lumière ou plateau.
- La prise de pause dans un environnement calme, bénéfique pour réduire la fatigue auditive et les troubles auditifs à long terme, est à encourager.
- Des zones de pauses garantissant un niveau sonore inférieur à 70 dB(A) devraient être identifiées et accessibles aux professionnels.

BIBLIOGRAPHIE  
PAGE SUIVANTE



## Fatigue auditive et risques pour l'audition chez les professionnels du secteur de la musique amplifiée

### BIBLIOGRAPHIE

- 1 | Qu'est-ce qu'un intermittent du spectacle? Questions FAQ. Ministère de la culture, 2012 (<https://www.culture.gouv.fr/Foire-aux-questions/Questions-FAQ/Qu-est-ce-qu-un-intermittent-du-spectacle>).
- 2 | Observatoire des métiers du spectacle vivant. Tableau de bord statistique: Les employeurs et l'emploi. Données 2022. Commission paritaire nationale Emploi Formation Spectacle vivant (CPNEFSV), 2023 (<https://www.cpnfsv.org/donnees-statistiques/chiffres-cles>).
- 3 | TROMPETTE N, VENET T - Exposition sonore et risque auditif pour les professionnels de la musique et du son: revue bibliographique. Note scientifique et technique NS 370. Paris: INRS; 2020: 58 p.
- 4 | BAGULEY D, MCFERRAN D, HALL D - Tinnitus. *Lancet*. 2013; 382 (9 904): 1 600 07.
- 5 | STØRMER CCL, LAUKLI E, HØYDAL EH, STENKLEV NC - Hearing loss and tinnitus in rock musicians: A Norwegian survey. *Noise Health*. 2015; 17 (79): 411-21.
- 6 | AAZH H, MCFERRAN D, SALVI R, PRASHER D ET AL. - Insights from the First International Conference on Hyperacusis: causes, evaluation, diagnosis and treatment. *Noise Health*. 2014; 16 (69): 123-26.
- 7 | PAULIN J, ANDERSSON L, NORDIN S - Characteristics of hyperacusis in the general population. *Noise Health*. 2016; 18 (83): 178-84.
- 8 | DI STADIO A, DIPIETRO L, RICCI G, DELLA VOLPE A ET AL. - Hearing Loss, Tinnitus, Hyperacusis, and Diplacusis in Professional Musicians: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2018; 15 (10): 2120.
- 9 | AMORIM RB, LOPES AC, PINHEIRO DOS SANTOS KT, PASSARELLI MELO AD ET AL. - Auditory Alterations for Occupational Exposition in Musicians. *Intl Arch Otorhinolaryngol*. 2008; 12 (3): 377 83.
- 10 | WANG Y, HIROSE K, LIBERMAN MC - Dynamics of noise-induced cellular injury and repair in the mouse cochlea. *J Assoc Res Otolaryngol*. 2002; 3 (3): 248 68.
- 11 | VENET T, THOMAS A, MERLEN L, BOUCARD S ET AL. - Parameters influencing auditory fatigue among professionals working in the amplified music sector: noise exposure and individual factors. *Int J Audiol*. 2023: 1 9 (en ligne avant impression).
- 12 | PUEL JL, D'ALDIN C, RUEL J, LADRECH S ET AL. - Synaptic repair mechanisms responsible for functional recovery in various cochlear pathologies. *Acta Otolaryngol*. 1997; 117 (2): 214-18.
- 13 | KUJAWA SG, LIBERMAN MC - Adding insult to injury: cochlear nerve degeneration after «temporary» noise-induced hearing loss. *J Neurosci*. 2009; 29 (45): 14 077-85.
- 14 | KÄHÄRIT K, ZACHAU G, EKLÖF M, SANDSJÖ L ET AL. - Assessment of hearing and hearing disorders in rock/jazz musicians. *Int J Audiol*. 2003; 42 (5): 279 88.
- 15 | VENET T, CAMPO P, RUMEAU C, THOMAS A ET AL. - One-day measurement to assess the auditory risks encountered by noise-exposed workers. *Int J Audiol*. 2014; 53 (10): 737 44.
- 16 | VENET T, BEY A, CAMPO P, DUCOURNEAU J ET AL. - Auditory fatigue among call dispatchers working with headsets. *Int J Occup Med Environ Health*. 2018 ; 31 (2): 217-26.
- 17 | FUENTE A, QIU W, ZHANG M, XIE H ET AL. - Use of the kurtosis statistic in an evaluation of the effects of noise and solvent exposures on the hearing thresholds of workers: An exploratory study. *J Acoust Soc Am*. 2018; 143 (3): 1 704.
- 18 | LANGGUTH B, KREUZER PM, KLEINJUNG T, DE RIDDER D - Tinnitus: causes and clinical management. *Lancet Neurol*. 2013; 12 (9): 920 30.
- 19 | BARLOW C, CASTILLA-SANCHEZ F - Occupational noise exposure and regulatory adherence in music venues in the United Kingdom. *Noise Health*. 2012; 14 (57): 86-90.
- 20 | HALEVI-KATZ DN, YAAKOBI E, PUTTER-KATZ H - Exposure to music and noise-induced hearing loss (NIHL) among professional pop/rock/jazz musicians. *Noise Health*. 2015; 17 (76): 158-64.
- 21 | KRYTER KD, WARD WD, MILLER JD, ELDRIDGE DH - Hazardous exposure to intermittent and steady-state noise. *J Acoust Soc Am*. 1966; 39 (3): 451 64.
- 22 | MENDES MH, CATALANI MORATA T, MENDES MARQUES J - Acceptance of hearing protection aids in members of an instrumental and voice music band. *Braz J Otorhinolaryngol*. 2007; 73 (6): 785 92.
- 23 | KELLY AC, BOYD SM, HENEHAN GTM - Perceived barriers to hearing protection use by employees in amplified music venues, a focus group study. *Health Educ J*. 2015; 74 (4): 458 72.
- 24 | REDDY RK, WELCH D, THORNE P, AMERATUNGA S - Hearing protection use in manufacturing workers: a qualitative study. *Noise Health*. 2012; 14 (59): 202-09.
- 25 | POURYAGHOUB G, MEHRDAD R, POURHOSEIN S - Noise-Induced hearing loss among professional musicians. *J Occup Health*. 2017; 59 (1): 33-37.