

**Exposition sonore et risque auditif
pour les professionnels
de la musique et du son :
revue bibliographique**

NS 370

NOTE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

Exposition sonore et risque auditif pour les professionnels de la musique et du son : revue bibliographique

Nicolas TROMPETTE,
Ingénierie des équipements de travail (IET)
laboratoire Acoustique au travail (ACT)

Thomas VENET,
Toxicologie et biométrie (TB)
laboratoire Ototoxicité et neurotoxicité (ONE)

NS 370
janvier 2020

Exposition sonore et risque auditif pour les professionnels de la musique et du son : revue bibliographique

Table des matières

1	Introduction.....	3
1.1	Champ de l'étude	3
1.2	Matériel et méthodes.....	3
1.3	Troubles auditifs.....	3
2	Revue de la bibliographie	5
2.1	Musiciens d'orchestre symphonique	5
2.1.1	Niveaux d'exposition	5
2.1.2	Pertes auditives	8
2.1.3	Autres troubles auditifs	14
2.2	Musique amplifiée : musiciens et techniciens du son.....	16
2.2.1	Préambule	16
2.2.2	Exposition sonore à de la musique amplifiée.....	16
2.2.3	Troubles auditifs et musique amplifiée	20
2.3	Autres travailleurs exposés à la musique amplifiée.....	24
3	Discussion	26
3.1	Musique classique	26
3.1.1	Niveaux d'exposition	26
3.1.2	Pertes auditives et autres troubles	30
3.2	Musique amplifiée.....	33
3.2.1	Exposition sonore	33
3.2.2	Risque pour l'audition	35
3.2.3	Acouphènes et Hyperacousie.....	36
3.3	Autres travailleurs exposés à de la musique amplifiée	37
4	Prévention du risque auditif.....	40
4.1	La démarche générale de prévention	40
4.2	Risques liés à l'exposition à de la musique	40

4.3	Les solutions collectives	41
4.4	La protection individuelle.....	43
4.5	La surveillance médicale.....	45
4.6	La formation et l'information	45
5	Synthèse et discussion.....	46
6	Références.....	48

1 Introduction

1.1 Champ de l'étude

Cette étude essentiellement bibliographique s'intéresse spécifiquement aux risques auditifs pour les professionnels de la musique et du son. Elle constitue la mise à jour d'une étude bibliographique menée par l'INRS en 2004 [1].

Tout comme l'étude précédente, elle a été réalisée en distinguant les membres d'orchestres symphoniques des professionnels exposés à la musique amplifiée. Parmi les personnes exposées à la musique amplifiée dans le cadre de leur activité, plusieurs catégories ont été identifiées dans la littérature : les musiciens professionnels pratiquant la musique amplifiée ; les techniciens concourant à la réalisation des performances de ces musiciens (ingénieurs et régisseurs son, régisseurs lumières) ; une troisième catégorie constituée par les autres personnels travaillant sur le lieu de diffusion de la musique amplifiée. Un moins grand nombre de données est disponible pour cette dernière catégorie. Elle est également plus hétérogène que les autres et elle concerne essentiellement les disc-jockeys, les serveurs, les barmen et les personnels de sécurité.

Afin d'évaluer le risque auditif, les niveaux d'exposition sonore et les troubles auditifs ont été étudiés pour chaque population.

1.2 Matériel et méthodes

La recherche bibliographique a été limitée aux données internationales publiées en langue anglaise ou française depuis 1975.

Parmi les références trouvées, seules ont été conservées les études métrologiques. Toutes les études bibliographiques faisant référence à des études métrologiques ont été écartées afin d'éviter toute redondance.

Toutes les mesures de l'exposition sonore ou des niveaux sonores fournies dans les références ont été conservées dans les analyses. Ces données ont été regroupées sans distinction puis analysées afin, d'une part, d'évaluer statistiquement leur représentativité et, d'autre part, de lisser les biais entre les sources. L'intérêt d'une telle approche est d'éviter un tri subjectif des données, son défaut étant de réunir des données issues de méthodologies et d'instrumentations de mesure différentes. Aussi, cette inclusion exhaustive est complétée par une analyse critique et des tableaux de synthèse comparant les méthodologies, les critères et les résultats de chaque référence.

La musique, particulièrement lorsqu'elle est amplifiée, est riche en basses fréquences. De plus, elle couvre un large spectre sonore, plus large que ce qui peut être observé pour les bruits industriels courants. Mais les données bibliographiques sur les composantes spectrales de la musique n'étaient pas assez complètes pour que cet aspect soit traité. Par ailleurs les résultats des mesures d'exposition sonore sont exprimés en employant la pondération fréquentielle « A ». Ceci simplifie la comparaison des résultats provenant de sources différentes.

1.3 Troubles auditifs

Les troubles auditifs étudiés par les différents auteurs sont variés.

Le trouble auditif le plus connu est le déficit auditif permanent consécutif à une exposition sonore. Il se caractérise par un décalage du seuil d'audition, temporaire (TTS : temporary threshold shift) ou permanent (PTS : permanent threshold shift). Le PTS provoqué par une exposition sonore

professionnelle (NIPTS¹ : pertes auditives dues au bruit), notamment dans le milieu industriel, a été largement étudié et il est possible d'estimer la perte auditive médiane pour une population de salariés en fonction du niveau et de la durée d'exposition [2]. Cette estimation n'est fiable que pour des profils d'exposition stables. Elle ne prend pas en compte le caractère complexe d'expositions très fluctuantes ou riches en bruits impulsionnels [3]. En France, la reconnaissance de maladie professionnelle consécutive à une exposition sonore, régie par le Tableau 42 du Régime Général, repose sur l'évaluation du déficit auditif permanent de perception (atteinte de l'oreille interne). Cependant les troubles auditifs liés à l'exposition sonore ne se limitent pas au seul déficit auditif permanent.

Les acouphènes sont définis comme la perception d'un son sans stimulus acoustique externe. Ils peuvent être provoqués par des pathologies le long de la voie auditive. Ils touchent 10 à 25 % de la population adulte générale et ont des conséquences qui peuvent être graves sur les activités quotidiennes et la qualité de vie [4] [5] [6]. Dans la plupart des cas, les acouphènes apparaissent à la suite de lésions cochléaires provoquant une perte soudaine de l'audition, ou d'un traumatisme lié au bruit. L'incidence augmente également avec l'âge [7]. La presbycusie et la prise de médicaments ototoxiques sont également deux facteurs favorisant l'apparition des acouphènes [5]. Toutes ces causes peuvent entraîner une activité neuronale anormale (régulation à la baisse/régulation à la hausse des potentiels d'action) dans les voies auditives qui peut ensuite provoquer des acouphènes. Cependant, l'association entre la perte auditive et les acouphènes n'est pas inéluctable. Les sujets atteints de pertes auditives ne développent pas toujours des acouphènes et un audiogramme anormal n'est pas forcément détecté chez tous les sujets souffrant d'acouphènes. Chez les sujets présentant un déficit auditif induit par le bruit, la prévalence des acouphènes est comprise entre 35 et 77 % selon les auteurs [8] [9] [10]. De plus, les personnes atteintes signalent souvent une aggravation des acouphènes en période (ou en situation) de stress ce qui conduit à un risque accru pour les travailleurs soumis à un stress professionnel élevé [11].

L'hyperacousie est définie comme une tolérance réduite aux sons d'intensité moyenne pouvant aller jusqu'à une sensation douloureuse [12]. L'hyperacousie est très souvent associée aux acouphènes, puisque la prévalence d'hyperacousie chez les sujets souffrant d'acouphènes s'élève à 86 % [13]. Une personne travaillant dans le secteur de la musique peut difficilement exercer son activité si elle souffre d'hyperacousie.

La diplacousie est une anomalie de perception des tonalités sonores. Une même fréquence sonore est perçue par l'oreille droite avec une tonalité différente de celle perçue par l'oreille gauche [14]. La diplacousie est plus fréquente chez les personnes atteintes d'une perte auditive présentant une forte dissymétrie gauche/droite. Comme dans le cas de l'hyperacousie, ce trouble auditif peut être très handicapant pour un travailleur du secteur de la musique.

Les atteintes auditives peuvent aussi conduire à une déformation du signal sonore. Il peut s'agir d'une distorsion d'intensité (compression de l'échelle d'intensité, seuil de douleur atteint rapidement) ou d'une distorsion fréquentielle ayant différents stades de gravité : de la légère modification des timbres jusqu'à rendre le message sonore totalement incompréhensible [15]. Là encore, il est difficile, pour un travailleur atteint, de maintenir une performance professionnelle alors qu'il devrait avoir une oreille « musicale ».

¹Dans le reste du document, les pertes auditives dues à l'exposition sonore professionnelle, qui sont les pertes auditives totales corrigées des pertes dues à l'âge (presbycusie), seront notées NIPTS pour Noise Induced Permanent Threshold Shift conformément à la norme ISO 1999 :2013. Certains auteurs des publications étudiées utilisent le terme NIHL pour Noise Induced Hearing Loss.

Les troubles auditifs peuvent résulter d'une exposition chronique au bruit mais également survenir rapidement à la suite d'une exposition brève à des bruits de très forte intensité. On parle alors de traumatisme sonore aigu (TSA). Le réseau de déclaration des TSA d'Ile-de-France a montré que 53 % des déclarations ont pour origine la musique et, plus particulièrement, 25 % des TSA de la population générale étaient provoquées par un concert [16].

2 Revue de la bibliographie

2.1 Musiciens d'orchestre symphonique

2.1.1 Niveaux d'exposition

Treize campagnes de mesures de l'exposition sonore des musiciens d'orchestre symphonique couvrant une période allant de 1980 à 2018 ont pu être recensées.

Quelle que soit la référence considérée, les auteurs ont d'abord évalué le niveau acoustique équivalent ($L_{eq(A)}$) auquel sont soumis les musiciens en effectuant la moyenne des niveaux sonore mesurés lors des différentes phases de pratique de l'instrument (répétition individuelle, répétition collective, concerts). Ils ont ensuite évalué la durée hebdomadaire de pratique de l'instrument. Cette durée hebdomadaire est ensuite ramenée à une durée journalière (en la divisant par 5). Enfin, l'exposition sonore quotidienne – ramenée à 8h, $L_{EX,8h}$ - découle de la pondération du niveau acoustique équivalent auquel sont soumis les musiciens par la durée journalière de pratique de l'instrument. Dans la suite de ce document, le niveau acoustique équivalent ($L_{eq(A)}$) auquel sont soumis les musiciens lorsqu'ils pratiquent et leur exposition sonore quotidienne sont respectivement désignés par les termes « niveau sonore » et « exposition sonore ».

Axelsson et Lindgren [17] ont effectué 89 enregistrements à l'aide d'exposimètres placés sur les musiciens durant des concerts. Les niveaux sonores mesurés varient entre 78 et 94 dB(A) pour des durées comprises entre 30 min et 2 h. Les facteurs influençant ces niveaux sonores sont dans l'ordre d'importance l'intensité de l'œuvre et l'instrument. La durée hebdomadaire d'exposition au bruit des musiciens est évaluée à 25 h incluant concerts et répétitions, plus environ 10 h de pratique individuelle. Le niveau sonore moyen est de 89 dB(A) et l'exposition sonore ainsi estimée est supérieure à 85 dB(A).

Jansson et Karlsson [18] ont mesuré, sur des durées allant de 15 à 51 min, les niveaux sonores également à l'aide d'exposimètres placés sur les musiciens lors de trois concerts et deux ballets. Les niveaux sonores mesurés vont de 75 à 99 dB(A), suivant l'instrument et l'œuvre. C'est surtout l'intensité de l'œuvre qui détermine le niveau sonore, puis la position du musicien et enfin son instrument. Les auteurs évaluent à 25 h la durée hebdomadaire d'exposition au bruit des musiciens.

Westmore et Eversden [19] ont effectué 6 enregistrements de 1 h à 3 h 30 à l'aide de sonomètres placés entre les instrumentistes dans la zone des instruments à vent. Pour trois des six œuvres observées, les niveaux sonores excèdent 90 dB(A) au moins 50 % du temps alors qu'ils restent en dessous de cette limite 100 % du temps pour les trois autres, ce qui confirme l'importance de l'intensité de l'œuvre sur l'exposition au bruit.

Royster et al. [20] ont réalisé 68 mesures d'exposition sonore à l'aide d'exposimètres placés sur 44 musiciens de l'orchestre symphonique de Chicago. Les niveaux sonores varient entre 79 et 99 dB(A) pour une moyenne de 90 dB(A). Les auteurs ont relevé des pics sonores fréquents pour des valeurs comprises entre 115 et 129 dB(A). Les niveaux sonores moyens et les pics sonores dépendent fortement de l'œuvre jouée et des instruments. Les instruments les plus bruyants sont les cors et les trompettes, suivis des clarinettes des flûtes, des bassons et des percussions et enfin des violons et des

altos. Les mesures révèlent une différence de 6-8 dB entre les oreilles gauche et droite pour les violonistes. Pour les autres musiciens (contrebasse, violoncelle, harpe, piano) l'exposition sonore reste inférieure à 85 dB(A) sur 8 h.

Fearn [21] a aussi effectué des mesures de 30 min à 1 h avec des exposimètres placés sur des musiciens de musique classique en concert. Les niveaux sonores relevés sont compris entre 84 à 93 dB(A) (de 84 à 89 dB(A) pour les interprètes cordes et de 86 à 93 dB(A) pour les interprètes cuivres). Il a aussi effectué des mesures de niveau sonore lors de pratiques individuelles : seuls les percussionnistes et les saxophonistes dépassent 84 dB(A) et affichent respectivement jusqu'à 99 et 94 dB(A). Enfin Fearn a aussi effectué une mesure lors d'une répétition d'un petit groupe comprenant des percussions et des trompettes et relève un niveau sonore de 98 dB(A). Il en a conclu que les percussions et les cuivres présentent un danger pour l'audition des interprètes. Il a évalué par ailleurs le temps total de pratique de l'instrument – concerts et répétitions – à des périodes allant de 10 à 35 h par semaine.

Sabesky et Korczynski [22] ont réalisé des exposimétries sur 32 des 67 musiciens de l'orchestre symphonique de Winnipeg (Canada). Ils ont mené sept campagnes de mesures lors de répétitions ou de concerts dans 3 lieux (une fosse d'orchestre, une salle de répétition et une scène). Les niveaux sonores varient entre 82 et 100 dB(A), la moyenne étant de 90 dB(A). Le lieu n'a pas d'incidence significative. Le niveau sonore est le même lors des répétitions que lors des concerts. Les auteurs ont aussi relevé qu'un répertoire pop engendre des niveaux d'exposition 5 dB supérieurs à ceux observés pour une symphonie pour violon. Enfin, ils ont conclu à une exposition sonore potentiellement lésionnelle.

Laitinen et al. [23] sont arrivés à la même conclusion à l'issue d'une étude sur les musiciens de l'orchestre national finlandais. Leur étude est plus complète que les études citées précédemment car ils ont mesuré les niveaux sonores auxquels sont exposés les instrumentistes à la fois en concert et lors des répétitions collectives et individuelles. Ils ont utilisé à la fois des exposimètres placés sur l'épaule de l'instrumentiste et des sonomètres placés à proximité des musiciens de même famille instrumentale. Ils relèvent des niveaux d'exposition sonore supérieurs à 86 dB(A) dans tous les cas, y compris celui de la pratique individuelle, et pour tous les instrumentistes à l'exception des contrebassistes. Ils ont évalué avec précision les temps d'exposition : entre les concerts et les répétitions collectives, les musiciens cumulent entre 19 et 21 h d'exposition par semaine de travail, auxquelles il faut ajouter 10 h de répétition individuelle environ, soit 30 h par semaine. Les auteurs ont conclu ainsi à 5 h 30 d'exposition journalière moyenne en tenant compte des périodes de l'année sans concerts, qui diminuent un peu le temps d'exposition journalier calculé. L'exposition sonore quotidienne étant seulement 1,5 dB inférieure au niveau sonore moyen lors de la pratique, les auteurs en ont conclu que tous les instrumentistes sont exposés quotidiennement à plus de 85 dB(A), sauf les contrebassistes. Les auteurs ont aussi étudié le chef d'orchestre et les chanteurs d'un chœur. Le chef d'orchestre n'est pas exposé à plus de 85 dB(A). En revanche les choristes sont exposés à des niveaux sonores élevés particulièrement lorsqu'ils travaillent seuls car ils font des exercices particuliers dans des endroits souvent inappropriés (local réverbérant). Quatre œuvres musicales ont été comparées. Les niveaux sonores les plus élevés sont obtenus pour le ballet « le lac des cygnes » et les plus faibles pour l'opéra « Don Giovanni » avec des écarts allant de 1 dB pour les violonistes à 10 dB pour les cuivres. Pour ces quatre œuvres, les niveaux sonores varient de 83 à 95 dB(A) selon les instrumentistes. Enfin les niveaux sonores lors de la pratique individuelle sont inférieurs à ceux mesurés lors des pratiques de groupe seulement dans le cas des cordes, ce qui laisse à penser que d'autres instruments contribuent à l'exposition sonore des interprètes d'instruments à corde. A l'inverse, les cuivres et les

percussions exposent plus leurs instrumentistes lors de la pratique individuelle. Ces musiciens sont donc principalement exposés par leur instrument. Cela peut s'expliquer à la fois par la puissance des instruments et un temps de jeu plus faible lors des répétitions collectives.

Lee et al. [24] ont réalisé une étude assez similaire par dosimétrie uniquement (exposimètres placés sur l'épaule de l'instrumentiste) avec la « Canadian Opera Company ». Leurs mesures couvrent l'intégralité des œuvres observées, soit environ 3 h. Ils ont relevé des niveaux sonores allant de 83 à 94 dB(A) pour deux opéras, les joueurs de cordes allant de 84 à 89 dB(A), les joueurs de cuivres de 90 à 93 dB(A), les flûtistes de 87 et 92 dB(A), les interprètes des bois de 85 et 89 dB(A) et les percussionnistes de 80 à 88 dB(A). Par rapport aux précédentes références, seules les percussionnistes s'écartent des niveaux sonores habituellement observés. Le chef d'orchestre a été inclus et il est moins exposé (autour de 82 dB(A)). Les auteurs ont noté que l'exposition sonore des cordes est influencée par leur position par rapport aux bois. Enfin ils ont conclu à l'absence d'exposition lésionnelle mais cette conclusion est discutable car les temps d'exposition considérés sont les durées des concerts (les répétitions sont négligées).

Emmerich et al. [25] ont réalisé des mesures sonométriques à différentes positions dans un orchestre pendant une symphonie (« Ma Patrie » de Smetana). Les auteurs ont relevé un niveau sonore moyen de 93 dB(A) avec des pics sonores pouvant atteindre 109 dB(A) devant les flûtes (picolos). Ils ont aussi effectué des dosimétries pendant un opéra qui montrent des niveaux sonores allant de 89 à 92 dB(A) pour tous les instrumentistes. Les musiciens déclarent travailler en moyenne 29 h par semaine. Les auteurs ont conclu à une exposition potentiellement lésionnelle pour tous les groupes observés (cordes, bois, cuivres).

O'Brien et al. [26] ont effectué l'étude la plus poussée. Ils ont recueilli leurs données à l'aide d'exposimètres sur le seul « Queensland Orchestra » mais sur 3 ans et avec des mesures des niveaux sonores auxquels sont exposés les musiciens couvrant systématiquement toute la durée des événements (spectacle et répétition collective). Ils ont collecté 1608 enregistrements sur 27 positions. Ils ont ainsi obtenu des valeurs moyennes par instrument cohérentes avec les références précédentes mais beaucoup plus fiables et resserrées. Les niveaux sonores auxquels sont exposés les cordes varient entre 84 et 85 dB(A), ceux des bois et des cuivres entre 87 et 89 dB(A). Les trompettistes subissent des niveaux sonores allant jusqu'à 90 dB(A). Enfin les percussionnistes sont exposés à des niveaux sonores qui varient entre 88 et 89 dB(A). L'orchestre utilisait principalement trois lieux différents : une salle de répétition, une salle de concert et un théâtre lyrique. Il n'y a pas de différence de niveau sonore entre les salles de répétition et de concert sauf pour les cordes. Les auteurs attribuent cette différence spécifique à une plus grande distance entre les cordes et les bois dans la salle de répétition. La fosse du théâtre lyrique entraîne une légère amplification – de l'ordre de 1 à 2 dB – du fait du confinement et du répertoire, d'après les auteurs. Les auteurs ont alerté sur le fait qu'ils n'avaient pas évalué les différences gauche-droite pour les violons et les altos et que les expositions sont probablement sous-estimées pour ces instrumentistes. Sur la base de durées journalière d'exposition soit de 3 h (concerts) soit de 2 h 30 (répétitions), ils ont conclu à un risque avéré pour les instrumentistes exposés à plus de 89 dB(A), à un risque faible à élevé pour ceux exposés à des niveaux sonores compris entre 86 et 89 dB(A) et à une absence de risque pour des niveaux inférieurs à 86 dB(A). Ces résultats rejoignent parfaitement les conclusions des précédentes études, à ceci près que les données sont beaucoup plus complètes. La seule faiblesse de cette étude est qu'elle se limite à un seul orchestre.

Pawlacyc-Luszczynska et al. [27] ont également réalisé un nombre élevé de mesures de niveaux sonores (211 échantillons de 2 à 3 h) lors d'opéras, de concerts ou de répétitions en formation. Par

rapport à l'étude précédente, ils ont obtenu des niveaux sensiblement plus dispersés et moins élevés : 80 à 83 dB(A) pour les cordes, 86 dB(A) pour les bois, 88 dB(A) pour les cuivres et enfin 86 dB(A) pour les percussions. Ils ont évalué le temps d'exposition hebdomadaire entre 28 et 29 h en incluant les répétitions individuelles.

Schmidt et al. [28] ont eux aussi effectué, à l'aide d'exposimètres, 114 mesures des niveaux sonores auxquels sont exposés des musiciens pour deux orchestres symphoniques durant des périodes de 30 min à 1 h 30. Leurs mesures sont particulières car ils ont utilisé des microphones miniatures placés à une distance de 1 à 2 cm de l'entrée du canal auditif du musicien (au lieu de microphones classiques se plaçant sur l'épaule). Les niveaux sonores recueillis sont plus élevés que ceux observés dans la publication précédente : entre 90 et 93 dB(A) à l'oreille gauche des violonistes, entre 84 et 87 dB(A) à leur oreille droite (6 dB d'écart entre le côté instrument et le côté opposé), entre 84 et 86 dB(A) pour les cordes ténor, entre 89 et 93 dB(A) pour les bois, entre 90 et 96 dB(A) pour les cuivres et enfin 90 dB(A) pour les percussionnistes, avec pour ces derniers des niveaux acoustiques de crête allant jusqu'à 132 dB(C). Les niveaux dépendent fortement de l'instrument et du répertoire joué. Les concerts, les répétitions de groupe et la pratique individuelle contribuent tous de manière significative à l'exposition sonore. En moyenne, lors de ces différentes phases, les musiciens ont été exposés à 92 dB(A) et une majorité de musiciens à des niveaux sonores supérieurs à 85 dB(A). Les auteurs ont aussi effectué des mesures ciblées durant des répétitions individuelles et les niveaux sonores recueillis sont très élevés : 99 dB(A) à l'oreille gauche d'un joueur de trombone sur 30 min, par exemple. Ces niveaux sonores élevés s'expliquent probablement par l'utilisation des microphones miniatures placés près de l'entrée du canal auditif et par des périodes de mesure plus courtes que pour les œuvres complètes. Les concerts, les répétitions de groupe comme la pratique individuelle contribuent tous de manière significative à l'exposition sonore. Les instruments les plus exposants sont les cuivres, puis les bois et enfin les violons pour l'oreille du côté de l'instrument. Les percussions paraissent générer des expositions continues un peu moins élevées mais, en revanche, exposent aux niveaux acoustiques de crête les plus forts. Les auteurs ont évalué le temps de jeu quotidien à 3 à 4 h. Ils en ont conclu que tous les instrumentistes sont exposés à plus de 85 dB(A) sur 8 h à l'exception des violoncellistes et des contrebassistes. À noter que d'après leurs cartes sonores, le chef d'orchestre n'est pas exposé.

Enfin en 2013, O'Brien et al. [29] a complété sa précédente étude [26] en mesurant l'exposition des musiciens d'orchestre lors de leur pratique individuelle. Il a utilisé la même salle, très grande et raisonnablement traitée d'un point de vue acoustique, et le même protocole (le musicien accorde son instrument, joue une note à différentes intensités, fait un travail technique puis joue un morceau – Don Quichotte de Strauss – le tout durant 23 min). Il a remplacé les exposimètres par des sonomètres placés à 15 cm de l'oreille. Ce travail a permis de hiérarchiser les instruments. En revanche les niveaux paraissent largement surévalués par rapport aux observations en conditions réelles : 97 dB(A) pour les percussionnistes, 92 à 96 dB(A) pour les cuivres, 85 à 95 dB(A) pour les bois, 88 à 89 dB(A) pour les violonistes (incluant les altos) et 75 à 86 dB(A) pour les autres cordes. Une des raisons est certainement que les musiciens ont joué en continu. Cette étude montre cependant une nouvelle fois que la pratique individuelle ne peut pas être négligée dans l'évaluation de l'exposition et confirme la hiérarchie des instruments (en termes d'exposition de leurs utilisateurs).

2.1.2 Pertes auditives

Axelsson et Lindgren [17] ont effectué une revue de la littérature des années 1960 et 1970 :

- Miskolczy et Fodor (1960) ont effectué des audiogrammes qui ne montrent pas de perte auditive sur une cohorte de 30 pianistes ;

- Berghoff (1968) a étudié 65 musiciens d'orchestre radio et de big band. Des pertes auditives dues au bruit (NIPTS) sont constatées dans les hautes fréquences (4 à 10 kHz) dans 8 % des cas, essentiellement pour les musiciens positionnés devant les cuivres et les bois ;
- Flach (1968, 1972) a examiné les auditions de 506 musiciens et étudiants. Des pertes auditives attribuables à la musique sont constatées dans 4 % des cas. Elles sont plus prononcées pour l'oreille gauche, particulièrement pour les cordes ;
- Janto et Hellman (1972) ont constaté des pertes auditives chez 24 des 65 musiciens qu'ils ont examinés ;
- Inversement, Buhlert et Kuhl (1974) n'ont pas constaté de pertes auditives sur 17 musiciens d'orchestre de radio ;
- Enfin, Grczinska et Czyzewski (1977) ont mesuré des pertes auditives chez 35 des 51 musiciens d'un orchestre symphonique.

Tous ces résultats sont assez discordants. Axelsson et Lindgren [17] l'expliquent principalement par un manque de clarté sur les critères retenus pour évaluer un éventuel déficit auditif.

A partir de 1980, 19 études s'intéressant aux pertes auditives chez les musiciens d'orchestre ont pu être recensées. En plus de leur revue bibliographique, Axelsson et Lindgren [17] ont effectué leurs propres investigations sur 139 musiciens (72 d'un théâtre lyrique, 48 d'une salle de concert et 19 retraités). Tous les audiogrammes sont corrigés des pertes auditives dues à l'âge suivant Spoor [30]. En moyenne, le groupe présente des NIPTS modérées (de l'ordre de 20 dB) à 4, 6 et 8 kHz, plus prononcées à droite qu'à gauche. Le sous-groupe des femmes (17 sur 139) ne présente pas de NIPTS. Les NIPTS et le ratio audition dégradée / audition normale augmentent avec l'âge, montrant d'après les auteurs un impact de l'activité sur l'audition mais uniquement dans la zone 3-8 kHz. Cinquante-neuf musiciens sur les 139 (42 %) présentent des pertes. Les bois et les cuivres sont les instruments qui provoquent le plus de dommages auditifs, suivis des cordes. À noter que certains des musiciens avaient fait la guerre ou fait partie de fanfares militaires et que cela n'a pas d'impact significatif sur les résultats.

Westmore et Eversden [19] ont effectué des audiogrammes sur 68 oreilles (34 musiciens, essentiellement des cordes et des bois) et détecté des NIPTS (critère > 20 dB à au moins une fréquence) chez seulement 4 d'entre eux et uniquement à 4 kHz. Mais ils ont limité les audiogrammes à 4 et 8 kHz (pas de mesures à 3 kHz ni surtout à 6 kHz) et ils ne précisent pas comment ils corrigent la presbycusie due à l'âge du sujet.

Karlsson et al. [31] ont réalisé des audiogrammes sur 417 musiciens de différents orchestres (d'opéra, de radio et symphoniques). Cent-vingt-trois des 417 musiciens ont été testés deux fois à 6 ans d'intervalle. Les auteurs ont comparé leurs résultats par tranche d'âge et par instrument à ceux de Spoor et Passchier-Vermeer [32]. Globalement, ils n'ont pas trouvé de différence entre leur population et celle de Spoor et Passchier-Vermeer. Ils ont expliqué la différence de résultat avec la référence [17] par le fait que Axelsson et Lindgren avaient corrigé leurs moyennes avec les médianes de Spoor. Cependant, nous avons ré-analysé les courbes produites par Karlsson et al. par rapport à l'ISO 7029:2017 [33] et trouvé, contrairement à leurs conclusions, des NIPTS légères (de l'ordre de 5 dB aux fréquences allant de 3 à 6 kHz). Auquel cas leurs résultats deviennent cohérents avec ceux d'Axelsson et Lindgren.

On retrouve la même contradiction entre les données et les conclusions chez Johnson et al. [34]. Cette publication compare les audiogrammes d'une population de 60 musiciens à une population de 30 non-musiciens ainsi qu'aux données de Spoor et de deux autres références et conclut à l'absence de

différence entre les populations. Pourtant une ré-analyse des données de cette publication nous a permis de constater un écart moyen de 4 dB sur les fréquences 3 kHz à 8 kHz avec les 30 non musiciens et de 6 dB avec les données de Spoor (écart montant à 10 dB à 6 kHz). Et ce pour des écart-types comparables entre les deux populations. Il est intéressant de noter que cette référence étend les comparaisons aux hautes fréquences (9 kHz à 20 kHz) entre les musiciens et les non-musiciens sans trouver d'écart.

Fearn et Hanson [35] ont comparé aussi les seuils auditifs à 3, 4 et 6 kHz de 23 musiciens d'orchestres symphoniques avec ceux de 62 non-musiciens et ils ont conclu à l'absence d'écart significatif. Leur critère était 15 dB d'écart à 3-4 kHz et de 20 dB à 6 kHz, la comparaison étant limitée aux sujets de moins de 50 ans. Ces critères assez restrictifs et le très faible nombre de sujets musiciens font que les résultats de cette étude sont difficilement exploitables.

Ostri et al. [36] ont examiné l'audition des 95 musiciens de l'orchestre royal du Danemark. Ils ont observé des pertes auditives pour la moitié des hommes et 13 % des femmes. Cependant leur critère était très large (dépassement de 20 dB HL du seuil normal d'audition – i.e. en fonction de l'âge au sens de l'ISO 7029 – sur une oreille et à une fréquence au moins). L'analyse des groupes a établi une différence significative (au sens statistique : $p < 0.05$) entre le groupe des musiciens et les courbes de référence de l'ISO 7029 [33] et ils ont donc conclu à la présence de NIPTS. Ils ont également observé qu'à 3 et 4 kHz les cordes souffraient de pertes auditives plus sévères à gauche qu'à droite, que les femmes résistaient mieux que les hommes et que les percussionnistes étaient les plus atteints. Les auteurs ont conclu à un risque avéré. À notre avis cette conclusion doit être modérée par le fait que leur population présente des différences notables (jusqu'à 10 dB à 6 kHz) avec celle de l'ISO 7029 dès la première tranche d'âge (20-29 ans). D'autre part les valeurs pour le percentile 75 % s'écartent fortement de celle de la médiane, suggérant que les différences sont dues essentiellement à quelques individus présentant de fortes pertes.

Royster et al. [20] se sont intéressés à l'exposition et aux pertes auditives des musiciens de l'orchestre symphonique de Chicago. Les audiogrammes effectués sur 59 des musiciens ne montraient, d'après les auteurs, pas de différence avec une population américaine de référence non exposée à des bruits industriels (NINEP) ni avec la population de l'ISO 7029:1984 (même si après ré-analyse nous constatons tout de même un écart de l'ordre de +5 à +10 dB avec les seuils de l'ISO 7029:2017 entre 3 et 6 kHz). Ils ont conclu à un risque modéré, i.e. « small amount of NIHL », pour les joueurs de cor, les trompettistes, les clarinettes, les flûtistes, les bassonistes et les percussionnistes et pour l'oreille gauche des violonistes et des violonistes alto. Ils ont appuyé leur conclusion sur la présence d'une encoche à 4-6 kHz sur les audiogrammes, sur une différence significative avec les autres instrumentistes, sur des différences significatives entre l'oreille gauche et l'oreille droite chez les violonistes et violonistes alto et enfin sur des différences très significatives avec les contrebassistes, violoncellistes, harpistes et pianistes (qui, eux, ne montraient aucun écart avec les seuils de l'ISO 7029:2017). Ils ont aussi établi une bonne correspondance entre les pertes auditives prévues par l'ISO 1999 (version de 1990) et celles observées pour les musiciens les plus exposés.

Fearn [21] a mesuré les seuils auditifs de 220 élèves musiciens âgés de 16 à 30 ans dont 64 pratiquant la musique classique. Son critère de perte auditive n'était pas très strict : dépassement de 15 dB HL du seuil normal d'audition à 3 ou 4 kHz ou de 20 dB à 6 kHz sur au moins une oreille, avec une absence de dépassement à 2 kHz. Il a trouvé des NIPTS chez 30 % des musiciens classiques (et, pour comparaison, chez 50 % de ceux pratiquant la musique amplifiée) avec pour plus de 50 % des NIPTS sur seulement une des deux oreilles. Les instrumentistes les plus touchés sont les percussionnistes, les cuivres et les

bois. Il a conclu à un risque pour ces 30 % de musiciens et a proposé dans leur cas le port obligatoire de protection auditive.

Richoux et al. [37] ont retrouvé les mêmes résultats à partir de 190 audiogrammes réalisés sur des musiciens d'orchestres classiques lors de visites médicales. Ils ont comparé leurs données à celles de Burns et Robinson pour tenir compte de l'âge des sujets. Cette comparaison montre que seules 70 % des pertes s'expliquent par la presbycusie, les 30 % restant étant imputables à l'exposition au bruit – donc a priori à la musique. Les NIPTS se produisent essentiellement aux fréquences audiométriques 3, 4 et 6 kHz. Tous les instrumentistes sont concernés mais les plus touchés sont à nouveau l'harmonie (bois, cuivres, et percussions), percussionnistes en tête. Ils ont également constaté que chez les violonistes et les violonistes altos, les pertes auditives étaient plus importantes à gauche qu'à droite. Ils ont noté un pattern typique de pertes auditives dues à l'exposition au bruit avec un scotome (encoche dans un audiogramme caractéristique d'une perte induite par une surexposition sonore) à 4 et 6 kHz. Enfin 11 % des musiciens déclaraient souffrir d'acouphènes. Les auteurs ont conclu à un risque de pertes auditives plus élevé chez les musiciens que dans la population non exposée.

Kähäri et al. [38] ont étudié l'évolution, après 16 ans d'activité professionnelle, des seuils d'audition d'une partie (56 musiciens sur les 139 initiaux) de la population déjà observée par Axelsson et Lindgren [17]. D'après eux les différences de seuils d'audition s'expliquaient par la presbycusie, évaluée d'après la norme ISO 7029 (version de 1984). Effectivement, une ré-analyse avec la version de 2017 de l'ISO 7029 de leurs données (cf. tableau I suivant) confirme leur constat. Cette publication est bien étayée et précise mais cible une population faible, qui de plus appartient à un orchestre déjà averti par une précédente étude des risques auditifs et donc susceptible d'avoir depuis mis en place des mesures de prévention. Même si statistiquement la population étudiée ne présentait pas de différence avec la norme ISO, les graphes de cette publication montrent qu'elle présentait des pertes auditives supérieures aux courbes moyennes et ce alors qu'il s'agissait de musiciens, ayant potentiellement au départ une meilleure audition (cf. [39] & [40]). Entre autres, cinq personnes avaient des audiogrammes dont les valeurs étaient au-delà du seuil des 10 % de la population présentant le plus d'atteintes auditives contre aucune personne ayant des audiogrammes se situant en-dessous du seuil des 10 % ayant le moins d'atteintes. Finalement, rien n'autorisait les auteurs à conclure qu'il n'y a pas de risques auditifs chez les musiciens d'orchestre symphonique. Ce qu'ils ont constaté, c'est une évolution des pertes auditives plus faible que pour la population moyenne. D'ailleurs l'analyse des pertes auditives des sujets de leur étude (cf. tableau I) montre que ces derniers présentaient des pertes un peu supérieures à la population moyenne.

Fréquences de test, kHz	0,25	0,5	1	2	3	4	6	8	Moy. 3-6kHz
Femmes, Kähäri [38]	1	1	0,4	0,6	3,7	6	8,5	6,5	6,1
Femmes, ISO 7029 :2017	2	2	2,5	3	4	5	7	8,5	5,3
Hommes, Kähäri [38]	-0,3	1,5	3,7	5,6	8	10,5	12,6	13	10,4
Hommes, ISO 7029 :2017	2,5	2,5	3	5	7	8,5	11	13	8,8

Tableau I : Pertes auditives moyennes en dB constatées par Kähäri et al. [38] comparées aux prévisions de l'ISO 7029 :2017

L'étude suivante [25], menée par Emmerich et al., a réuni 110 élèves de 11 à 19 ans et 109 musiciens professionnels employés dans trois grands orchestres allemands. Les auteurs ont mesuré leurs seuils

d'audition et leurs émissions otoacoustiques (OAE). Chez les professionnels, ils ont conclu à des pertes auditives dans la zone 2-6 kHz. Ils ont montré par corrélation statistiques que ces pertes sont concomitantes à une baisse des OAE. Ils ont aussi relevé des pertes auditives chez les élèves mais leur publication ne donne pas plus de précisions. Quand on réexamine les quelques données fournies, on observe qu'il y a effectivement une perte légère dans les tranches d'âge 30-39 et 40-49 ans mais pas dans la tranche d'âge 50-59 ans. Les auteurs n'ont pas trouvé de différence significative entre cette dernière tranche d'âge et les précédentes. Par ailleurs ils n'ont pas fourni les données par groupe. Ils ont curieusement trouvé la baisse la plus significative chez les cordes, pour l'oreille gauche. Enfin il convient de noter que les trois musiciens de plus de 60 ans inclus dans l'étude présentaient des pertes significatives (25 à 35 dB en moyenne sur les fréquences 2 kHz à 6 kHz).

Jansen et al. [41] ont mesuré six grandeurs caractérisant l'audition (seuils auditifs, intelligibilité de la parole, TEOAE - émissions otoacoustiques transitoires, DPOAE - émissions otoacoustiques par produits de distorsion, diplacousie et acouphènes) chez 241 musiciens de cinq orchestres symphoniques différents. La comparaison avec l'ISO 7029:2000 montre que les musiciens ont en moyenne et pour tous les percentiles sauf celui à 90 % une meilleure audition que celle de la population moyenne sauf à 6 kHz, où l'encoche est nette et sévère. Les bois et les cuivres présentaient cependant des pertes auditives significativement supérieures – sans pour autant qu'on puisse parler de NIPTS. Tous les musiciens ont réalisé des scores d'intelligibilité corrects. Les TEOAE et les DPOAE étaient bien corrélées. Elles présentaient une forte dispersion en fonction des musiciens. Les bois et les cuivres avaient significativement les plus faibles OAE. De même, les oreilles présentant les pertes les plus élevées avaient significativement les plus faibles OAE. Les auteurs ont constaté aussi que 18 % des musiciens présentaient une diplacousie et ils ont noté que 17 % déclaraient souffrir d'acouphènes. Ils ont conclu sur ces bases à un risque auditif.

Pawlacsyc-Luszczynska et al. [27] ont effectué le même type d'investigation sur 57 musiciens volontaires de différents orchestres en se limitant aux audiogrammes et aux TEOAE. Sur les audiogrammes ils ont constaté des pertes auditives supérieures à celles attendues au sens de l'OMS pour 6 % des musiciens mais uniquement au grade 1 (pertes légères pouvant nécessiter un appareillage) et ils ont relevé, comme leurs prédécesseurs, un scotome à 6 kHz attribuable à l'exposition sonore. Ils ont trouvé des pertes auditives plus importantes – mais sans que la différence soit statistiquement significative – chez les instrumentistes les plus exposés. Les TEOAE n'amènent aucun enseignement. Par ailleurs 17 % des musiciens se plaignaient d'acouphènes mais 89 % estimaient ne pas avoir de problèmes d'audition. Les auteurs ont conclu à l'absence de NIPTS mais ont recommandé une surveillance.

En 2013, Russo et al. [42] ont complété les mesures d'exposition faites par Lee [24] en 2005 par des audiométries sur 44 musiciens du même orchestre canadien. Ces audiogrammes sont divisés en cinq groupes (violonistes, violonistes alto et violoncellistes, bois, cuivres, percussionnistes et contrebassistes). C'est une erreur d'avoir regroupé violonistes alto et violoncellistes d'une part et percussionnistes et contrebassistes d'autre part, car les expositions ne sont pas les mêmes (les contrebasses notamment apparaissent souvent comme l'un des instruments qui expose le moins). Cependant les résultats sont quand même intéressants car ils montrent des pertes significativement plus élevées pour les deux derniers groupes ({cuivres} et {percussionnistes et contrebassistes}) et significativement supérieures pour ces deux groupes à celles observées pour la population non exposée de l'ISO 7029:2017 à partir de 2 kHz. Pour les 5 groupes on retrouve aussi une encoche à 6 kHz considérée comme caractéristique des pertes auditives induites par le bruit. Russo et al. ont conclu à

un risque d'exposition lésionnelle pour les cuivres et les percussions. À noter que Russo a fait une comparaison des petes à 8 kHz avec l'ISO 1999:1990 alors que cette norme se limite à 6 kHz ...

Pawlacsyc-Luscynska et al. [43] ont publié une nouvelle étude en 2013 avec la même méthodologie qu'en 2010 [27] mais sur un plus grand nombre (126) de musiciens appartenant à deux orchestres d'opéra et à quatre orchestres symphoniques d'âge moyen 43 ans. 35 % des audiogrammes présentent une encoche à 4 kHz et/ou 6 kHz (60 % pour les oreilles gauches). Les auteurs ont noté une nette différence entre les hommes et les femmes. Ils ont relevé des pertes auditives significativement supérieures à une population non exposée au sens de l'ISO 1999:1990 [2] pour les bandes d'octaves de 1 à 4 kHz mais inférieure à ce que cette norme prédit pour une exposition sonore supérieure à 85 dB(A). L'ensemble des musiciens, à quelques exceptions près, présentait une audition normale au sens de l'OMS. Mais comme il s'agissait de volontaires, les auteurs ont souligné que leur échantillonnage n'était pas représentatif. Les auteurs ont conclu, comme pour beaucoup des études précédentes, que les musiciens présentent des pertes auditives dues à leur exposition sonore mais que ces pertes sont moins importantes que ce que ne laissent supposer leurs niveaux d'exposition. Leur étude a cependant un second défaut majeur en sus d'être menée sur une population non représentative : ils n'ont pas étudié les pertes par instrument.

Schmidt et al. [44] ont eux aussi complété leur étude de 2011 [28] par des audiométries sur 212 musiciens d'orchestre, tous volontaires. Ils ont d'abord subdivisé les musiciens dans les cinq groupes usuels (cuivres, bois, percussionnistes et harpistes, violonistes et alto, contrebassistes et violoncellistes). La comparaison avec l'ISO 7029:2000 révèle que les musiciens ont plutôt une meilleure audition que la population de référence et que les différences entre groupes corrigées par l'âge ne sont pas significatives. Les auteurs ont alors extrait les premiers violonistes et les trompettistes et ont montré une différence significative avec les autres groupes pour des pertes auditives modérées (< 10 dB) par rapport aux prévisions de l'ISO 1999 et une différence significative gauche-droite pour les premiers violons. La corrélation avec l'ISO 1999 devient bonne pour ce groupe des premiers violons et des trompettistes lorsqu'on ne considère que l'oreille gauche. À noter que les auteurs ont calculé les pertes auditives prévisionnelles sur la base de leurs mesures d'exposition [28], ces mesures étant 5 dB supérieures aux autres études du même type. Ils ont aussi relevé un effet significatif de l'âge, avec des pertes auditives qui augmentaient moins vite que la population de référence. Ils l'ont attribué au fait que les instrumentistes confirmés répétaient moins. Ce résultat vient conforter les observations de Kähäri et al. [38] qui observaient une évolution positive sur 16 ans. Les auteurs en ont conclu que les instrumentistes les plus exposés pouvaient développer des pertes auditives aux fréquences 3 kHz à 6 kHz comparables à celle prévues par l'ISO 1999.

Sur un tout autre aspect, Dance et Dymock [40] ont publié les audiogrammes moyens obtenus sur 2500 jeunes musiciens (moins de 30 ans) de l'Académie Royale de Musique du Royaume Uni. Tous présentaient de très bonnes auditions jusqu'à 3 kHz puis un net scotome à 6 kHz pour une large portion des instrumentistes accompagné d'une perte à 4 kHz pour les organistes, les compositeurs et les trompettistes. Les auteurs en ont conclu qu'en général les musiciens présentaient des auditions meilleures que la population moyenne sauf à 4 kHz et 6 kHz où ils présentaient au contraire un déficit auditif par rapport à cette population moyenne, signe qu'ils ont été soumis à une exposition sonore potentiellement lésionnelle dès l'apprentissage.

Enfin la dernière publication recensée pour ce qui concerne les pertes auditives chez les musiciens d'orchestre est celle de Behar et al. [45]. Ils ont effectué un suivi cinq ans après des musiciens étudiés par Russo et al. [42]. Curieusement ils ont rapporté des résultats sur 46 musiciens contre 44 pour Russo

et les groupes n'étaient pas les mêmes. Par conséquent, les comparaisons par groupe sont surprenantes : l'audition des cuivres s'améliore après 5 ans alors que le groupe n'augmente « que » d'une personne; l'audition des bois se détériore significativement alors que le groupe augmente de 2 personnes ; l'audition des autres groupes évolue peu. De ce fait nous avons recalculé à partir des graphes les moyennes générales et nous les avons comparées (cf. tableau II) à la moyenne d'une population non-exposée du même âge (ISO 7029 :2017).

Fréquences de test, kHz	0,5	1	2	3	4	6	8
Pertes moyennes en 2013 (Russo)	6,4	7,8	9,6	13	17	22,6	6,4
Pertes moyennes en 2018 (Behar)	5,8	7,6	9,2	12,3	18	25,2	5,8
Pertes à 50 ans, ISO 7029 :2017	3	3,9	5,8	7,6	9,1	14,1	3
Pertes à 55 ans, ISO 7029 :2017	4,5	5,6	8,4	10,9	13,1	19,9	4,5
Ecart 50-55 ans, ISO 7029 :2017	1,4	1,7	2,6	3,3	4	5,8	1,4

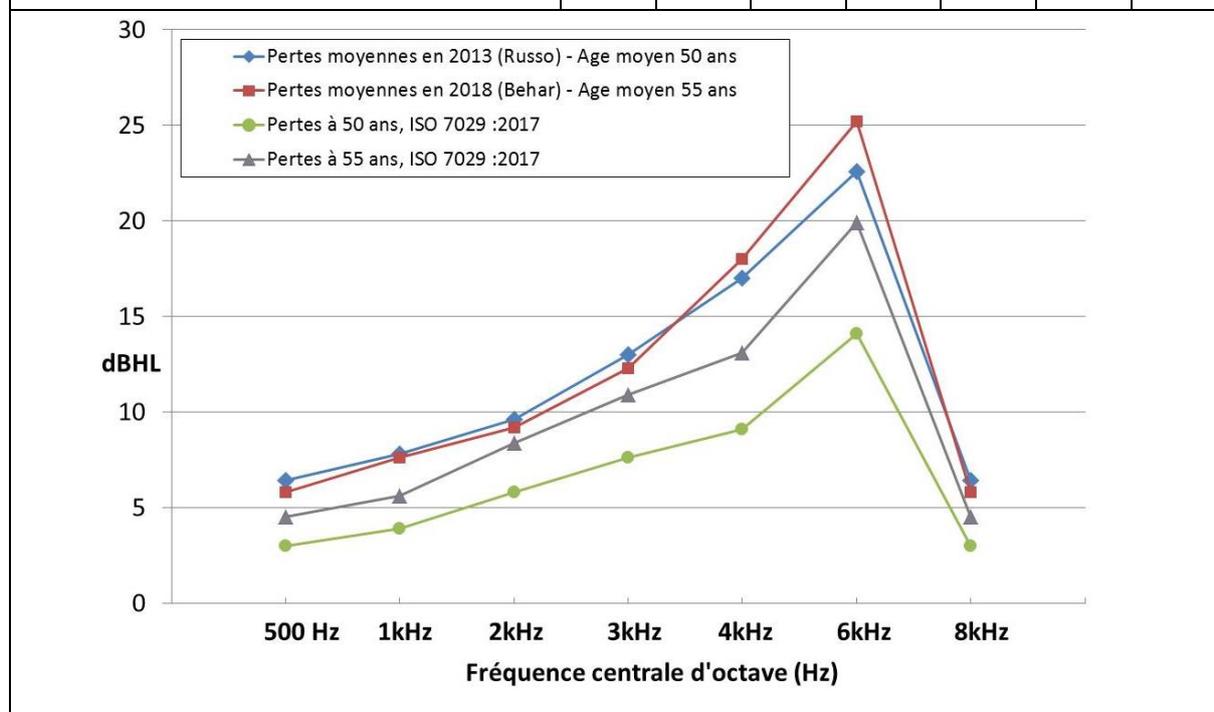


Tableau II : Pertes auditives moyennes en dB constatées par Russo puis Behar et al. comparées aux prévisions de l'ISO 7029:2017

Effectivement la moyenne des déficits auditifs chez les musiciens n'a pratiquement pas évolué en 5 ans alors que le déficit aurait dû, d'après l'ISO, s'aggraver de 1,5 dB à 500 Hz à 6 dB à 6 kHz. En revanche la moyenne des seuils d'auditions des musiciens est resté significativement supérieure à celle d'une population non-exposée (de 4 dB à 2 kHz à 12 dB à 6kHz). Cela rejoint les conclusions des références [38] et [44], à savoir que l'évolution est plus lente que pour la population de référence.

2.1.3 Autres troubles auditifs

Assez peu d'auteurs ont cherché d'autres troubles auditifs, notamment des acouphènes, car ces troubles sont difficiles à objectiver. Les résultats de leurs investigations sont présentés dans le tableau III.

Etude	Troubles recherchés	Résultats
Axelsson et Lindgren [17]	TTS LDL (Loudness Discomfort Level) ARSL (Acoustic Reflex Shifted Level)	<ul style="list-style-type: none"> - TTS : entre 0 et 35dB suivant les observations - LDL : augmentation avec l'âge - ARSL : décalage « pathologique » pour 47 musiciens sur 137
Ostri et al. [36]	TTS Acouphènes	<ul style="list-style-type: none"> - TTS observées chez 38 % des musiciens - 4 % des musiciens rapportent souffrir d'acouphènes
Richoux et al. [37]	TTS Acouphènes	<ul style="list-style-type: none"> - 15 à 18 % des musiciens déclarent avoir des TTS - 11 % des musiciens rapportent souffrir d'acouphènes
Emmerich et al. [25]	Acouphènes	<ul style="list-style-type: none"> - 50 % des musiciens rapportent souffrir d'acouphènes après des concerts
Jansen et al. [41]	Diplacousie dysharmonique Acouphènes OAE (TEOAE et DPOAE regroupées pour les analyses)	<ul style="list-style-type: none"> - 18 % des musiciens présentent une forte diplacousie. - Corrélation entre la diplacousie et les pertes - 17 % des musiciens rapportent souffrir d'acouphènes mais échec des tests objectifs de localisation fréquentielle et de masquage - Les OAE sont significativement différentes pour les 5 groupes catégorisés par les pertes auditives et diminuent avec les pertes auditives mais elles ne sont pas individuellement corrélées aux pertes auditives
Pawlacsyc-Luscynska et al. [43]	Acouphènes TEOAE	<ul style="list-style-type: none"> - 17 % des musiciens rapportent souffrir d'acouphènes - Les tendances des OAE sont les mêmes que pour Jansen et al. Mais non significativement corrélées aux groupes catégorisés par les pertes auditives, le sexe ou l'âge

Tableau III : Autres troubles auditifs recherchés dans les différentes publications

Entre 10 et 20 % des musiciens ont rapporté souffrir temporairement ou de façon permanente (les publications ne le disent pas clairement) d'acouphènes, une seule publication faisant état d'acouphènes temporaires chez 50 % des musiciens. Cependant, la seule publication [41] ayant tenté d'objectiver ces acouphènes ne les a pas confirmés. Des variations temporaires du seuil auditif (TTS) élevés ont pu être constatées. Ils sont la preuve d'une exposition à des niveaux élevés. Mais les TTS ne sont pas corrélés aux déficits auditifs permanents. Plusieurs auteurs ont mesuré les otoémissions acoustiques évoquées (OAE). Ils ont montré que les OAE étaient significativement différentes entre des groupes catégorisés soit par genre, soit par âge, soit enfin par côté (oreille droite versus oreille gauche). Ils ont aussi établi que les OAE affichaient une très forte variabilité individuelle. Ils ont ainsi

démontré qu'elles pouvaient être un indicateur précoce d'une situation de risque auditif pour un groupe mais pas pour un individu. Enfin, ils ont observé chez les musiciens une baisse des OAE entre les groupes les moins exposés et les groupes les plus exposés, ce qui démontre un risque auditif chez les musiciens d'orchestre de musique classique. Par ailleurs, les auteurs ont montré que les OAE diminuaient entre les groupes ayant le moins de pertes auditives et ceux ayant le plus de pertes auditives, confirmant ainsi leur analyse des différences par groupe catégorisée par leurs OAE.

2.2 Musique amplifiée : musiciens et techniciens du son

2.2.1 Préambule

La musique amplifiée expose non seulement les musiciens professionnels qui la pratiquent mais aussi les techniciens concourant à la réalisation des performances de ces musiciens (ingénieurs et régisseurs son, régisseurs lumières ...) et les autres personnels travaillant sur le lieu de diffusion de la musique amplifiée (accueil, sécurité, service...). Cette première partie s'intéresse à deux catégories de travailleurs : les musiciens et les techniciens du son (ingénieurs du son principalement). Par souci de concision les deux sous-groupes étudiés sont désignés par la suite par les acronymes MA (musiciens pratiquant la musique amplifiée), TA (techniciens).

2.2.2 Exposition sonore à de la musique amplifiée

Comme la note NS 239 [1] l'avait relevé en 2004, les données d'exposition sonore publiées sont rares chez les MA, TA. Une étude bibliographique [46], parue en 2018, a recensée 14 articles concernant les troubles auditifs des professionnels exposés à de la musique amplifiée. Parmi ces articles, seulement deux fournissent des informations sur l'exposition sonore. La présente analyse des niveaux d'exposition sonore repose sur 10 articles publiés entre 1975 et 2012 et une étude INRS dont les résultats, obtenus en 2018, ont été publiés dans un rapport interne [47]. Les informations sur le profil d'exposition (durée, fréquence, expérience) proviennent de 9 articles et de l'étude INRS de 2018. Pour les professionnels du secteur de la musique amplifiée, l'activité, moins structurée et plus diverse que celle des musiciens d'un orchestre de musique classique, peut expliquer en partie la difficulté de mener des études avec les mêmes méthodes et par conséquent la rareté des informations disponibles dans le secteur de la musique amplifiée. Or, au regard des niveaux sonores très importants produits par la musique et de la diversité des situations, c'est justement dans ce secteur d'activité qu'un effort devrait être fourni pour améliorer les connaissances.

La plupart des articles dont sont issues ces mesures regroupent des données provenant d'expositions à de la musique classique et à de la musique amplifiée, d'autres donnent quelques résultats d'évaluation de l'exposition à de la musique amplifiée dans le cadre d'études sur les troubles auditifs provoqués par ce type de musique.

Pour chaque catégorie MA et TA, le tableau IV fait la synthèse des niveaux sonores mesurés. Il s'agit, de mesures réalisées soit avec des sonomètres à proximité des personnes exposées, soit avec des exposimètres portés sur l'épaule. Les mesures d'ambiance ou dans le public n'ont pas été retenues.

2.2.2.1 Profils d'exposition à de la musique amplifiée

Les circonstances et les durées d'exposition à de la musique varient selon le métier exercé : MA ou TA. Pour les MA, 8 études incluant 691 musiciens ont été retenues [6], [21], [48] à [53]. Pour les TA, seules 2 études incluant 36 personnes ont été sélectionnées [47] [54].

Pour les MA, le rapport de Pidoux [55] montre la pluriactivité des musiciens, surtout ceux qui ne sont pas salariés dans une formation stable et pour lesquels jusqu'à 50 % du temps d'activité est consacré à un domaine autre que la musique. Sur le temps consacré à l'activité musicale, ce rapport mentionne que seulement 10 % est dédié aux représentations, 20 % aux répétitions et plus de 50 % au travail personnel. L'exposition des MA change constamment entre performances payantes, répétitions et éventuels cours particuliers. Parmi les 8 études retenues, on constate une stabilité et une homogénéité des durées et fréquences d'exposition hebdomadaire sur 40 ans (entre 1977 et 2017). La valeur moyenne est de 21 h par semaine, avec une étendue des valeurs moyennes par article comprise entre 16 et 24,5 h. On note que la durée la plus importante concerne de jeunes musiciens en formation. Le nombre d'années d'expérience des MA recensé dans les 8 études varie de 1 an (formation) à 40 ans, 40 ans étant une valeur atypique parmi les 691 personnes de cette population. Hormis l'étude de Fearn & al., portant sur les jeunes en formation [21], l'expérience moyenne des MA étudiés est d'environ 18 ans.

Axelsson & al. [49] & [53] ont réalisé entre 1975 et 1991 une étude longitudinale sur une cohorte comprenant à l'origine 53 MA suédois ayant une expérience professionnelle moyenne de 10 ans. Seize ans plus tard parmi les 53 MA, 40 exerçaient toujours. Les raisons de l'arrêt de l'activité de 13 musiciens ne sont pas explicitées mais on peut relever que globalement, les 40 MA toujours actifs en 1991 avaient initialement une meilleure audition entre 1 et 8 kHz que les 13 autres ayant abandonné leur activité de musicien.

Pour les TA, une distinction peut être faite entre les personnes vacataires et le personnel résident travaillant à temps plein. Les personnels résidents ont des amplitudes horaires légales et donc similaires à celles des employés des autres secteurs d'activité dans les pays concernés. Ce qui distingue particulièrement les TA (régie son, lumière, plateau), c'est l'amplitude horaire importante les jours travaillés, fréquemment supérieure à 10 h. Cependant, l'exposition sonore à la musique amplifiée n'occupe qu'une fraction de la durée de travail, notamment pour ceux travaillant pour des spectacles itinérants.

2.2.2.2 Niveaux d'exposition des musiciens (MA)

Le relevé des niveaux auxquels les MA sont exposés est issu de 5 études (cf. Tableau IV). Ils sont compris entre 92 et 115 dB(A). Le niveau sonore maximum est atteint pour un bassiste lors d'un concert rock dans une petite salle [48]. La moyenne des niveaux collectés est de 101,9 dB(A) (médiane 101,5 dB(A)).

La distribution des niveaux collectés suit une loi normale (Shapiro-Wilk test) dont la valeur limite L_1 (valeur limite de la queue supérieure égale à 1 % de la surface totale de la distribution) est de 112 dB(A). Le niveau de 115 dB(A) mesuré pour le bassiste peut donc être considéré comme un niveau exceptionnellement élevé.

Les autres niveaux sonores mesurés sont homogènes malgré la dispersion temporelle des études (1975 à 2012) et les différents styles musicaux. Par conséquent, bien que peu nombreux, les niveaux sonores collectés dans ces 5 études sont probablement représentatifs des expositions sonores des MA.

Deux auteurs ([21] et [53]) ont mentionné aussi les niveaux acoustiques de crête. Ces niveaux sont à une exception près tous supérieurs à 137 dB(C), seuil correspondant à la valeur d'action supérieure de la réglementation française sur le bruit au travail (Article R4431-2 et Décret n°2008-244 du 7 mars 2008). Si ces niveaux crêtes sont souvent difficilement exploitables du fait notamment des problèmes métrologiques inhérent à leur mesure, la concordance des niveaux indiqués par les deux auteurs pour

les batteurs doit être considérée comme un signe préoccupant d'exposition sonore aux bruits impulsifs pour cette catégorie de musiciens. Ce constat est d'ailleurs corroboré par des observations similaires pour les musiciens d'orchestre symphonique (cf. §2.1.1).

Auteur	Année	Conditions	Activité instrument	Position de la mesure	Durée h	LAeq dB(A)	LpC dB(C)		
Fearn (UK) [21], [56]	1975	Concert Pop en club	Groupe	Scène	0,5	102	n.d.		
					0,8	93			
					2	97			
					0,5	101			
	1993	Répétition groupe amplifié	Saxophone, guitare, trompette, piano batterie	Moyenne à proximité des musiciens	0,5	98	138		
					30 cm oreille	Cours soliste	Batterie (grande salle)	0,5	99
Cours soliste						Batterie (petite salle)	0,5	92	140
Kähäri (Suède) [48]	2003	Concert Rock en petite salle	Bassiste	Exposimétrie (épaule)	0,8	115	142,8		
	2003	Concert Rock / grande scène	Bassiste		1,5	106	133,5		
	2003	Concert Punk Jazz en club	Batteur		1	108,9	148,9		
	2003	Concert jazz en théâtre	Batteur		2	100,8	141,4		
Mendes (Brésil) [57]	2007	Répétition, groupe de 36 personnes avec amplification	Chef orchestre	Proximité de la personne	Inconnue	103,5	n.d.		
			Batterie			102			
			Chanteur			100			
			Basse électrique			101,5			
			Clarinette			103,5			
			Clarinette			102			
			Clavier			98,5			
			Guitar électrique			101,5			
			Saxophone			101,5			
			Trombone			101,5			
			Trombone			103,5			
			Trompette			103,5			
			Trompette			104,5			
Trompette	107								
Mc Ilwaine	2012	Répétition, groupe rock	Guitariste solo	Exposimétrie (épaule)	2	96,3	n.d.		
			Batteur			100			

(USA) [58]			Guitariste		4	98,5	
			Basse			100,6	
			Chanteur			102,4	
	Concert, groupe rock		Guitariste solo			104,9	
			Batteur			104,6	
			Guitariste			103,2	
			Basse			103,9	
			Chanteur			105,8	

Tableau IV : Exposition sonore des musiciens pratiquant la musique amplifiée.
n.d. : non documenté dans les publications

2.2.2.3 Niveaux d'exposition des techniciens (TA)

Le relevé des niveaux, auxquels les TA sont exposés, est issu de 7 études. Ces niveaux sont présentés dans le tableau V. La moyenne et la médiane des 25 niveaux collectés sont toutes deux de 95 dB(A) pour une étendue des valeurs comprises entre 86 et 103 dB(A). Avec une moyenne de 98 dB(A), les régisseurs son (console façade ou scène) semblent être exposés à des niveaux sonores plus importants que les régisseurs plateau ou lumière, exposés respectivement à 92 et 87 dB(A). Cependant, le faible nombre de valeurs ne permet pas de généraliser avec certitude cette constatation.

La valeur moyenne des niveaux acoustiques de crête collectés pour 3 études est de 131 dB(C) (médiane 130,5 dB(C)). La distribution de ces valeurs est resserrée autour de 130 dB(C). Les 2 valeurs extrêmes, 121 dB(C) et 141 dB(C), sont isolées du lobe de distribution (au-delà des seuils de 1 % des queues de distribution inférieure et supérieure).

On observe dans le tableau V une corrélation entre les niveaux d'exposition sonore moyens (L_{Aeq} en dB(A)) et les niveaux acoustiques de crêtes (L_{pC} en dB(C)), les L_{pC} augmentant avec les L_{Aeq} . Cependant cette relation est fortement influencée par les points extrêmes. Pour la majorité des mesures, le L_{pC} évolue peu lorsque le L_{Aeq} augmente.

Auteur	Année	Conditions	Activité	Position de la mesure	Durée en h	L_{Aeq} en dB(A)	L_{pC} en dB(C)
Cavanaugh (USA) [59]	1989	Concert plein air	Régisseur son	Console mixage (30m scène)	inconnue	95	n.d.
						103	n.d.
Rumeau (France) [60]	1994	Concert plein air	Régisseur son	Console mixage (50m scène)	inconnue	98	n.d.
Caruel (France) [61]	1995	Concert pop, salle type zénith	Régisseur son	Console mixage (30m scène)	1,5	97	130
Dibble (UK) [62]	1997	Concert Rock, Pop, Rap en salle	Régisseur son	Console mixage	moyenne de 6 concerts	101	n.d.
		Concert Rock, Pop, rap en plein air	Régisseur son		moyenne de 4 concerts	98	n.d.

Mendes (Brésil) [57]	2007	Répétition groupe 36 personnes avec amplification	Régisseur son	proximité technicien	inconnue	98,5	n.d.
Barlow (UK) [54]	2012	Concert live ou diffusion musique salle moyenne 300-500 personnes	DJ	Exposimétrie (épaule)	2,75	91,2	132,1
			Ingénieur son		6,3	93	128,9
					5	93,8	131,9
					7	95,3	130,1
					7	93,6	130
					3,5	100,4	132,2
					6,5	99,8	141,9
					7,5	89,8	131
					7,8	97,8	132,2
			régisseur lumière		4,75	93,5	131,8
régisseur plateau	4	86,3	121,4				
7	100,6	134,5					
Venet (France) [47]	2018	Concert folk	Régisseur lumière	Exposimétrie (épaule)	3	86,8	130
		Concert folk	Régisseur plateau		2,5	85,8	125,8
		Concert folk			2,75	87,1	130,6
		Concert Rock			2,25	92,7	129
		Concert Rock	Régisseur son		2,8	94,6	128,7
		Concert Rock			3	100,5	135,2

Tableau V : Musique amplifiée - Niveaux sonores mesurés chez les techniciens (régisseurs son, plateau, lumière). *n.d.* : non documenté dans les publications

2.2.3 Troubles auditifs et musique amplifiée

L'analyse des troubles auditifs provoqués par la musique amplifiée s'appuie sur 16 études comprenant 14 articles publiés dans des revues internationales entre 1977 et 2017, 1 article publié dans une revue française et 1 étude INRS réalisée en 2018 dont les données ont fait l'objet d'un rapport interne.

Ces travaux incluent environ 1 millier de professionnels expérimentés. Il s'agit essentiellement de MA, les TA ne représentant que 4 % des personnes étudiées. Le tableau de synthèse en Annexe 2 regroupe l'ensemble des données.

La plupart des auteurs effectuent une évaluation des troubles auditifs par deux moyens :

- une déclaration des troubles auditifs par l'intermédiaire d'un questionnaire. Le questionnaire permet de recenser le nombre de personnes souffrant d'acouphènes, d'hyperacousie, de diplacousie, de distorsion. Certains auteurs ont évalué la gravité de ces troubles (échelle). Le questionnaire permet également d'obtenir d'autres informations comme le port de protecteur ou le type de pratique musicale et d'exposition ;
- des mesures fonctionnelles correspondant dans la plupart des études à une audiométrie tonale liminaire en conduction aérienne. Ces mesures sont généralement pratiquées alors que les personnes sont en repos et donc non exposées, afin d'évaluer le déficit auditif permanent.

2.2.3.1 Perte auditive par audiométrie tonale

La définition d'une perte auditive varie suivant les auteurs. Elle est toujours très éloignée de la surdité professionnelle définie par le Tableau 42 du régime général, à savoir un déficit moyen pour les bandes d'octave 500 à 4000 Hz supérieur à 35 dB HL pour la meilleure des deux oreilles. La plupart des auteurs définissent une valeur limite de 20 ou 25 dB HL pour au moins 1 ou 2 fréquences. Par exemple, sur une même population, Axelsson et Lindgren ([63] et [64]) ont défini deux critères différents :

- 1) seuil supérieur à 20 dB HL entre 3 et 8 kHz pour au minimum 2 fréquences sur 1 oreille ou 1 fréquence pour 2 oreilles ;
- 2) seuil moyen sur les fréquences 3, 4, 6 et 8 kHz supérieur à 20 dB HL.

La modalité 1) a permis de dénombrer 33 % de cas ayant une perte auditive alors que la modalité 2) n'en dénombrait que 13 %.

En fonction des différentes études, selon le critère choisi et le profil des sujets recrutés, 13 à 78 % des personnes exposées à la musique amplifiée présentaient une perte auditive. Le taux de 78 % est observé par Fearn [21] en raison d'un critère particulier et peu restrictif (déficit à 3 ou 4 kHz supérieur de 15 dB au déficit à 2 kHz) sur une population de musiciens expérimentés âgés de plus de 31 ans.

Lors de sa récente revue bibliographique [46], Di Stadio a retenu un seuil supérieur ou égal à 25 dB HL à au moins une fréquence pour définir la perte auditive. La prévalence des pertes auditives est alors de 63 % chez les musiciens pop-rock contre 33 % chez les musiciens de musique classique.

2.2.3.2 Scotome auditif

Pouryaghoub [52], 2017, s'est focalisé sur la présence d'un scotome. Quarante-deux pourcent des MA ayant au moins 5 ans d'expérience avaient un scotome d'une profondeur d'au moins 10 dB. Pour une population exposée à un bruit industriel, le scotome est centré sur la fréquence 4 kHz comme le montre la table D de l'ISO 1999 [2]. Or, pour la musique amplifiée, 6 études mettent en évidence un scotome à 6 kHz contre seulement deux à 4 kHz. Deux autres études placent le scotome sur ces deux fréquences à la fois. Il apparaît donc qu'une surexposition à de la musique amplifiée produit des pertes auditives à des fréquences un peu plus élevées que ce qui est observé pour une surexposition à un bruit de type industriel. Ces articles ne donnent pas d'argument convaincant pour expliquer ce phénomène.

2.2.3.3 Déficit auditif temporaire

Quatre études ont évalué les déficits auditifs temporaires (TTS). Ces TTS sont mesurés en réalisant des mesures audiométriques avant puis après l'exposition à de la musique amplifiée. Pour trois des quatre études, les TTS ont été mesurés lors d'expositions réelles en concert alors que pour Fearn [21], il s'agissait d'une écoute de courte durée (10 à 20 minutes) sous casque à des niveaux compris entre 96 et 99 dB(A) afin d'évaluer la cinétique de récupération. Une heure après l'écoute, les sujets avaient récupéré leurs seuils audiométriques initiaux. Ces tests ont été réalisés uniquement dans le but de vérifier que la mesure d'audiométrie réalisée pour évaluer la perte auditive permanente n'était pas influencée par une éventuelle exposition sonore la veille. Malgré la courte durée d'exposition sous casque, Fearn juge qu'une exposition de type concert la veille ne peut pas impacter les résultats audiométriques. L'audiométrie réalisée le lendemain permet donc de ne mesurer que la perte auditive permanente.

Axelsson et Lindgren [63] ont réalisé des mesures de TTS chez des musiciens lors de concerts et de répétitions. Ils ont également mesuré les TTS de personnes du public. Ces mesures audiométriques post exposition étaient réalisées en moyenne 13 minutes après l'exposition. Les TTS moyens des

musiciens étaient importants entre 3 et 6 kHz avec des valeurs comprises entre 10 à 12 dB pour une exposition moyenne de 103 dB(A) durant près de 2 heures. Le TTS maximum était mesuré à 4 kHz. Ils n'ont pas réalisé de mesures à des fréquences inférieures à 1 kHz, ce qui est une lacune par rapport aux 2 autres études. Axelsson et Lindgren ont trouvé une corrélation positive entre les niveaux d'exposition et l'ampleur du TTS, mais pas entre la durée d'exposition et le TTS. Ils ont observé une fatigue auditive dont l'amplitude était plus importante dans le public que chez les musiciens bien que l'exposition sonore moyenne du public fut 4 dB inférieure à celle des musiciens. Ils ont expliqué ce résultat surprenant par des pertes auditives initiales chez les musiciens plus importantes que celles du public. Axelsson et Lindgren ont défini un seuil à partir duquel apparaît le TTS : il est de 98 dB(A) pour les musiciens contre 93 dB(A) pour le public. C'est notamment en s'appuyant sur ces données qu'ils ont défini une valeur limite d'exposition sonore pour les musiciens de 100 dB(A) pendant deux 2 heures.

Drake [65] et Venet [47] ont explorés les TTS consécutifs à des concerts entre 250 et 8000 Hz. Dans ces deux études, les TTS maximum apparaissaient à 250 Hz avec respectivement 16 et 20 dB de déficit audiométrique temporaire. Ces forts TTS peuvent être liés à d'importants acouphènes post exposition provoquant un phénomène de masquage des tonalités de l'audiométrie.

2.2.3.4 Examens fonctionnels complémentaires

Certains auteurs ([50] et [51]) ont réalisé des mesures fonctionnelles complémentaires comme des otoémissions acoustiques ou des potentiels acoustiques évoqués. Les résultats de ces examens ont été corrélés aux pertes auditives mesurées par audiométrie tonale liminaire. Les auteurs ont signalé une meilleure sensibilité de ces méthodes pour la détection d'un trouble auditif, notamment en ce qui concerne les otoémissions. La meilleure sensibilité des mesures d'otoémission peut s'expliquer par l'absence de compensation d'un éventuel déficit auditif périphérique par la plasticité cérébrale ([66] à [68]).

Certains auteurs ont cité l'intérêt de réaliser d'autres examens fonctionnels comme l'audiométrie vocale, car l'audiométrie tonale liminaire ne permet pas de mettre en évidence tous les troubles auditifs dont les professionnels du secteur de la musique amplifiée souffrent. Cependant, ces auteurs n'ont pas réalisé d'audiométrie vocale, peut être en raison de la relative complexité de ce test et du temps, toujours limité, pour mener les investigations avec chaque sujet. Les questionnaires, bien que déclaratifs et subjectifs, restent donc le moyen majoritairement employé pour évaluer les troubles auditifs autres que ceux liés à un déplacement de seuil auditif temporaire ou permanent.

2.2.3.5 Autres troubles auditifs

Les acouphènes, l'hyperacousie, la diplacousie ou les autres problèmes de distorsion auditive ont été évalués dans sept des 14 articles originaux traitant des pertes auditives pour les TA et MA. Le tableau VI fait la synthèse des données disponibles dans ces articles. Six des sept études sont postérieures à 2003, ce qui révèle une prise de conscience récente du fait que la perte auditive n'est pas le seul trouble auditif handicapant dont souffrent les personnes exposées à de la musique amplifiée dans le cadre de leur activité professionnelle.

Etude	Sujets inclus	n	Acouphène %	Hyperacousie %	Diplacousie %	Distorsion %

Axelsson 1995 (Suède) [49]	Musiciens (rock) en activité	40	25	20	n.d.	n.d.
Kähäri 2003 (Suède) [48]	Musiciens (rock & jazz)	139	41	39	3	17
Mendes 2007 (Brésil) [57]	Musiciens (amplifié & acoustique)	23	59	n.d.	n.d.	n.d.
Barlow 2012 (Angleterre) [54]	Personnels salle spectacle et discothèque	30	85	n.d.	n.d.	n.d.
Halevi-Katz 2015 (Israël) [6]	Musiciens (pop/rock/jazz)	44	31	n.d.	0	0
Størmer 2015 (Norvège) [69]	Musiciens (rock)	111	20	n.d.	n.d.	n.d.
Pouryaghoub 2017 (Iran) [52]	Musiciens (amplifié & acoustique)	125	51	n.d.	n.d.	n.d.

Tableau VI : Autres troubles auditifs liés à l'exposition à la musique amplifiée des MA et de TA. ; n.d. : non documenté dans les publications

Les acouphènes sont les troubles auditifs les plus étudiés. La prévalence moyenne des acouphènes de ces 7 études, pondérée par le nombre de sujets, est de 40 % pour les professionnels exposés à de la musique amplifiée. On constate une grande variabilité entre études puisque l'étendue est comprise entre 20 et 85 %. Cette variabilité peut s'expliquer par les différences entre acouphènes chroniques et acouphènes temporaires perçus ou non à la suite d'une exposition. Cette différence n'est pas toujours clairement distinguée par les auteurs. Størmer *et al* [69] ont relevé 20 % d'acouphènes chroniques dans une population de 111 musiciens rock auxquels il faut ajouter 9 % d'acouphènes temporaires, non consécutifs à une exposition sonore. En revanche, Barlow et Castilla-Sanchez [54] ont trouvé une prévalence de 85 % d'acouphènes consécutivement à une exposition à de la musique amplifiée. Ceci dit, même si on ne tenait pas compte de cette dernière valeur extrême, la prévalence moyenne calculée sur les données des six autres études resterait proche de 40 % (36,8 %). Halevi-Katz *et al.* [6] ont indiqué que dans le sous-groupe des batteurs, 80 % des sujets souffraient d'acouphènes et 40 % d'hyperacousie. Størmer *et al.* [69] ont relevé que la prévalence était équivalente chez les joueurs de guitare électrique, basse électrique ou batterie. Selon Kähäri *et al.* [48] et Størmer *et al.* [69], l'hyperacousie était fréquente mais elle est trop peu étudiée pour permettre de statuer sur un trouble généralisé dont souffriraient les MA. La diplacousie et les distorsions paraissent moins fréquentes mais elles sont également très peu étudiées ou du moins peu rapportées dans les articles. Dans leur étude bibliographique, Di Stadio *et al.* [46] avancent une prévalence moyenne chez les MA de 26 % pour les acouphènes et l'hyperacousie et de 8 % pour la diplacousie. Mais la valeur de prévalence des acouphènes calculée par Di Stadio *et al.* n'est pas cohérente (sauf pour l'étude de Pouryaghoub *et al.* [52]) avec les données extraites des sept études de la présente analyse bibliographique alors que les études exploitées sont les mêmes.

Deux auteurs ([54] et [57]) ont mis en évidence que le trouble auditif le plus souvent déclaré par les MA et TA était les acouphènes, loin devant la perception d'un déficit auditif par ces personnes. Selon

la population de MA étudiée par Mendes *et al.* [57], la première plainte relative à des troubles auditifs concernait l'inconfort (58,8 %), la seconde, les acouphènes (47 %), et la troisième, le déficit auditif (25,7 %).

Ces constats mettent en évidence trois points :

- les acouphènes sont des troubles auditifs très fréquents dans cette population et ce sont des troubles qui leur posent problème puisqu'ils sont souvent exprimés ;
- les MA sous estiment leur déficit auditif permanent puisque les mesures d'audiométrie tonale montrent que 52 % des MA ont une perte auditive (seuil > 25 dB HL à au moins une fréquence) ;
- les MA ne semblent pas être trop pénalisés dans leur activité par une perte auditive modérée (25 dBHL) puisque l'écart entre les pertes audiométriques mesurées (52 %) et celles déclarées par questionnaire (25,7 %) est important.

Enfin, Kähäri *et al.* [48] ont constaté que la prévalence des acouphènes est plus forte chez les hommes que chez les femmes.

2.3 Autres travailleurs exposés à la musique amplifiée

Outre les musiciens professionnels et les ingénieurs son, les personnes travaillant dans des lieux où est diffusée de la musique (notamment les employés de clubs de musique ou de discothèques) sont également exposés à des niveaux sonores élevés. Malheureusement la littérature est assez pauvre et peu détaillée sur le sujet et seulement 11 publications ont pu être recensées.

Lee [70] a mesuré l'exposition sonore de 40 employés (barmen, DJ's, serveurs et staff de sécurité) de 5 discothèques et comparé l'audition de 46 autres employés à un groupe témoin. Il a relevé une exposition à des niveaux sonores de l'ordre de 90 dB(A) pour les barmen, l'accueil et la sécurité, 93 dB(A) pour les serveurs et 95 dB(A) pour les DJ's. Les durées d'exposition étaient de 4 à 7 h (moyenne 5 h). Par rapport à un groupe témoin, il a mesuré chez les personnels exposés à la musique amplifiée des amplitudes de PTS statistiquement plus élevées et des pertes auditives précoces chez 42 % des sujets exposés contre 14 % chez les témoins. Le critère de perte auditive précoce retenu par Lee était assez sévère puisqu'il était de 30 dB aux fréquences élevées (4 ou 6 kHz) sur une des deux oreilles pour une population jeune (24 ans en moyenne). Aucun sujet ne présentait de pertes élevées aux moyennes fréquences mais le critère est extrêmement sévère (perte moyenne à 1, 2 et 3 kHz supérieur à 50 dB). D'autre part, 21% des personnels exposés à la musique amplifiée se plaignaient également d'acouphènes récurrents, contre 3 % dans le groupe témoin.

Tah-Chew et Keung [71] ont mesuré le niveau sonore de différentes zones (bar, dance-floor, table du DJ) dans 5 discothèques et trouvé des niveaux similaires dans les 5 lieux (94 à 96 dB(A) avec un écart-type de 2 dB(A)). Ils ont fourni très peu de détails sur leurs mesures, qui paraissent sommaires.

Fleming [72] a mesuré l'exposition des barmen dans 11 discothèques. Il a relevé un niveau moyen d'exposition (ramenée à 8 h) de 93 dB(A) en considérant des durées d'exposition sonore journalière de l'ordre de 4 à 5 h. L'écart-type (5 dB, expositions ramenées à 8 h variant entre 83 et 98 dB(A)) suggère de fortes différences entre les lieux. Fleming a noté que les expositions les moins élevées étaient observées lorsque le bar était à bonne distance de la piste de danse.

Gunderson *et al.* [73] ont mesuré les niveaux sonores moyens auxquels sont exposés 31 employés dans différents clubs de musique live. Ces niveaux étaient compris entre 95 et 107 dB(A) pendant les représentations, l'exposition sonore sur 8 h étant évaluée entre 93 et 100 dB(A). Les concerts de Jazz étaient les moins bruyants, ceux de hard-rock les plus bruyants. Cinquante-cinq pour cent des participants déclaraient avoir une moins bonne audition depuis qu'ils étaient employés dans un club

de musique. À noter que les auteurs ne trouvent pas de corrélation entre l'exposition sonore et la distance du bar à la scène mais leurs mesures étaient de courte durée (30 min) et pas forcément réalisées simultanément. Enfin seuls 16 % des employés ont déclaré utiliser des protections auditives. Tin et Lim [74] ont placé des exposimètres sur de jeunes habitués dans 2 discothèques (48 sujets) et mesuré à la fois les niveaux sonores sur 4 h et les TTS. Les niveaux sonores moyens étaient de 101 et 108 dB(A) suivant la discothèque. L'absence de résultats détaillés et le fait que les mesures concernent des clients rendent ces dernières inexploitable pour cette bibliographie. Il est par contre intéressant de noter que le niveau de 101 dB(A) est jugé « bon » et celui de 108 dB(A) « trop fort » par les participants à l'étude. Les TTS étaient faibles (maximum 11 dB à 4 kHz et 5 dB à 6 kHz) mais significatives; 48 heures après exposition, toutes les personnes testées avaient récupéré leurs seuils initiaux.

Sadhra et al. [75] ont enquêté sur 14 étudiants employés à temps partiel (16 h / sem.) dans un bar et deux discothèques d'une université. Les niveaux sonores moyens variaient entre 89 et 98 dB(A) suivant les lieux (bar avec ou sans discothèque mobile et deux discothèques, durée des mesures 4 h). À nouveau les mesures sont à la fois très mal décrites et peu détaillées. Sept des 14 étudiants avaient des PTS supérieures à 20 dB pour au moins une fréquence entre 0,5 à 6 kHz. Pour 4 de ces 7 étudiants, les PTS étaient supérieures à 30 dB. Les TTS après exposition étaient modérées, allant de 8 dB aux fréquences basses (moyenne 0,5-2kHz) à 20 dB aux fréquences élevées (moyenne 3-6kHz).

Bray et al. [76] se sont intéressés spécifiquement aux DJs (23 sujets). Ils ont étudié leur exposition sonore et mesuré leurs PTS et les symptômes otologiques associés. Les niveaux sonores étaient en moyenne de 103 dB(A) sur 2 h de mesure (exposition sonore évaluée à 96 dB(A)). Trois sujets présentaient des pertes d'audition avérées que l'auteur impute à leur exposition sonore professionnelle. Deux de ces sujets présentaient des pertes d'audition à toutes les fréquences (perte moyenne de 500 Hz à 6 kHz pour ces deux sujets de respectivement 23 et 29 dB sur la meilleure des deux oreilles). Le troisième sujet présentait une perte d'audition de 35 dB à 4 kHz et 40 dB à 8 kHz (mais sans pertes aux basses fréquences). Soixante-dix pourcent des sujets présentaient un décalage temporaire du seuil après le travail et 74 % se plaignaient d'acouphènes.

Santos et al. [77] ont réalisé le même type d'étude sur 30 DJs. Le niveau sonore moyen était de 102 dB(A), sur 1 à 2 h de mesure, avec un écart-type élevé (5 dB, niveaux sonores allant de 93 à 110 dB(A)). Tous les DJs travaillaient avec un casque mono-latéral ou une oreillette, aucun n'utilisait de protection auditive ni ne se sentait en danger. Onze sujets présentaient déjà des pertes modérées entre 3 et 6 kHz (critère : PTS supérieures à 25 dB à au moins une fréquence). Tous les sujets présentaient des TTS modérés après avoir été exposés (10 à 25 dB entre 500 Hz et 8 kHz, écart significatif) avec un pic à 4 ou 6 kHz. Les auteurs ont aussi mesuré les TEOAE et les DPOAE avant et après exposition. Les premières diminuaient nettement voire disparaissaient dans 50 % des cas. Les secondes décroissaient légèrement mais significativement.

Guo et Gunn [78] ont effectué des mesures d'exposition sonore et questionné les professionnels dans 17 lieux diffusant de la musique – discothèque, bar ou pub. Les mesures sont très mal décrites et les résultats sont uniquement présentés en terme d'exposition sonore quotidienne moyenne par catégorie professionnelle. Cette exposition sonore variait entre 85 et 87 dB(A) en l'absence de DJ ou de groupe, 92 à 96 dB(A) lorsque la musique était gérée par un DJ et 93 à 98 dB(A) quand un groupe jouait en live. L'exposition sonore était similaire pour 4 des 5 catégories professionnelles observées (barmen, serveurs, sécurité, manager) et un peu plus élevée pour les DJ. Douze pour cent des 106 travailleurs interrogés ont déclaré avoir des acouphènes. Les auteurs ont comparé les résultats à une

étude réalisée 5 années plus tôt dans les mêmes lieux et ils ont constaté une hausse de l'exposition sonore.

Goggin et al. [79] ont questionné 303 employés ou clients de lieux de diffusion de la musique (bars et discothèques) majoritairement animés par des DJ. Ils ont aussi relevé les niveaux sonores ambiants et les temps d'exposition. Ces niveaux sonores étaient de 95 dB(A), en moyenne, pour des durées de 4 à 5 h. Là aussi très peu d'informations sont données sur la méthodologie de mesure et les résultats ne sont pas détaillés et peu documentés alors que les niveaux sonores mesurés variaient de 70 à 115 dB(A). Soixante-cinq pour cent des personnes interrogées se plaignaient de troubles auditifs, dont 56 % des acouphènes. Dix-sept pour cent affirmaient porter des protections auditives.

Kelly et al. [80] ont mesuré l'exposition sonore de 17 employés dans 9 bars en Irlande. Les expositions variaient entre 89 et 97 dB(A) (moyenne 92 dB(A), écart-type 3 dB(A)) avec des niveaux homogènes par lieu. Les auteurs ont rapporté que ni les managers ni les employés ne connaissaient la réglementation sur le bruit, que seulement deux bars fournissaient des protections auditives et qu'un seul en imposait le port.

Enfin, Barlow et Castilla-Sanchez [54] ont effectué des mesures des niveaux sonores dans 4 lieux de diffusion de la musique et sur différentes catégories de travailleurs : barmen et personnel de sécurité (et un seul DJ, voir le tableau V). Les résultats sont très dispersés, même dans un même lieu : 75 à 99 dB(A) pour les barmen, sur des durées de 3 à 6 h, 74 à 96 dB(A) pour le personnel de sécurité, sur des durées de 3 à 7 h. Malheureusement les auteurs n'ont pas analysé les raisons de cette dispersion. Les niveaux acoustiques de crête dépassent souvent la première valeur limite d'action de 135 dB(C). Quatre-vingt-cinq pour cent des personnes déclaraient souffrir parfois d'acouphènes. Quinze pour cent seulement portaient des protections auditives.

Ainsi, comme expliqué en début de §, la littérature sur l'exposition sonore et les PTS chez les personnels autres que les musiciens et les techniciens du son est assez pauvre et peu détaillée.

3 Discussion

3.1 Musique classique

3.1.1 Niveaux d'exposition

Pour effectuer un bilan, les mesures ponctuelles des références [18], [20], [21], [23], [24] et [25] ont été moyennées puis regroupées avec les bilans des références [17], [26], [27] et [29] afin d'obtenir une valeur globale moyenne et deux extrema. Les références [19] [22] ne donnent pas de mesures par instrument et la référence [28] a été exclue car les mesures à l'entrée de l'oreille surestiment manifestement l'exposition (normalement mesurée sur l'épaule) sans que les auteurs ne s'en soient aperçus ni n'aient fait la correction appropriée comme recommandée pour ce type de mesure (normalisée dans l'ISO 11904-1). Le bilan global est présenté dans le tableau VII suivant. Il est très proche du bilan fait par O'Brien et al. ([26] et [29]) pour ce qui concerne les valeurs moyennes. Or les mesures d'O'Brien et al. sont les plus complètes et les plus documentées mais présentent l'inconvénient d'avoir été réalisées sur un seul orchestre. On voit ainsi que ce n'est pas un facteur déterminant.

Instruments	Moyenne	Maximum par mesure	Minimum par mesure	LpC	O'Brien Moyenne	Autres Moyenne

Cordes						
Alto	85,2	97	75	121,8	84,8	88,1
Violon	84,1	103	77,4	124,9	83,9	85,9
Violoncelle	84,3	95	75	122,2	84	89,4
Contrebasse	83,7	96	73	122,7	84	86,3
Harpe	84,6	96,8	77,3	125	85,2	86
Bois						
Basson	87,6	101,8	79,7	129	87,7	88,8
Clarinette	86,7	103	79,8	129,8	86,7	87,6
Hautbois	87	100,9	80	124	87,2	87
Flûte	88,1	111	78,1	123	87,7	91,5
Piccolo	87,6	112	80,2	121,7	87,6	n.d.
Cuivres						
Cor d'harmonie	88,9	106	81,4	128	88,9	89,4
Trombone	88,8	114	78,3	129,5	88,9	89,3
Trombone ténor	86,9	93,6	80,9	126,9	86,9	n.d.
Trompette	88,9	106,8	79,7	129	88,8	90,1
Tuba	86,9	107,6	78,5	129,8	86,4	88,2
Saxophone	90	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Percussions						
Timbale	87,5	96,3	80,5	133,1	87,5	87,4
Percussion	88,3	104,2	77	138,9	88,8	89
Autres						
Chef d'orchestre	82,3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Piano	85	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Tableau VII : Niveaux acoustiques relevés : 1) ensemble des publications : moyenne, max, min, 2) O'Brien et al. [26], [29] et 3) ensemble des publications sauf Schmidt et al. [28] – *n.d.* : *non documenté dans les publications*

À ce tableau, il faut rajouter pour les violonistes et les altistes une nette différence entre les niveaux sonores mesurés sur l'épaule coté instrument et ceux mesurés sur l'épaule opposée ou mesurés en des points distribués au milieu des formations. L'exposition au niveau de l'oreille du côté de l'instrument des violonistes est plus élevée de 2 à 4 dB lorsqu'ils jouent en formation et de 5 à 8 dB en répétition individuelle. Les différentes publications évaluent le temps de travail, qui inclut les répétitions individuelles, les répétitions collectives et les représentations, à 30 h. Ce chiffre fait la

quasi-unanimité, à 1 ou 2 h près. L'exposition sonore quotidienne est donc seulement 1 à 2 dB inférieure aux expositions affichées dans le tableau VII. De ce fait, d'après cette synthèse, tous les musiciens, à l'exception du chef d'orchestre, sont exposés à des niveaux sonores supérieurs à la première limite d'action de la réglementation (80 dB(A) / 8 h) et tous les musiciens, à l'exception des pianistes, des violoncellistes, des contrebassistes et des harpistes, sont exposés à des niveaux sonores supérieurs à la seconde limite d'action de la réglementation (85 dB(A) sur 8 h). Par ailleurs les percussionnistes subissent aussi des niveaux acoustiques de crête proches de la première limite d'action de la réglementation (135 dB(C)). Les instruments exposant le plus leur utilisateur sont dans l'ordre de dangerosité les trompettes, les trombones, les cors, les percussions (du fait des forts niveaux crêtes) et enfin les violons et altos (pour ces deux derniers pour l'oreille du côté de l'instrument). D'après la plupart des auteurs les niveaux sont sensiblement les mêmes lors des répétitions individuelles et lors des répétitions collectives ou des concerts. Lors des répétitions collectives ou des concerts, les cordes subissent le son des bois et parfois des cuivres, les bois subissant aussi parfois le son des cuivres et les cuivres le son de leurs voisins. Cela explique pourquoi les niveaux sont sensiblement les mêmes que lors de répétitions individuelles alors que le jeu de l'instrument est plus continu lors de ces dernières. À ce propos, les travaux d'O'Brien [29] montrent d'ailleurs que, en continu, le niveau sonore d'un instrument est bien supérieur à celui observé en pratique réelle sauf pour les cordes basses. La plupart des auteurs concluent d'ailleurs que les musiciens sont principalement exposés au son de leur propre instrument. Enfin, 3 facteurs principaux influencent l'exposition, dans l'ordre d'importance : la nature de l'œuvre, l'instrument pratiqué et enfin la position par rapport aux autres instruments. En revanche l'acoustique (la réverbération) du lieu semble n'avoir qu'une influence mineure.

Afin de vérifier toutes ces conclusions nous avons exploité des mesures d'exposition effectuées sur un orchestre travaillant soit dans une salle de concert soit dans une fosse d'opéra. Toutes les mesures ont été réalisées lors de répétitions. Entre 2 et 11 mesures ont été réalisées par instrument pour des durées allant de 45 min à 6 h. Elles sont présentées tableau VIII.

Instrument	Nombre et durée totale des mesures	Niveau moyen en dB(A)	Maximum observé sur 5 min en dB(A)	Minimum observé sur 5 min en dB(A)
Cordes				
Alto	6 mesures – 16h35min	84,3	96,8	68,6
Violon	11 mesures – 33h45min	87,8	100,7	69,4
Violoncelle	6 mesures - 19h35 min	83,3	94,4	74,3
Contrebasse	6 mesures - 15h50 min	82,4	96,7	64
Bois				
Basson	5 mesures - 11h45 min	84,5	96,6	74,7
Clarinette	6 mesures - 17h25 min	86,2	98,6	72,7
Hautbois	5 mesures - 16h15 min	86,4	97,3	71,8
Flûte	6 mesures - 13h18 min	87,1	98,5	75,8

Cuivre				
Cor d'harmonie	6 mesures - 16h20 min	88,1	101,3	73,8
Trombone	4 mesures - 13h05 min	91,2	106,6	81,5
Trompette	5 mesures - 15h40 min	92,1	105,2	81,1
Tuba	3 mesures - 10h06 min	88,7	101,6	81,4
Percussions				
Timbale	3 mesures - 10h10 min	90,4	104,4	77,4
Percussion	2 mesures - 8h05 min	88	101,1	82,4
Autres				
Chef d'orchestre	6 mesures - 10h30 min	84,5	93,9	77,9
Piano	2 mesures - 6h20 min	80,3	94,7	76

Tableau VIII : niveaux acoustiques moyens (sur la durée de la répétition), maximum (sur 5 min, $L_{Aeq,5min,MAX}$), et minimum (sur 5 min, $L_{Aeq,5min,MIN}$) mesurés à l'aide d'exposimètres placés sur l'épaule des musiciens lors de répétitions d'œuvres classiques par un orchestre symphonique

Les maxima sont calculés sur des périodes de 5 min. Pour les violons et les altos, les mesures ont été effectuées sur l'épaule supportant l'instrument. Les œuvres jouées étaient des symphonies ou des opéras et elles étaient, d'après les musiciens, distribuées de façon homogène entre des œuvres de forte, de moyenne et de faible intensité. Il est facile de le vérifier d'ailleurs avec les maxima, les différences entre le minimum et le maximum sur 5 min allant de 20 à 30 dB. Ces mesures sont cohérentes avec celles présentées tableau VII sauf pour les trompettistes et les trombonistes qui apparaissent plus exposés. Pour ces deux derniers instruments, les relevés sont homogènes entre les différentes œuvres. La forte exposition s'explique donc principalement par les niveaux élevés délivrés par l'instrument, de l'ordre de 110 dB(A), 5 à 10 dB plus élevés que ce qui peut être observé pour les autres instruments, et une moins grande dépendance à l'intensité sonore de l'œuvre jouée. Par exemple, l'exposition sonore d'un tromboniste pendant une répétition de Rigoletto durant 6 h 10 min est de 91,7 dB(A) pauses comprises ... Les niveaux sont aussi plus élevés pour les violons et les timbales mais ce n'est pas incohérent car il y avait déjà une nette différence entre les publications. Le chef d'orchestre est aussi plus exposé mais il est plus proche des musiciens lors des répétitions que lors des concerts. Enfin les bassonistes et les pianistes sont les moins exposés, car peu sollicités par les œuvres observées. Pour tous les autres instruments, la différence est inférieure à 2 dB. Par ailleurs nous avons observé une élévation de 2 dB des niveaux sonores lors des répétitions dans la fosse de l'opéra par rapport à celles dans la salle de concert et des différences par instrument pouvant aller jusqu'à plus de 15 dB entre des œuvres de fortes intensités et des œuvres de faibles intensités.

Les conclusions tirées de la bibliographie se trouvent donc parfaitement confirmées par ces mesures particulières : les instrumentistes les plus exposés sont les cuivres, particulièrement les trompettistes et les trombonistes, avec des niveaux d'exposition de l'ordre de 90 dB(A). Puis les percussionnistes et les timbaliers, pour des niveaux un peu inférieurs mais qui subissent les niveaux acoustiques de crête les plus forts, les bois et les flûtistes, avec des niveaux d'exposition sonore de 2 à 5 dB inférieurs et les violonistes et altistes avec des niveaux d'exposition comparables aux cuivres pour leur oreille gauche.

Les autres instrumentistes et le chef d'orchestre subissent, quant à eux, des expositions sonores quotidiennes inférieures à 85 dB(A) / 8 h mais supérieures à 80 dB(A) / 8 h. Les temps d'exposition hebdomadaire sont de l'ordre de 30 h, certainement inférieurs de quelques heures pour les cuivres, les bois et les percussions et supérieurs pour les cordes, car ces derniers sont sollicités dans toutes les œuvres. L'exposition sonore dépend d'abord de l'intensité sonore de l'œuvre interprétée puis, dans l'ordre d'importance, de l'instrument, de la position des musiciens par rapport aux autres (isolé ou en formation) et de la surface disponible (proximité) et enfin de l'acoustique du lieu.

3.1.2 Pertes auditives et autres troubles

Contrairement à ce que laissent à penser les conclusions des différents auteurs, il y a peu de contradictions dans la bibliographie quant aux pertes auditives induites par l'exposition sonore des musiciens professionnels.

Les jeunes musiciens ont d'après [39] et [40] une audition légèrement supérieure à la population moyenne. Cependant, cela n'est pas vrai pour toutes les bandes de fréquences. En effet, d'après [40], ils présentent déjà tous des pertes légères, supérieures au percentile 75 % de la population moyenne mais inférieures au percentile 90 % à 6 kHz (cf. figure 1). Les compositeurs, les organistes et les trompettistes présentent également des pertes à 4 kHz. Les musiciens les plus touchés sont les compositeurs et les organistes puis les cuivres et les chefs d'orchestre.

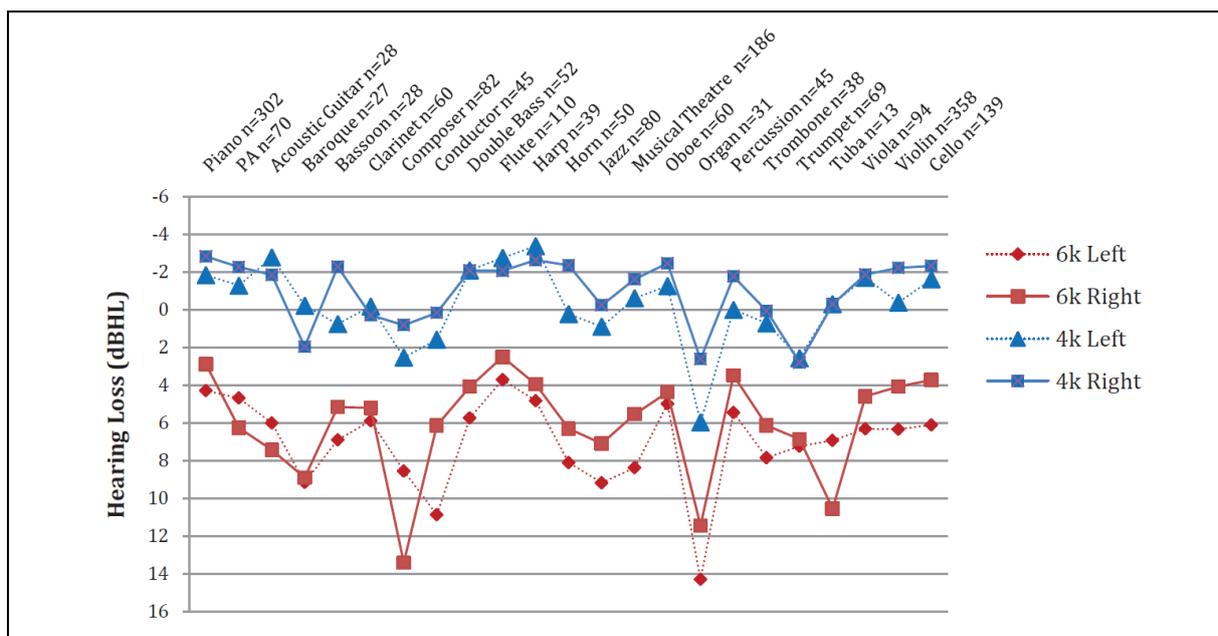


Figure 1 : figure directement issue de [40] (figure 6) : Pertes auditives à 4 et 6 kHz de 2500 musiciens étudiants ou en début de carrière

Les musiciens d'orchestre symphonique présentent également des pertes supérieures à la population moyenne à 6 kHz qui peuvent s'étendre, suivant les publications, jusqu'à 2 ou 3 kHz. Cependant ces pertes sont modérées. Si on ne considère que les populations les plus importantes, Jansen [41] n'observe aucune perte auditive sauf à 6 kHz pour 92 % des 482 audiogrammes effectués. En revanche 35 audiogrammes présentent une perte moyenne supérieure à 20 dB à partir de 2 kHz. De même, Schmidt et al. [12] ne mesurent pas de pertes auditives supérieures à la population de référence chez les 363 oreilles testées. En revanche, quand ils considèrent des sous-groupes de musiciens, ils trouvent des pertes auditives significativement supérieures pour les trompettistes, les percussionnistes et les violonistes (oreille gauche) qu'ils évaluent à 6 dB en moyenne sur la bande 3 à 6 kHz (29 oreilles, soit

8 %). Les autres études sont moins significatives car elles rassemblent moins de sujets mais leurs conclusions, à une exception près [35] et après parfois une ré-analyse, confirment le constat des deux précédentes (cf. Annexe I) : les musiciens les plus exposés à la musique souffrent de pertes auditives qui forment une encoche (scotome) à 6 kHz, signe d'exposition à des niveaux sonores lésionnels (donc de NIPTS). Pour une faible proportion d'entre eux, moins de 10 %, ces NIPTS s'étendent aux fréquences 3 et 4 kHz et plus rarement à 2 kHz. Elles sont faibles, leur moyenne est inférieure à 10 dB, mais elles peuvent atteindre individuellement 10 à 15 dB (qui se cumulent aux pertes dues à l'âge). Cependant, aucun des auteurs ne rapporte de cas de surdité sévère. Au pire, les musiciens peuvent atteindre le stade 1 de l'échelle de l'OMS, à savoir des « pertes légères pouvant nécessiter un appareillage ». Par ailleurs, les auteurs constatent aussi une baisse des OAE avec l'âge, signe d'une atteinte périphérique, et environ 15 à 20 % des musiciens rapportent avoir des acouphènes.

Enfin le suivi longitudinal montre que l'évolution des pertes auditives chez les musiciens suit une progression plus lente que celle rapportée par l'ISO 7029. Les musiciens interrogés à ce sujet émettent l'hypothèse d'une baisse de l'exposition sonore quotidienne, liée à la fois à une moins grande pratique individuelle – les musiciens expérimentés en ont moins besoin – et à un recours plus fréquent aux protections individuelles une fois la baisse d'audition constatée.

Quelques références, notamment Pawlaczyk-Luszczynska et al. [43] et Schmidt et al. [44], ont fait le lien entre exposition sonore et pertes auditives à l'aide de l'ISO 1999 [2]. Le tableau IX rappelle les pertes auditives moyennes prévues par cette norme (qui s'adresse à une population exposée à des bruits industriels) dans le cas d'une exposition sonore quotidienne de 85 et 90 dB(A) / 8 h après 30 ans d'exposition – ce qui correspond approximativement à un âge de 45 à 50 ans, soit l'âge moyen des musiciens dans les publications.

<i>Exposition - durée</i>	NIPTS					
	<2kHz	2kHz	3kHz	4kHz	6kHz	8kHz
$L_{EX,8h}=85dB(A)$ - 30 ans	0	1	4	6	3	n.d.
$L_{EX,8h}=90dB(A)$ - 10 ans	0	2	8	11	7	n.d.
$L_{EX,8h}=90dB(A)$ - 30 ans	0	5	11	14	9	n.d.
<i>Publication – Nombre – Age moyen – Sexe</i>	<2kHz	2kHz	3kHz	4kHz	6kHz	8kHz
Axelsson & Lindgren [17] – 139 – 44,9 ans – Indifférencié	3	5	8	11	15	11
Karlsson et al. [31] – 337 – 41,4 ans - Hommes	-2	0	6	7	9	7
Karlsson et al. [31] – 55 – 35,8 ans - Femmes	-1	-1	4	8	13	11
Johnson et al. [34] – 60 – 43 ans – Non différencié	3	1	4	7	15	10
Royster et al. [20] – 46 – 53 ans – Hommes	4	6	12	16	10	5
Royster et al. [20] – 13 – 50 ans – Femmes	2	8	7	7	6	9
Kähäri et al. [38] – 98 – 42 ans – Hommes	4	4	5	9	15	11
Kähäri et al.[38] – 42 – 37 ans – Femmes	2	4	2	4	9	7
Emmerich et al. [25] – 56 – 43 ans – Non différencié	n.d.	3	3	5	6	n.d.
Jansen et al. [41] – 241 – 44 ans – Non différencié	-1	1	-2	-2	5	1
Pawlaczyk et al. [27] – 31 – 44 ans - Hommes	7	0	3	5	8	5
Pawlaczyk et al. [27] – 26 – 44 ans - Femmes	7	1	0	1	6	5

Russo et al. [42] – 44 – 50 ans – Non différencié	1	3	5	7	8	3
Pawlaczyk et al. [43] – 68 – 44 ans – Hommes	10	6	7	10	13	5
Pawlaczyk et al. [43] – 58 – 44 ans – Femmes	10	5	4	5	11	13
Behar et al. [45] – 46 – 55 ans – Non différencié	2	0	1	4	5	1
<i>Moyenne pondérée par le nombre de sujets</i>	1	2	4	5	9	6

Tableau IX - NIPTS : Pertes auditives médianes induites par une exposition sonore professionnelle pour deux niveaux d'exposition quotidienne, 85 et 90 dB(A)/8h, pendant 10 ou 30 ans, prévues par l'ISO 1999 :2013 (table D1 et D2) ; NIPTS relevées dans différentes publications et moyenne des NIPTS pondérées par le nombre de sujets de chaque publication. n.d. : non documenté dans les publications

Les pertes relevées correspondraient plutôt à une exposition sonore quotidienne de $L_{EX,8h} = 85$ dB(A) sur 30 ans ou de $L_{EX,8h} = 90$ dB(A) sur 10 ans. Par ailleurs l'évolution de 3 dB prévue par la norme entre 10 et 30 ans pour une exposition sonore à un $L_{EX,8h}$ de 90 dB(A) ne correspond pas non plus à ce qui a été observé. Enfin l'encoche – le scotome – se situe à 6 kHz chez les musiciens contre 4 kHz pour la population de l'ISO 1999 (population industrielle). Les prévisions de la norme sont donc à la fois pessimistes (les pertes devraient être doubles de celles observées) et décalées d'un 1/3 d'octave vers les basses fréquences (le scotome devrait se produire à 4 kHz, or il se situe pour la grande majorité des études à 6 kHz). Certains auteurs émettent l'hypothèse d'une meilleure résistance de l'audition des musiciens. Il est difficile de se prononcer car plusieurs explications sont possibles. En particulier :

- l'exposition sonore est différente de celle généralement observée dans l'industrie :
 - o les périodes de forte exposition sonore sont entrecoupées de périodes très calmes ;
 - o les périodes d'exposition sont plus courtes ;
 - o les composantes fréquentielles ne sont pas les mêmes;
 - o l'exposition s'étale sur 7 jours et non sur 5 jours ;
- les musiciens peuvent, jusqu'à un certain point, maîtriser leur exposition sonore et leur récupération auditive ;

Autre point, les musiciens ont une meilleure audition que la population moyenne et présentent déjà des pertes à 6 kHz à leur entrée dans l'orchestre : les pertes liées à l'activité seraient donc minimisées à 2, 3 et 4 kHz (car les musiciens ont au départ des seuils d'audition plus bas que la population de référence) et surévaluées à 6 kHz (car les musiciens ont au début de leur activité professionnelle au sein de l'orchestre des seuils d'audition plus élevés que la population de référence à cette fréquence). Il n'en reste pas moins que les pertes auditives sont moins élevées chez les musiciens que ne le laisse présager leur exposition sonore quotidienne. Il faut modérer ce constat car il est fait sur toute la population. Les auteurs qui se sont appliqués à distinguer les groupes d'instruments trouvent des pertes plus élevées chez les cuivres, suivis des bois et des percussions et enfin des violonistes (pour l'oreille gauche, la plus exposée, pour ces derniers).

Pour conclure, la bibliographie montre qu'il existe un risque chez les musiciens d'orchestres symphoniques de pertes d'audition liées à leur activité, aux fréquences supérieures ou égale à 2 kHz, particulièrement chez les cuivres, les bois, les percussions et les violonistes. Ce risque est cependant plus modéré que ne le laisse supposer les niveaux d'exposition sonore et n'amènerait qu'une surdité légère chez une minorité de musiciens (moins de 10 % de la population) caractérisée par un scotome à 6 kHz. Une forte proportion des musiciens, jusqu'à 20 %, se plaignent d'acouphènes et plusieurs auteurs ont constaté des pertes temporaires systématiques après la pratique musicale et une baisse

des OAE chez les musiciens les plus exposés. Enfin, l'audition des hommes semblent plus impactée par l'exposition à de la musique que celle des femmes.

3.2 Musique amplifiée

3.2.1 Exposition sonore

Au regard de la bibliographie, le niveau sonore moyen d'exposition des musiciens pratiquant la musique amplifiée (MA) est de 102 dB(A) et celui des techniciens (TA) de 95 dB(A). Plusieurs auteurs ont constaté que les TA évoluent dans le même environnement sonore que les MA, mais les niveaux sonores sont néanmoins plus élevés sur scène lorsque les musiciens travaillent avec des enceintes ou retours type bains de pieds. Cependant, ces données collectées ne correspondent qu'aux phases d'exposition à de la musique amplifiée lors des concerts ou répétitions des artistes. Le travail des TA ne se limite pas à ces seules périodes. Ainsi, les 8 TA suivis dans l'étude INRS de 2018 [47] avaient une durée moyenne d'exposition sonore à la musique de 2,7 h alors que leurs amplitudes moyennes de travail étaient de 9,7 h. L'exposition sonore en dehors des phases d'exposition à la musique amplifiée identifiée (concert) est mal connue et non documentée. Dans l'étude INRS de 2018 l'exposition sonore entre les phases d'exposition à la musique était comprise entre 70 et 80 dB(A) pour les 8 sujets observés. Ces sujets n'ont pas été exposés ce jour-là aux opérations de montage du plateau ni au réglage de la sonorisation, réalisés les jours précédents, ni aux démontages, réalisés le lendemain. Or ces opérations peuvent être bruyantes et contribuer significativement à l'exposition sonore journalière.

L'exposition sonore journalière est donc un cumul de périodes d'exposition intense à la musique amplifiée et de périodes plus calmes. Si le niveau sonore hors musique est inférieur à 80 dB(A) et si la personne est exposée à la musique à un niveau de plus de 95 dB(A) durant 2 h, alors l'exposition journalière est presque intégralement due à l'écoute de la musique amplifiée même si elle ne représente qu'un quart de la journée de travail. L'exposition journalière peut alors être estimée par la seule connaissance de cette phase d'exposition.

Le croisement de ces niveaux sonores très élevés (niveau médian 102 dB(A)) et des durées d'exposition journalière ou hebdomadaire (21 h / semaine) conduit à un très large dépassement de la valeur limite d'exposition sonore réglementaire de 87 dB(A).

Au regard des variations temporaires du seuil d'audition, Axelsson *et Lindgren*, [63] ont proposé une valeur limite de 100 dB(A) durant 2 h, ce qui correspond à une exposition journalière de 94 dB(A) si l'on se rapporte au principe d'équivalence énergétique sur lequel s'appuie la réglementation européenne. En se basant sur les recommandations du Swedish National Board of Health and Welfare, Kähäri *et al.* [48] considèrent que, pour un même niveau de risque auditif, l'exposition sonore à la musique amplifiée peut être 5 dB plus élevée qu'un bruit industriel ce qui les conduit à préconiser un niveau sonore maximal de 100 dB(A) pour un concert d'une heure. Ces recommandations doivent être considérées avec beaucoup de prudence. D'une part, des TTS consécutifs à une exposition à la musique amplifiée ont été mesurés pour des expositions inférieures à ces recommandations [47], d'autre part, l'audiométrie tonale liminaire n'est pas l'examen le plus sensible aux atteintes périphériques temporaires [81]. En effet, Rebecca *et al.* [82] ont montré que l'audiométrie était moins sensible que les produits de distorsions acoustiques pour mettre en évidence des déficits périphériques permanents précoces et que ces déficits apparaissaient dès le début de la carrière des musiciens, lors de la formation.

Les informations sur le spectre sonore de la musique sont très peu nombreuses. Deux auteurs insistent sur le facteur de risque supplémentaire constitué par les fortes intensités conjointement au contenu hautes fréquences de la musique ([83] et [84]). Si le contenu en basses fréquences varie beaucoup en fonction de l'esthétique musicale (folk, rock, électronique) le contenu énergétique dans le haut du spectre sonore est équivalent quel que soit le style musical. Le facteur de risque lié aux hautes fréquences évoqué par ces auteurs serait donc toujours présent pour les TA et MA exposés à la musique amplifiée, la modulation du risque des troubles auditifs étant alors essentiellement fonction du niveau sonore. Cependant, comme le montre la figure 2, le contenu énergétique en hautes fréquences de la musique amplifiée ne s'avère pas plus important que celui mesuré à des postes de travail en industrie. Le risque auditif lié à la musique amplifiée ne paraît donc pas lié à une répartition énergétique spécifiquement élevée dans les hautes fréquences. Le déplacement du scotome de 4 kHz vers 6 kHz pour les professionnels exposés à de la musique amplifiée ne peut donc pas s'expliquer par l'extension du spectre sonore vers les hautes fréquences.

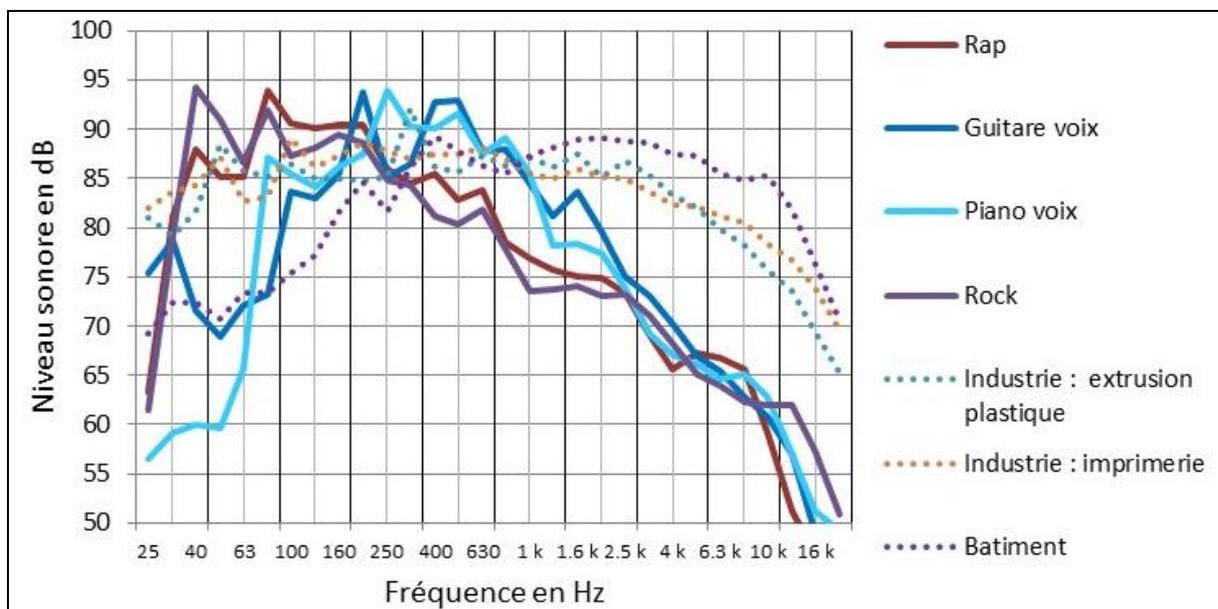


Figure 2 - Analyses spectrales par bande de tiers d'octave [47]. Mesures sonométriques à la régie son façade lors de concerts et mesures au poste de travail dans l'industrie et sur chantier de construction. Pour faciliter la comparaison des compositions spectrales, les spectres sonores sont normalisés pour obtenir un niveau global de 100 dB. Niveaux sonores avant corrections : Rap 101,5 dB ; Guitare + voix 88,9 dB ; Piano + voix 89,8 dB ; Rock 105,7 dB ; Extrusion plastique 84,2 dB ; Imprimerie 85,6 dB ; Bâtiment 91,1 dB.

Bien qu'assez peu nombreuses, les expositions sonores collectées dans les différents articles de cette revue bibliographique sont homogènes, ce qui contribue à la fiabilité et la représentativité de ces données. Les conditions de mesures manquent de précision pour certaines d'entre elles, notamment en ce qui concerne la durée de mesure. Ces données sont souvent extraites d'études mêlant mesures de performances auditives et expositions sonores, ce qui peut expliquer en partie le manque d'informations caractérisant l'exposition.

Avec un niveau moyen de 102 dB(A), la population des MA dans cette revue bibliographique est plus exposée que les TA, soumis en moyenne à 95 dB(A). La dose de bruit, l'exposition sonore journalière ou hebdomadaire, est la combinaison du niveau sonore et de la durée d'exposition. Les MA ont une

durée d'exposition hebdomadaire moyenne de 21 h. Celle des TA est mal identifiée, mais même si elle devait être plus importante que celle des MA, l'effet de la durée (+ 3 dB par doublement de la durée) ne permet pas de compenser l'écart des niveaux sonores. Selon les données de cette étude bibliographique, la dose de bruit moyenne des MA est supérieure à celle des TA donc le risque auditif pour les MA est plus important que pour les TA.

3.2.2 Risque pour l'audition

3.2.2.1 Perte auditive

L'ensemble des auteurs présentant des mesures audiométriques trouve des déficits auditifs permanents, y compris chez les jeunes en formation. Cependant, la plupart 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. Seul Amorim *et al.* [50] concluent à un risque élevé de perte auditive. On notera que ces auteurs sont parmi les rares à avoir réalisé d'autres types d'exams que l'audiométrie tonale.

Axelsson *et al.* [49] ont examiné une même population de musiciens mêlant musique acoustique et amplifiée) à 16 ans d'intervalle. Durant cet intervalle, le nombre de personnes ayant une perte auditive supérieure à 20 dB entre 2 et 8 kHz a doublé, passant par exemple de 15 à 30 % à 6 kHz. Cependant, cette évolution est proche de celle d'une population normale comme modélisée par la norme ISO 7029. On constate que le nombre de musiciens, ayant des seuils audiométriques dans les fréquences élevées (3 à 8 kHz) inférieures au percentile 90 de l'ISO 7029, évolue peu au cours de cette période mais les écarts au percentile 90 augmentent. Cela signifie qu'il y a une aggravation des pertes auditives pour les musiciens déjà atteints. Enfin, lors de cette étude longitudinale, certains musiciens mesurés initialement ne l'ont pas été 16 ans plus tard quand d'autres ont arrêté leur carrière. Axelsson *et al.* ont constaté que l'audition des musiciens en activité après 16 ans était plus performante initialement que celle des musiciens ayant arrêté la musique; on peut donc supposer que les musiciens les plus précocement atteints par des troubles auditifs, ou ayant les troubles les plus sévères, ont été contraints d'abandonner leur activité. Par ailleurs la liste des chanteurs ou musiciens emblématiques souffrant de profonds déficits auditifs est longue (Brian Johnson (AC/DC), Sting, Eric Clapton, Roger Taylor (Queen), Lars Ulrich (Metallica), Phil Collins, Roger Daltrey et John Entwistle (Who), Liam Gallagher (Oasis)). La musique amplifiée peut donc être responsable de surdités profondes même si la population globale des musiciens et techniciens semble moins touchée que ne l'aurait laissé supposer leurs niveaux d'exposition sonore.

Pour expliquer ces déficits auditifs inférieurs à ceux attendus compte tenu des niveaux d'exposition sonore liées à la musique amplifiée, les auteurs avancent plusieurs hypothèses. Certains auteurs ([53],[64] et [51]) évoquent le caractère intermittent de la musique par opposition au profil plus stable et continu d'un bruit industriel. Les durées d'exposition à la musique, plus courtes et entrecoupées de périodes calmes, permettraient une meilleure récupération de la fatigue donc une perte moindre à long terme. Bien qu'elle soit très peu étudiée, la cinétique de récupération pourrait être rapide après une exposition à de la musique : en effet Fearn [21] a montré que les seuils auditifs d'une vingtaine de sujets retrouvaient leur niveau initial en moins de 60 minutes après une exposition de 20 minutes à 103 dB(A). L'importance des TTS en basses fréquences, mise en évidence par deux études ([47] et [65]), suggère que cette baisse ne serait pas due à un dysfonctionnement de l'amplificateur cochléaire actif

(électro-motilité des cellules ciliées externes). En effet, il faut savoir que l'amplificateur cochléaire n'existe que pour des fréquences supérieures à 1 kHz, il est donc absent des basses fréquences. D'ailleurs, la faible sensibilité des produits de distorsions acoustiques, directement issus de l'électro-motilité des cellules ciliées externes, conforte cette hypothèse [81]. La fatigue auditive périphérique serait donc principalement liée aux cellules ciliées internes en raison du déclenchement du processus d'excitotoxicité glutamatergique, pouvant conduire à terme à un déficit auditif permanent ([85] et [86]).

En étudiant la latence des potentiels auditifs évoqués, Samelli *et al.* [51] ont montré que chez les musiciens de musique rock, cette latence est plus courte que celle mesurée chez les personnes témoins. La pratique de la musique pourrait améliorer les performances auditives cérébrales, notamment par des mécanismes de plasticité et d'apprentissage. Cette surcapacité auditive du système nerveux masquerait alors en partie les déficits auditifs périphériques lors d'une mesure par audiométrie tonale liminaire.

Enfin, la perception sonore entre un bruit industriel subi et une musique écoutée avec plaisir pourrait également différencier ces deux types d'exposition. En effet, l'impact de la perception de sons agréables et désagréables peut entraîner des modifications du système endocrinien, notamment la production d'hormones de stress [87] ou la modification du taux de sérotonine (5-HT) [88] [89]. Selon ces auteurs, ces modifications de la stimulation du système endocrinien pourraient alors induire différentes réactions en cascade dans le système nerveux central comme dans le système auditif périphérique entre un son désagréable subi et une musique procurant du plaisir.

Pour résumer, les pertes auditives provoquées par l'exposition sonore à la musique amplifiée chez les musiciens professionnels et techniciens sont avérées même si le risque semble plus faible que ne le laisserait envisager la simple mesure des niveaux sonores d'exposition. Les raisons de cet écart ne sont pas totalement comprises. La taille modeste des populations étudiées au regard de la diversité des situations de travail dans le secteur de la musique, des styles musicaux et des pratiques musicales appelle à rester prudent quant aux conclusions, notamment lorsqu'on s'intéresse à une fraction de ces professionnels dont les conditions de travail et d'exposition peuvent être atypiques.

3.2.3 Acouphènes et Hyperacousie

Si les déficits auditifs paraissent d'amplitude modérée, plusieurs auteurs ([46], [48] et [62]) recommandent de prendre en compte l'ensemble des troubles auditifs, et notamment les acouphènes et l'hyperacousie, fréquents chez les professionnels du secteur de la musique amplifiée.

Comme expliqué au §1.3, les sujets atteints de pertes auditives ne développent pas toujours des acouphènes et un audiogramme anormal n'est pas forcément détecté chez tous les sujets souffrant d'acouphènes. Ainsi, ni Halevi-katz *et al.* [6] ni Størmer *et al.* [69] ne trouvent de corrélation entre acouphènes et pertes auditives, ou entre hyperacousie et pertes auditives. Størmer *et al.* ne mettent pas non plus en évidence de corrélation entre le degré d'exposition à de la musique amplifiée (combinaison de la fréquence et du nombre d'années d'expérience) et la perception d'acouphènes. En revanche, Halevi-Katz *et al.* trouvent une corrélation entre le degré d'exposition à la musique amplifiée et les 3 troubles suivants : perte auditive ; acouphène ; hyperacousie. Ils ont également déterminé que la fréquence des expositions (nombre d'heures hebdomadaires de pratique musicale) est une variable expliquant mieux la perte auditive que le nombre d'années d'expérience.

Si la corrélation entre les pertes auditives et les acouphènes ou l'hyperacousie n'est pas établie, il n'en demeure pas moins que ces troubles auditifs sont généralement présents simultanément. Preuve en

est, Kähäri *et al.* [48] montrent que 11 % des MA sont atteints à la fois d'une perte auditive, d'acouphènes et d'hyperacousie tandis que seulement 5 % d'entre eux présentent uniquement des acouphènes.

Par ailleurs, Halevi-Katz *et al.* mettent en évidence une prévalence accrue d'acouphènes et d'hypersensibilité côté gauche par rapport au côté droit. Cette asymétrie pourrait être due à une plus forte activité du système efférent modérant l'activité des cellules ciliées externes du côté droit. La moindre modulation de l'activité des cellules ciliées externes du côté gauche provoquerait une propension aux acouphènes et à l'hyperacousie du côté gauche [89].

Les acouphènes et l'hyperacousie sont des raisons provoquant prématurément l'arrêt d'activité chez les MA [16], [69]. Størmer *et al.* [69] précisent même que les musiciens ayant interrompu leur activité en raison d'acouphènes ne souffrent pas pour autant de pertes auditives plus marquées que les musiciens qui sont restés en activité. Selon l'étude d'Axelsson *et al.* [49] sur une même population de musiciens, des mesures réalisées à 16 ans d'intervalle montrent que la gêne provoquée par les acouphènes ou l'hyperacousie chez le MA est modérée. Parmi les 53 musiciens suivis, 13 ont arrêté la musique au bout de 16 ans. Or, les proportions de musiciens atteints par les acouphènes ou l'hyperacousie sont identiques dans les 2 sous-groupes : musiciens en activité et musiciens ayant arrêté.

Malgré l'apparition de troubles auditifs tels que les acouphènes ou l'hyperacousie, certains MA parviennent néanmoins à continuer leur activité professionnelle. Les données sur ces troubles auditifs ont été collectées grâce à des auto-déclarations au moyen de questionnaires. La sévérité des troubles, par ailleurs malaisée à quantifier, n'est donc quasiment jamais reportée dans les études recensées. Il est donc difficile de juger de la subjectivité de la perception de ces troubles auditifs et du degré d'handicap qu'ils génèrent pour une population de professionnels exposés à la musique amplifiée. Cette étude bibliographique montre cependant que les acouphènes et l'hyperacousie sont des troubles fréquents chez les MA et qu'ils conduisent certains professionnels à abandonner leur activité de musiciens.

3.3 Autres travailleurs exposés à de la musique amplifiée

Comme le montre le §2.3, la littérature étudiant la population des travailleurs autres que les musiciens professionnels exposés à de la musique amplifiée est limitée. Elle se focalise essentiellement sur les mesures d'exposition sonore au dépend des investigations audiométriques. Le tableau X suivant résume les résultats des mesures d'exposition sonore.

Auteur	Lieu(x)	Activité ou zone ou style	Nombre de mesures	L_{Aeq}^* moyen ou $L_{EX,8h}^{**}$ dB(A)	Min-Max dB(A)	Durée de mesure moyenne	LpC maximum en dB(C)
Lee [70]	Discothèques (Singapour)	Pers. de sécu.	8	89,6*	75-97,4	5,1 h	n.d.
		Accueil	5	90,3*	84,2-99,9		
		Barman	10	91,3*	85,4-96		
		Serveur	10	93*	88,7-95,5		

		DJ	7	95*	92,1-96,4		
Tah-Chew et Keung [71]	Discothèques (Hong-Kong)	Entrée	5	73,4*	71,5-75,5	n.d.	n.d.
		Barman	5	94,3*	91,5-96,6		
		DJ	5	94,1*	91,6-95,6		
		Piste de danse	5	96,7*	94,8-97,7		
Fleming [72]	Discothèques (UK)	Barman	11	93,2**	83,2-98,1	4 à 5 h	n.d.
Gunderson [73]	Clubs de musique (USA)	Jazz	1	92,7**	n.d.	30 min / 30 min / Niveaux ramenés à 8 h	n.d.
		Hip-hop	1	95**			
		Blues	1	99,2**			
		Rock	4	95,2**	91,9-98,3		
		Hard-Rock	1	99,8**			
Sadhra [75]	Discothèques étudiantes (UK)	Zone 1	>4	98,3**	87,5-101,9	5 h 20 à 6 h 15, niveaux ramenés à 8 h	n.d.
		Zone 2	>4	97,8**	92,9-103,7		
		Zone 3	>4	93,1**	86,6-101,7		
Bray [76]	Discothèques (UK)	DJ	11	102,4* / 96**	97,8-107,9	1 h 53	n.d.
Santos [77]	Discothèque (Brésil)	DJ	21	101,9*	93,2-109,7	1 h 31	n.d.
Guo et Gunn [78]	Discothèques bars tavernes (Australie)	Barman	17	92**	n.d.	Niveaux ramenés à 8 h	n.d.
		Serveur	17	93**			
		Pers. de sécu.	17	93**			
		Manager	17	92**			
		DJ	17	96**			
Goggin [79]	Lieux de loisirs (Australie)	n.d.	n.d.	95*	70-115	4 h 40	n.d.
Kelly [80]	Discothèques (Irlande)	Barman	17	92,2**	88,6-96,8	n.d.	4 dépassements de 130 dB(C)
Barlow [54]	Lieux de diffusion - musique	Barman	12	88,8*	74,9-99	4 h 16	133,7
		Manager	1	98,7*	-	7 h 44	135,5
		DJ	1	91,2*	-	2 h 43	132,1

	amplifiée ou live (UK)	Sécurité	5	90,9*	74,4-96,4	4 h 34	134,3
--	------------------------	----------	---	-------	-----------	--------	-------

Tableau X : Niveaux sonores et/ou expositions sonores.
 Personnels autres que les musiciens ou les techniciens du son
 n.d. : non documenté dans les publications

Même si la plupart des mesures sont assez mal décrites et paraissent assez sommaires, elles sont très homogènes et il est donc possible d'en tirer quelques enseignements :

- l'exposition sonore des DJs se situe autour de 95 dB(A) / 8 h, celle des barmen autour de 92 dB(A) / 8 h lorsque de la musique amplifiée pour la danse est diffusée ou lorsqu'il y a des concerts live ;
- l'exposition sonore des serveurs semble être un peu supérieure à celle des barmen ;
- l'exposition sonore des personnels de sécurité est très fluctuante, probablement selon le poste occupé (intérieur de salle de diffusion vs abord ou extérieur de la salle) et peu rester inférieure à 80 dB(A) comme s'approcher des 100 dB(A) ;
- les niveaux sonores les plus élevés sont atteints sur les pistes de danse et dépassent très souvent 100 dB(A) pour atteindre environ 110 dB(A) dans les cas les plus critiques. Les clients les ressentent alors comme trop élevés ;
- les niveaux sonores moyens auxquels sont soumis les personnels, autres que les musiciens ou les techniciens du son lors des concerts live, dépassent largement 90 dB(A); ils peuvent atteindre 100 dB(A) et dépendent du type de musique.

Tous ces personnels travaillent entre 3 et 5 jours par semaine sur des périodes allant de 3 à 7 h. L'exposition sonore est donc systématiquement supérieure à la valeur limite d'exposition journalière (87 dB(A)) pour toutes les catégories sauf pour le personnel de sécurité qui peut être posté à l'extérieur de l'enceinte de diffusion de la musique. Pour ces derniers, l'exposition sonore fluctue énormément.

Seulement 4 auteurs se sont intéressés à la fatigue (TTS) ou aux pertes auditives (PTS). Lee [70] trouve une prévalence des pertes auditives significativement plus élevée chez des salariés de discothèques que pour un groupe témoin et ce malgré le jeune âge des volontaires (24 ans en moyenne). Tin et Lim [74] montrent que 75 % des participants à leur étude ont des TTS significatives après exposition et sept de leurs 48 sujets présentent des pertes légères. À nouveau la population étudiée est jeune (22 ans de moyenne d'âge) et il était très peu probable de trouver des pertes élevées. Bray et al. [76] trouvent, quant à eux, des pertes sévères chez 3 des 23 DJs qu'ils ont étudiés. Un des 3 DJs présente des pertes atypiques difficiles à relier à une exposition excessive, en revanche les audiogrammes des 2 autres présentent un profil typique de pertes liées à une exposition sonore excessive à la musique et un de ces deux DJs souffre d'une surdité sévère. Enfin Santos et al. [77] ont eux aussi étudié une population assez jeune (27 ans, âge maximum 39 ans) de 30 DJs dans laquelle 11 DJs présentent des pertes auditives aux fréquences allant de 3 kHz à 8 kHz, jusqu'à 50 dB à 6 kHz. Par ailleurs une large majorité de ces DJs présentent des TTS significatives après exposition ainsi qu'une baisse importante des TEOAE. Même si ces données sont limitées, elles montrent que les DJs constituent une population à risque chez laquelle on peut observer des pertes auditives aux fréquences élevées imputables à une exposition sonore professionnelle excessive.

Par ailleurs d'après Lee [70], Guo et Gunn [78], Goggin et al. [79] et Barlow et Castilla-Sanchez [54], entre 12 et 85 % des personnes interrogées déclarent souffrir d'acouphènes temporaires ou permanents. Enfin très peu portent des protections auditives (moins de 20 % quelle que soit la

situation) et peu, notamment chez les managers, connaissent la réglementation sur l'exposition sonore.

4 Prévention du risque auditif

4.1 La démarche générale de prévention

La prévention du risque auditif fait l'objet de nombreuses publications et de sites internet dédiés. L'employeur en est responsable et doit prendre les mesures nécessaires et adaptées pour assurer la sécurité et protéger la santé des travailleurs. Quels que soient le domaine d'activité et le risque encouru, il convient de suivre les principes généraux d'une démarche de prévention :

1. **éviter les risques**, c'est-à-dire supprimer le danger ou l'exposition au danger ;
2. **évaluer les risques**, c'est-à-dire apprécier l'exposition au danger et l'importance du risque afin de prioriser les actions de prévention à mener ;
3. **combattre les risques à la source**, c'est-à-dire intégrer la prévention le plus en amont possible, notamment dès la conception des lieux de travail, des équipements ou des modes opératoires ;
4. **adapter le travail à l'Homme**, en tenant compte des différences interindividuelles, dans le but de réduire les effets du travail sur la santé ;
5. **tenir compte de l'évolution de la technique**, c'est-à-dire adapter la prévention aux évolutions techniques et organisationnelles ;
6. **remplacer ce qui est dangereux par ce qui l'est moins**, c'est-à-dire éviter l'utilisation de procédés ou de produits dangereux lorsqu'un même résultat peut être obtenu avec une méthode présentant des dangers moindres ;
7. **planifier la prévention** en intégrant technique, organisation et conditions de travail, relations sociales et environnement ;
8. **donner la priorité aux mesures de protection collective** et n'utiliser les équipements de protection individuelle qu'en complément des protections collectives si elles se révèlent insuffisantes ;
9. **donner les instructions appropriées aux salariés**, c'est-à-dire former et informer les salariés afin qu'ils connaissent les risques et les mesures de prévention.

4.2 Risques liés à l'exposition à de la musique

La réglementation définit des valeurs limites d'exposition sonore [90] : deux valeurs limites d'action (VLA) qui nécessitent des actions de la part de l'employeur et du médecin du travail lorsqu'elles sont dépassées, et une valeur limite d'exposition (VLE) à ne pas dépasser. Chacune de ces 3 limites se décline en niveau continu équivalent sur 8 h et en niveau acoustique de crête :

	Exposition quotidienne ($L_{ex,8h}$)	Niveau de crête (L_{pc})	Obligations de l'employeur
Quel que soit le niveau			<ul style="list-style-type: none"> • Évaluation du risque • Suppression ou réduction au minimum du risque lié à l'exposition au bruit • Mise en place si nécessaire d'un Suivi Médical Renforcé (SIR)

Valeur d'exposition inférieure déclenchant l'action (VAI)	80 dB(A)	135 dB(C)	<ul style="list-style-type: none"> • Mise à disposition de protecteurs auditifs individuels (bouchons d'oreilles, casque antibruit...) • Examen audiométrique préventif sur demande du travailleur ou du médecin • Information et formation des travailleurs
Valeur d'exposition supérieure déclenchant l'action (VAS)	85 dB(A)	137 dB(C)	<ul style="list-style-type: none"> • Programme de mesures techniques ou d'organisation du travail visant à réduire l'exposition au bruit • Signalisation appropriée, limitation d'accès aux zones bruyantes • Veiller au port effectif des protecteurs auditifs individuels • Surveillance médicale renforcée des travailleurs exposés
Valeur limite d'exposition (VLE). Cette valeur prend en compte l'atténuation du bruit apportée par les équipements de protection individuelle (casque antibruit, bouchons d'oreille...)	87 dB(A)	140 dB(C)	<ul style="list-style-type: none"> • Adoption immédiate des mesures de réduction du niveau d'exposition au bruit à des valeurs inférieures aux valeurs limites • Identification des causes de l'exposition excessive et adaptation des mesures de protection

Tableau IX : valeurs limites réglementaires d'exposition sonore et obligations de l'employeur, issues de [91]

Les valeurs limites d'exposition sonore quotidienne sont basées sur 8h et l'exposition sonore doit être ramenée à cette durée par équivalence énergétique pour leur être comparée. Cela signifie par exemple que la VLE de 87 dB(A) sur 8 h sera atteinte en 4 h pour une exposition à 90 dB(A), en 2 h pour une exposition à 93 dB(A), etc... Ainsi, d'après cette bibliographie, les musiciens pratiquant la musique amplifiée étant en moyenne soumis à un niveau sonore de 102 dB(A), leur exposition sonore dépasse la VLE après seulement 15 minutes. L'exposition sonore des musiciens d'orchestre symphonique dépasse toujours la VAI et pour la majorité des instrumentistes elle dépasse aussi la VSA. Enfin, l'exposition des autres travailleurs soumis à la musique amplifiée (TA et DJs notamment) dépasse également la VSA (85 dB(A)) ou la VLE (87 dB(A)). Il convient à ce propos de noter que la réglementation définit aussi un niveau maximal pour le public (Décret n° 2017-1244 du 7 août 2017 : 102 dB(A) et 118 dB(C) moyennés sur 15 minutes). Il ne doit pas être confondu avec les valeurs limite d'exposition professionnelle et surtout il faut bien considérer que ce décret est destiné à protéger le public et ne garantit nullement la préservation de l'audition des professionnels.

4.3 Les solutions collectives

Lorsque les professionnels de la musique et du son, ou ceux travaillant dans des lieux de diffusion de la musique, s'estiment surexposés ; ils ont alors tendance à se tourner vers la protection individuelle. Pourtant, des solutions collectives existent. Certes, elles sont mal connues et difficiles à mettre en œuvre, non pas techniquement, mais parce qu'elles exigent l'implication à la fois des chefs

d'entreprises, des salariés et des acteurs de la prévention. C'est pourquoi il est demandé dans la directive européenne sur le bruit [92] à ce que chaque état membre établisse en consultation avec les partenaires sociaux et conformément à la législation et aux pratiques nationales, un code de conduite prévoyant des orientations pratiques pour aider les travailleurs et les employeurs des secteurs de la musique et du divertissement à respecter leurs obligations légales prévues dans la présente directive. Malheureusement cette disposition est peu suivie et peu de documents ont pu être recensés : un guide de la Communauté Européenne (CE) [93] et un guide édité par le Health and Safety Executive (HSE, Royaume Uni) [94]. Confrontés au même problème, le gouvernement Australien [95] et les Américains du National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) [96] ont eux aussi édité un guide.

Le guide le plus complet, mais aussi le plus difficile à utiliser car il est très volumineux (144 pages), est le guide HSE [94]. Il cherche à s'adresser à chaque population – du musicien d'orchestre symphonique au personnel de sécurité – et à chaque secteur – depuis les salles de concert jusqu'aux écoles de musique ou aux bars et discothèques. Il est de ce fait long à appréhender, néanmoins il peut être lu seulement par parties et il détaille très bien les solutions applicables. Il présente aussi des exemples illustratifs. Le guide Australien [95] reprend en le synthétisant le guide HSE, sans apporter d'originalités. Le guide CE [93] propose une stratégie par catégorie professionnelle pour aborder le risque lié à l'exposition sonore mais limite ses préconisations à la sonorisation. Enfin, si le guide du NIOSH [96] est très succinct, il donne en revanche des recommandations facilement applicables.

De ces différents guides, il ressort que les solutions collectives pour réduire l'exposition sonore peuvent être catégorisées. On distinguera ainsi quatre catégories :

- 1) Des solutions relevant de l'aménagement du/des espaces de travail, notamment :
 - le recours à des architectes, des acousticiens et des ingénieurs du son pour créer l'espace de travail musical souhaité et le plus efficace ;
 - le respect de spécifications dimensionnelles pour ces espaces de travail : des plafonds élevés afin de réduire la réverbération des instruments à haute énergie tels que les cuivres et les percussions, une surface minimale par instrumentiste (1,7 à 2,2 m²) afin de bien espacer les musiciens ;
 - lorsque la réverbération est trop importante, le traitement de certaines sections des murs et des plafonds avec un matériau absorbant acoustique afin de réduire le temps de réverbération tout en améliorant la qualité sonore ;
 - pour la répétition et la pratique, l'utilisation de salles de tailles appropriées ;
 - le placement, l'espacement et l'utilisation d'écrans mobiles, y compris sur scène pour réduire l'impact d'une enceinte ou d'un instrument en supprimant la propagation sonore directe vers d'autres artistes ou techniciens ;
 - dans les lieux où est diffusée de la musique amplifiée, la création d'une zone calme accessible au personnel et ayant un niveau sonore inférieur à 70 dB(A) qui permettra au personnel de prendre une pause récupératrice pour leur audition ou aux techniciens chargés du démontage d'attendre la fin du spectacle ;
 - l'identification des zones à risque par un affichage ou par des panneaux avertissant que le niveau sonore est susceptible d'engendrer une exposition supérieure à 85 dB(A) sur 8 heures (équivalent à 102 dB(A) durant 10 minutes) ;
 - l'implantation du bar ou de toute zone accueillant un poste de travail fixe en tenant compte de l'exposition sonore, certaines activités pouvant même être extraites de la zone de diffusion.
- 2) Des solutions concernant la sonorisation des salles en général, par exemple :

- la multiplication des enceintes, si possible placées en hauteur, ce qui permettra de mieux maîtriser l'environnement sonore et de définir des zones ayant un niveau élevé (piste de danse) et d'autres plus calmes hébergeant des postes de travail fixes (bar, restauration, accueil...);
 - l'utilisation de limiteurs de puissance permettant de réduire le risque auditif et notamment de surexposition accidentelle pouvant produire un TSA. Les limiteurs et dispositifs de protection sont à utiliser sur les amplificateurs de puissance pilotant des enceintes mais également sur les lignes de retour son pour les casques audio et les ear-monitors;
 - si les salles ont des surfaces fortement réfléchissantes, le positionnement des haut-parleurs de manière à éloigner les sons de ces surfaces;
- 3) Des solutions organisationnelles. Elles sont multiples et on citera pour l'exemple :
- une répartition des musiciens de façon à limiter au mieux leur exposition aux instruments autres que le leur. Ainsi, le guide HSE va jusqu'à proposer des configurations illustrées de répartition des musiciens;
 - l'organisation des répétitions de façon à ce que seuls les musiciens concernés soient présents, l'accès pour le travail individuel à des salles adaptées, donc faiblement réverbérantes, la recommandation de jouer « piano » lorsque le travail de l'œuvre le permet;
 - l'organisation du travail de façon à ce que seules les personnes nécessaires à l'activité soient présentes dans un environnement bruyant. Ainsi, le réglage de la sonorisation qui ne mobilise que quelques techniciens du son ne doit pas être réalisé en présence de l'ensemble des autres corps de métiers (techniciens plateau ou lumières...);
 - le placement des personnels de sécurité loin des enceintes. Pour les autres personnels, on pourra jouer sur la directivité des enceintes, le positionnement d'écrans ou l'éloignement des sources sonores afin de réduire leur exposition;
- 4) Des solutions technologiques. Un exemple ressort particulièrement, l'utilisation d'un casque audio ou d'un écouteur (ear-monitor), filaire ou sans fil, intégrant un limiteur voire apportant une atténuation du bruit ambiant. Cette atténuation peut être supérieure à 20 dB ce qui permet de travailler avec un niveau sonore inférieur au niveau environnant tout en ayant une restitution maîtrisée et de bonne qualité. Cette solution pose cependant différents problèmes. D'une part, l'efficacité du limiteur n'est garantie que si le casque ou l'écouteur associé est mentionné par le fabricant dans la notice du limiteur. D'autre part, elle va induire des changements dans la pratique, comme des problèmes d'interférences pour les casques sans-fil, des problèmes de volume (notamment le risque de hausses accidentelles qui peuvent être dangereuses pour les oreilles, d'où la nécessité d'un limiteur), la présence d'auxiliaires supplémentaires pour le musicien et pour l'ingénieur son, la nécessité de disposer de plusieurs voies pour entendre les autres musiciens et enfin des problèmes d'audibilité lors des balances (peu de son pendant la balance de façade, notamment).

Les listes de solutions données dans chaque catégorie sont loin d'être exhaustives. Beaucoup d'autres pistes de solutions collectives permettant de réduire l'exposition sonore des travailleurs dans les lieux de diffusion de la musique sont détaillées dans les documents recensés. L'objectif ici est de montrer la faisabilité des solutions proposées et la pertinence de ces guides, notamment du guide HSE.

4.4 La protection individuelle

Lorsque les solutions de prévention collectives n'ont pas permis de réduire suffisamment l'exposition sonore, des protections individuelles contre le bruit (PICB) doivent obligatoirement être utilisées.

Certains types de PICB ont une atténuation fréquentielle uniforme (aussi dite « plate ») qui ne dégrade pas trop la perception auditive (chapitre 5, §8 de la référence [93]). Ils sont donc particulièrement conseillés pour le secteur d'activité de la musique. Størmer *et al.* [69] ont recensé l'utilisation des PICB parmi une population de 111 musiciens rock. 22 % de ces musiciens déclaraient ne jamais porter de PICB alors que 48 % en portaient durant les concerts et 67 % durant les répétitions. Cette étude a montré que les musiciens ne portant jamais de PICB avaient une moins bonne audition sur l'ensemble des fréquences (de 125 Hz à 8 kHz). Parmi ceux déclarant se protéger, les musiciens utilisant des bouchons en coton avaient des seuils auditifs significativement plus élevés que ceux utilisant des PICB moulés sur mesure ou préformés. Mendes *et al.* [57] ont également étudié le port de PICB chez 40 musiciens. Soixante-dix-sept pour cent des musiciens déclaraient être conscients du risque auditif mais seulement 25 % portaient des PICB. Les auteurs de cette étude ont proposé aux musiciens de porter des PICB à atténuation uniforme (atténuation d'environ 20 dB) durant 3 mois. Au terme de cette période, 44 % des musiciens préféraient jouer en portant les PICB. Outre la protection apportée, les raisons citées par les musiciens préférant travailler avec les PICB étaient entre autres l'absence d'acouphènes à la suite d'une exposition à de la musique et la meilleure sensibilité procurée par les PICB. En effet, la discrimination auditive est plus efficace à niveau sonore modéré qu'à fort niveau. En réduisant l'intensité sonore élevée en concert, les PICB peuvent améliorer l'acuité auditive. Comme le mentionne la référence [93], un temps d'adaptation est nécessaire. Par ailleurs, même les meilleurs PICB ne présentent pas une atténuation parfaitement uniforme : c'est techniquement trop difficile à réaliser et la forme du conduit auditif va influencer la réponse du filtre du PICB. En effet, la fermeture du canal auditif entraîne un effet d'occlusion (amplification des sons aux basses fréquences) qui dépend du volume fermé et varie donc entre les individus [97]. Un PICB va donc nécessairement entraîner une modification du son perçu, à laquelle il faudra s'habituer. Une stratégie parfois adoptée par les musiciens consiste d'ailleurs à mentionner sur leur partition les moments où ils vont retirer ou remettre leurs PICB. Ainsi, ils les enlèvent lors de leurs solos et les remettent le reste du temps, une parfaite acuité de perception leur paraissant vraiment nécessaire que lors de passages délicats et d'intensité modérée. Il convient de noter que d'après J. Patel [98] certains PICB disposent d'un événement minimisant l'effet d'occlusion. Mais dans ce cas ils ne sont pas et ils ne peuvent pas être à atténuation uniforme.

Si les PICB à atténuation uniforme sont les plus utilisés, les musiciens et les ingénieurs du son ont aussi recours aux casques audio ou aux ear-monitors avec atténuation acoustique. Il n'y a que très peu de littérature sur cette solution de protection individuelle qui semble poser certains problèmes (cf. § précédent et le travail de J. Patel [98]), notamment un risque de surexposition qu'il convient de prévenir avec l'ajout d'un limiteur. S'il y a peu d'écrits sur les ear-monitors et les casques audio, leur utilisation est en revanche abondamment discutée et documentée sur le web.

Pour les autres catégories professionnelles, il existe d'autres types de PICB qui peuvent être mieux adaptés à leur activité que ceux à atténuation plate. J. Patel [98] en fait l'inventaire :

- les PICB à entrée audio et les PICB communicants permettent de protéger contre le bruit environnant et d'entendre, voire de communiquer via des émetteurs / récepteurs intégrés au PICB et qui peuvent être radio, bluetooth, wifi ... Ces fonctionnalités existent pour tout type de PICB (casques ou bouchons). Ils peuvent notamment être utiles aux personnels de sécurité.
- les PICB à atténuation dépendante du niveau. Ces PICB restituent le son ambiant mais en le compressant lorsqu'il dépasse un certain seuil. À nouveau cette fonctionnalité existe pour tout type de PICB. De tels PICB conviendront par exemple aux personnels d'accueil, aux barmen ou

aux serveurs évoluant dans des environnements où le bruit fluctue. Ils seront protégés à proximité d'enceintes ou lors de phases bruyantes et percevront normalement leur environnement le reste du temps.

4.5 La surveillance médicale

L'audition est la fonction sensorielle essentielle pour de nombreux artistes et travailleurs exerçant dans le secteur de la musique. Le suivi de l'audition doit permettre de diagnostiquer le plus précocement possible l'apparition de troubles auditifs liés à ce type d'exposition sonore. En France, les services de santé au travail ne réalisent ce suivi que par audiométrie tonale liminaire en conduction aérienne (ATL). C'est également l'examen de référence utilisé par tous les auteurs de cette revue bibliographique. L'ATL peut permettre de mettre en évidence un déficit auditif permanent [6], [53], [55] à [57], [74] ou temporaire [21], [47], [65].

Cependant, l'ATL n'est pas l'examen le plus adapté pour diagnostiquer des atteintes périphériques car il mobilise l'ensemble des voies auditives. Or, la plasticité cérébrale permet de compenser, en partie tout au moins, les déficits périphériques de telle sorte que les seuils audiométriques mesurés par ATL restent alors inchangés [51], [81]. Certains auteurs ont donc complété l'ATL par d'autres examens plus sensibles aux troubles auditifs périphériques comme les otoémissions acoustiques [50], [51]. Les otoémissions acoustiques traduisent le bon fonctionnement des cellules ciliées externes de la cochlée. Ces cellules, indispensables à une bonne audition, sont très vulnérables aux expositions sonores. Les auteurs de ces deux articles concluent que l'utilisation des otoémissions serait plus adaptée pour dépister précocement des atteintes auditives périphériques permanentes. En revanche, les otoémissions ne paraissent pas être plus sensibles que l'ATL aux variations temporaires de performances auditives consécutives à une exposition sonore. La mesure du seuil de déclenchement du réflexe auditif serait alors un examen pertinent pour étudier et mettre en évidence la fatigue auditive consécutive à une exposition sonore, fatigue qui traduit une souffrance du système auditif [81]. Enfin le diagnostic de fatigue auditive (TTS) pourrait mettre en évidence des situations à risque pour le système auditif avant même l'apparition d'un déficit permanent. En ne se limitant pas à faire le constat des pertes auditives irrécupérables, l'évaluation de la fatigue prend alors tout son sens dans une démarche de prévention en permettant une prise de conscience de la vulnérabilité de l'audition.

4.6 La formation et l'information

La formation et l'information sont capitales pour faire évoluer les pratiques. La méconnaissance du risque peut conduire à des conduites inadaptées pour soi et pour les autres personnes. De même, le bénéfice apporté par un dispositif de prévention pourrait être compromis s'il est méconnu. Dans un secteur d'activité où les travailleurs sont particulièrement mobiles (statut d'intermittent), cette problématique est critique. Toutes les références déjà citées précédemment développent cet aspect, particulièrement le document HSE [94]. La formation doit permettre de s'assurer que les travailleurs connaissent :

- leur exposition sonore probable et le risque afférent pour leur audition ;
- ce qui est fait pour contrôler le risque et leur exposition sonore ;
- où et comment obtenir une protection si elle est exigée réglementairement ;
- comment signaler les défauts des équipements de protection auditive et de contrôle du bruit ;
- quelles sont leurs obligations en vertu de la réglementation sur le bruit ;
- ce qu'ils devraient faire pour minimiser les risques, comme la manière appropriée d'utiliser une protection auditive, comment l'entretenir et la stocker et où l'utiliser, le mode opératoire

des autres équipements de contrôle du bruit, les dispositions et les recommandations pour limiter leur exposition sonore ;

- à quelle surveillance médicale ils ont droit.

Ainsi des afficheurs du niveau sonore ambiant placés dans les zones correspondant à des postes de travail, et pas seulement dans la zone d'accès du public comme le spécifie le Décret n° 2017-1244 du 7 août 2017, contribueront à informer les professionnels et à leur rappeler qu'ils travaillent dans un environnement dangereux pour leur audition.

5 Synthèse et discussion

Cette étude bibliographique établit que tous les musiciens d'orchestre symphonique, comme ceux pratiquant la musique amplifiée, sont exposés à des niveaux sonores supérieurs à la première limite d'action de la réglementation (80 dB(A) / 8 h) et que ces musiciens, à l'exception des pianistes, des violoncellistes, des contrebassistes et des harpistes et des chefs des orchestres symphoniques, sont exposés à des niveaux sonores supérieurs à la seconde limite d'action de la réglementation (85 dB(A) / 8 h). Il en est de même pour les techniciens du son dans le domaine de la musique amplifiée et des autres personnels travaillant dans les lieux de diffusion de la musique amplifiée, à l'exception des personnels de sécurité qui doivent être étudiés au cas par cas en raison de la grande disparité des situations. Par ailleurs, les percussionnistes des orchestres symphoniques, la grande majorité des musiciens pratiquant la musique amplifiée et les autres personnels travaillant dans les lieux de diffusion de la musique amplifiée subissent aussi des niveaux acoustiques de crête parfois supérieurs aux limites d'action de la réglementation.

Par importance croissante de l'exposition sonore journalière, les moins exposés sont les musiciens d'orchestre symphonique (cf. figure 3 suivante) ; viennent ensuite les autres personnels travaillant dans les lieux de diffusion de la musique amplifiée (entre 90 et 95 dB(A)), les DJs et les ingénieurs et techniciens du son (95 dB(A) en moyenne) et enfin les musiciens pratiquant la musique amplifiée (102 dB(A) en moyenne). Le constat est sans appel : l'audition de cette population court un risque lié à une exposition sonore excessive et il convient de lui appliquer les dispositions afférentes du code du travail rappelées dans le §4 de ce document en termes de surveillance médicale, information, formation, protection collective et protection individuelle contre le bruit.

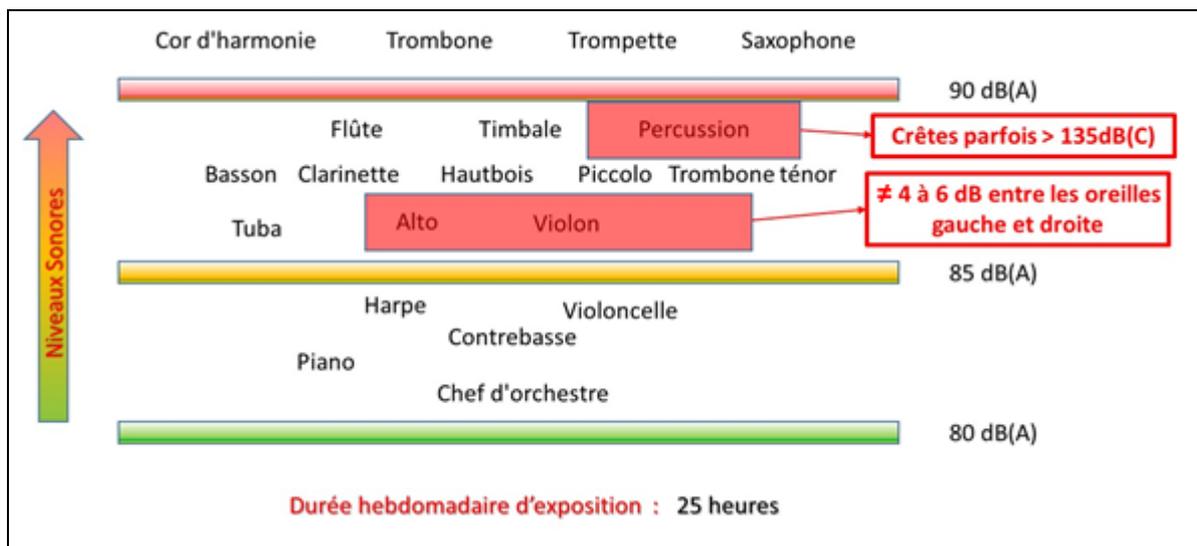


Figure 3 : Synthèse des niveaux sonores moyens auxquels sont exposés les musiciens lors de leur pratique en fonction de l'instrument joué

Les pertes auditives permanentes des professionnels du secteur de la musique et du spectacle dues à une exposition sonore trop élevées sont avérées. Par ailleurs, leurs audiogrammes présentent, pour beaucoup, et dès leur entrée dans la vie professionnelle, un scotome à 6 kHz également caractéristique des pertes induite par une surexposition sonore. Ces pertes sont moins élevées que ce qui pouvait être craint compte-tenu du niveau élevé de leur exposition sonore, en particulier pour ceux pratiquant la musique amplifiée. Néanmoins, ce constat doit être modéré par le fait que d'une part, l'audition de ces professionnels est initialement meilleure que celle de la population générale, et d'autre part, leurs capacités auditives les rendent plus performants lors des audiogrammes. Par rapport à une population industrielle, les pertes et le scotome sont décalés d'environ une demi-octave vers les hautes fréquences. Les suivis longitudinaux de population de musiciens montrent curieusement une évolution du déficit auditif moins rapide que pour la population générale. Mais cela s'explique en partie par le fait que les musiciens étudiés les plus touchés par les pertes auditives ont dû arrêter leur activité et sortent donc des analyses statistiques (biais du survivant). Enfin, si le déficit auditif moyen est moins élevé que ne le laisse supposer l'exposition sonore, une partie des musiciens d'orchestre symphonique ainsi que la quasi-totalité de ceux pratiquant la musique amplifiée présentent des pertes auditives avérées. Ces pertes peuvent être sévères et conduire à une surdité. Enfin, certaines études montrent la présence de déficits importants chez les autres travailleurs de ce secteur d'activité (notamment les DJs). Une surveillance médicale individuelle de l'audition est donc impérative pour tous ces professionnels et elle doit s'attacher à mesurer l'audition dans une gamme de fréquences situées entre 2 et 8 kHz. Il est impératif de réaliser des audiométries à 6 kHz. Les atteintes auditives des professionnels du secteur de la musique et du spectacle ne se limitent pas au déficit auditif. Ces professionnels peuvent notamment souffrir d'acouphènes et d'hyperacousie.   partir des années 2000, la plupart des auteurs ont utilisé des questionnaires pour identifier ces troubles. En plus de la forte g ne sociale ressentie, ces troubles sont particulièrement handicapants pour l'exercice professionnel des musiciens et des personnes en charge de la gestion sonore des spectacles, concerts et représentations (ingénieurs et régisseurs son). Même si, selon la gravité de ces troubles auditifs, certains professionnels parviennent à poursuivre leur activité, les acouphènes, l'hyperacousie et les distorsions auditives peuvent les conduire à arrêter leur pratique professionnelle précocement. Selon la littérature, tous ces troubles auditifs devraient être considérés comme des atteintes professionnelles du système auditif ; et pas seulement le déficit auditif permanent.

Pour finir, beaucoup d'auteurs déplorent une très faible mobilisation des professionnels du secteur de la musique et du spectacle sur ce problème de l'exposition sonore. Très peu de professionnels, y-compris chez les managers, connaissent et appliquent la réglementation et ont conscience du risque auditif. Deux conséquences directes de cette faible mobilisation sont l'absence de mise en œuvre des solutions simples qui permettraient de limiter à court terme le risque – la plus flagrante étant la limitation du niveau sonore dans les discothèques alors que la clientèle elle-même le juge trop élevé à partir de 100 dB(A) – et le fait que les contraintes réglementaires de protection du public sont perçues négativement alors qu'elles sont manifestement largement insuffisantes pour protéger les professionnels – 102 dB(A) sur 15 min équivalent à 87 dB(A) sur 8 h, soit la VLE du code du travail. Pourtant tous ces professionnels mettent en péril leur carrière en ne protégeant pas leur audition. La liste des musiciens devenus sourds en pratiquant la musique amplifiée est longue et nombre d'entre eux mettent désormais en garde la jeune génération. Les musiciens d'orchestres symphoniques ne sont pas non plus à l'abri, de même que leurs employeurs. Par exemple, Le Royal Opéra House de Londres a été condamné à indemniser un altiste souffrant de troubles auditifs et ce dernier a dû arrêter

sa carrière. Quant aux personnels autres que les musiciens, il est impératif qu'ils bénéficient au minimum d'une formation sur le risque bruit, d'un suivi médical renforcé, de la connaissance des cartes de bruit, d'un accès à des zones calmes et d'une protection auditive adaptée. En effet, ce que montre aussi cette étude bibliographique, c'est que les solutions pour réduire, voire supprimer, le risque auditif sont nombreuses et souvent simples : jouer moins fort, adapter la taille des scènes et des salles, ajuster la qualité et la réverbération des salles par un traitement acoustique, utiliser des protections auditives ou des retours adaptés de son qui intégreraient les technologies récentes, sensibiliser les différents acteurs, répartir les musiciens ou la sonorisation. La liste des actions possibles et aisées à mettre en œuvre est longue mais les exemples d'application sont malheureusement trop rares.

6 Références

- [1] Thiery L., « Estimation du risque auditif attribuable à la musique pour les professionnels du monde du spectacle. » INRS, 2004.
- [2] ISO 1999, « Acoustique -- Détermination de l'exposition au bruit en milieu professionnel et estimation du dommage auditif induit par le bruit ». ISO, oct-2013.
- [3] D. Henderson et R. P. Hamernik, « Impulse noise: critical review », *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 80, n° 2, p. 569-584, août 1986.
- [4] D. Baguley, D. McFerran, et D. Hall, « Tinnitus », *The Lancet*, vol. 382, n° 9904, p. 1600-1607, nov. 2013.
- [5] B. Langguth, P. M. Kreuzer, T. Kleinjung, et D. De Ridder, « Tinnitus: causes and clinical management », *The Lancet Neurology*, vol. 12, n° 9, p. 920-930, sept. 2013.
- [6] D. N. Halevi-Katz, E. Yaakobi, et H. Putter-Katz, « Exposure to music and noise-induced hearing loss (NIHL) among professional pop/rock/jazz musicians », *Noise and Health*, vol. 17, n° 76, p. 158, 2015.
- [7] J. Shargorodsky, G. C. Curhan, et W. R. Farwell, « Prevalence and Characteristics of Tinnitus among US Adults », *The American Journal of Medicine*, vol. 123, n° 8, p. 711-718, août 2010.
- [8] B. I. Nageris, J. Attias, et E. Raveh, « Test-retest tinnitus characteristics in patients with noise-induced hearing loss », *American Journal of Otolaryngology*, vol. 31, n° 3, p. 181-184, mai 2010.
- [9] R. Mrena, S. Savolainen, J. T. Kuokkanen, et J. Ylikoski, « Characteristics of Tinnitus Induced by Acute Acoustic Trauma: A Long-Term Follow-Up », *Audiology and Neuro-Otology*, vol. 7, n° 2, p. 122-130, 2002.
- [10] A. Axelsson et A. Ringdahl, « Tinnitus—a study of its prevalence and characteristics », *British Journal of Audiology*, vol. 23, n° 1, p. 53-62, janv. 1989.
- [11] M. Ralli *et al.*, « Work-Related Noise Exposure in a Cohort of Patients with Chronic Tinnitus: Analysis of Demographic and Audiological Characteristics », *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 14, n° 9, p. 1035, sept. 2017.
- [12] H. Aazh, D. McFerran, R. Salvi, D. Prasher, M. Jastreboff, et P. Jastreboff, « Insights from the first international conference on hyperacusis: Causes, evaluation, diagnosis and treatment », *Noise and Health*, vol. 16, n° 69, p. 123, 2014.
- [13] J. Sheldrake, P. U. Diehl, et R. Schaette, « Audiometric Characteristics of Hyperacusis Patients », *Frontiers in Neurology*, vol. 6, mai 2015.
- [14] D. Colin, C. Micheyl, A. Girod, E. Truy, et S. Gallégo, « Binaural Diplacusis and Its Relationship with Hearing-Threshold Asymmetry », *PLOS ONE*, vol. 11, n° 8, p. e0159975, août 2016.
- [15] N. H. van Schijndel, T. Houtgast, et J. M. Festen, « Effects of degradation of intensity, time, or frequency content on speech intelligibility for normal-hearing and hearing-impaired listeners », *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 110, n° 1, p. 529-542, juill. 2001.

- [16] A. Godal, « Musiques amplifiées et gestion du risque auditif », *Echo Bruit*, n° 116, mars 2017.
- [17] A. Axelsson et F. LINDGREN, « Hearing in classical musicians », *Acta Otolaryngol*, vol. supplement 337, p. 3-74, 1981.
- [18] E. Jansson et K. Karlsson, « Sound Levels Recorded Within the Symphony Orchestra and Risk Criteria for Hearing Loss », *Scandinavian Audiology*, vol. 12, n° 1, p. 215-221, janv. 1983.
- [19] G. A. Westmore et I. D. Eversden, « Noise-Induced Hearing Loss and Orchestral Musicians », *Archives of Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, vol. 107, n° 4, p. 761-764, déc. 1981.
- [20] J. D. Royster, L. H. Royster, et M. C. Killion, « Sound exposures and hearing thresholds of symphony orchestra musicians », *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 89, n° 11, p. 2793-2803, juin 1991.
- [21] R. W. Fearn, « Hearing Loss in Musicians », *Journal of Sound and Vibration*, vol. 163, n° 12, p. 372-378, mai 1993.
- [22] I. J. Sablesky et R. E. Korczynski, « Noise Exposure of Symphony Orchestra Musicians », *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 10, n° 14, p. 131-135, févr. 1995.
- [23] H. M. Laitinen, E. M. Toppila, P. S. Olkinuora, et K. Kuisma, « Sound Exposure Among the Finnish National Opera Personnel », *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 18, n° 3, p. 177-182, mars 2003.
- [24] J. Lee, A. Behar, H. Kunov, et W. Wong, « Musicians' noise exposure in orchestra pit », *Applied Acoustics*, vol. 66, n° 8, p. 919-931, août 2005.
- [25] E. Emmerich, L. Rudel, et F. Richter, « Is the audiologic status of professional musicians a reflection of the noise exposure in classical orchestral music? », *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, vol. 265, n° 7, p. 753-758, juill. 2008.
- [26] I. O'Brien, W. Wilson, et A. Bradley, « Nature of orchestral noise », *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 124, n° 2, p. 926-939, août 2008.
- [27] M. Pawlaczyk-Łuszczynska, A. Dudarewicz, M. Zamojska, et M. Śliwińska-Kowalska, « Hearing Ability in Orchestral Musicians », *Archives of Acoustics*, vol. 35, n° 4, janv. 2010.
- [28] J. H. Schmidt, E. Raben Pedersen, P. Møller Juhl, J. Christensen-Dalsgaard, T. D. Andersen, et T. Poulsen, « Sound Exposure of Symphony Orchestra Musicians », *The Annals of Occupational Hygiene*, août 2011.
- [29] I. O'Brien, T. Driscoll, et B. Ackermann, « Sound exposure of professional orchestral musicians during solitary practice », *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 134, n° 4, p. 2748-2754, oct. 2013.
- [30] A. Spoor, « Presbycusis Values in Relation to Noise Induced Hearing Loss », *International Audiology*, vol. 6, n° 3, p. 48-57, janv. 1967.
- [31] K. Karlsson, P. G. Lundquist, et T. Olausson, « The Hearing of Symphony Orchestra Musicians », *Scandinavian Audiology*, vol. 12, n° 5, p. 257-264, janv. 1983.
- [32] A. Spoor et W. Passchier-Vermeer, « Spread in Hearing-Levels of Non-Noise Exposed People at Various Ages », *International Audiology*, vol. 8, n° 6, p. 328-336, janv. 1969.
- [33] NF EN ISO 7029, « Acoustique - Distribution statistique des seuils d'audition en fonction de l'âge et du sexe ». ISO, avr-2017.
- [34] D. W. Johnson, R. E. Sherman, J. Aldridge, et A. Lorraine, « Extended High Frequency Hearing Sensitivity a Normative Threshold Study in Musicians », *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, vol. 95, n° 2, p. 196-202, mars 1986.
- [35] R. W. Fearn et D. R. Hanson, « Hearing levels of student and professional musicians », *Journal of Sound and Vibration*, vol. 133, n° 1, p. 173-176, août 1989.
- [36] B. Ostri, N. Eller, E. Dahlin, et G. Skylyv, « Hearing Impairment in Orchestral Musicians », *Scandinavian Audiology*, vol. 18, n° 10, p. 243-249, janv. 1989.

- [37] Richoux C., Loth D., et Teyssou M., « Conséquences auditives de l'exposition sonore de musiciens d'orchestres de musique classique », *Document pour le Médecin du Travail*, vol. 129, p. 351-357, janv. 1998.
- [38] K. R. Kähäri, A. Axelsson, P.-A. Hellström, et G. Zachau, « Hearing development in classical orchestral musicians. A follow-up study », *Scandinavian Audiology*, vol. 30, n° 3, p. 141-149, janv. 2001.
- [39] C. Liang *et al.*, « Musicians Are Better than Non-musicians in Frequency Change Detection: Behavioral and Electrophysiological Evidence », *Frontiers in Neuroscience*, vol. 10, oct. 2016.
- [40] S. Dance et B. Dymock, « Sound exposure and hearing of musicians ». Euronoise 2015 Conference Paper, juin-2015.
- [41] E. J. M. Jansen, H. W. Helleman, W. A. Dreschler, et J. A. P. M. de Laat, « Noise induced hearing loss and other hearing complaints among musicians of symphony orchestras », *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 82, n° 2, p. 153-164, janv. 2009.
- [42] F. A. Russo, A. Behar, M. Chasin, et S. Mosher, « Noise exposure and hearing loss in classical orchestra musicians », *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 43, n° 6, p. 474-478, nov. 2013.
- [43] M. Pawlaczyk-Łuszczynska, M. Zamojska, A. Dudarewicz, et K. Zaborowski, « Noise-Induced Hearing Loss in Professional Orchestral Musicians », *Archives of Acoustics*, vol. 38, n° 2, p. 223-234, juin 2013.
- [44] J. H. Schmidt *et al.*, « Hearing Loss in Relation to Sound Exposure of Professional Symphony Orchestra Musicians »:, *Ear and Hearing*, vol. 35, n° 4, p. 448-460, 2014.
- [45] A. Behar, Marshall Chasin, Steve Mosher, Mohammad Abdoli-Eramaki, et Frank A. Russo, « Noise Exposure and Hearing Loss in Classical Orchestra Musicians: A Five-Year Follow-Up », *Noise Health*, vol. 20, n° 93, p. 42-46, avr. 2018.
- [46] A. Di Stadio *et al.*, « Hearing Loss, Tinnitus, Hyperacusis, and Diplacusis in Professional Musicians: A Systematic Review », *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 15, n° 10, p. 2120, sept. 2018.
- [47] T. Venet, « Rapport d'intervention Evaluation de l'exposition sonore et de la fatigue auditive », INRS, France, CR N°2018/001/TB/ONE, 2018.
- [48] K. Kähäri, G. Zachau, M. Eklöf, L. Sandsjö, et C. Möller, « Assessment of hearing and hearing disorders in rock/jazz musicians: Evaluación de la audición y de los problemas auditivos en músicos de rock y jazz », *International Journal of Audiology*, vol. 42, n° 5, p. 279-288, janv. 2003.
- [49] A. Axelsson, A. Eliasson, et B. Israelsson, « Hearing in pop/rock musicians: a follow-up study », *Ear Hear*, vol. 16, n° 3, p. 245-253, juin 1995.
- [50] R. B. Amorim, A. C. Lopes, K. T. Pinheiro dos Santos, A. D. Passarelli Melo, et J. R. Pereira Lauris, « Auditory Alterations for Occupational Exposition in Musicians », *Intl. Arch. Otorhinolaryngol*, vol. 12, n° 3, p. 377-383, 2008.
- [51] Samelli Alessandra G. *et al.*, « Audiological and electrophysiological assessment of professional pop/rock musicians », *NOISE & HEALTH*, vol. 14, n° 56, p. 6-12, 2012.
- [52] G. Pouryaghoub, R. Mehrdad, et S. Pourhosein, « Noise-Induced hearing loss among professional musicians », *Journal of Occupational Health*, vol. 59, n° 1, p. 33-37, 2017.
- [53] A. Axelsson et F. Lindgren, « Factors Increasing the Risk for Hearing Loss in 'POP' Musicians », *Scandinavian Audiology*, vol. 6, n° 3, p. 127-131, janv. 1977.
- [54] C. Barlow et F. Castilla-Sanchez, « Occupational noise exposure and regulatory adherence in music venues in the United Kingdom », *Noise and Health*, vol. 14, n° 57, p. 86, 2012.
- [55] J.-Y. Pidoux, D. Morigi, et O. Moeschler, *Les figures complexes de l'intermittence et de l'intégration: formation et emploi dans les professions artistiques du spectacle*. Bern: NFPNR, 2004.

- [56] R. W. Fearn, « Level measurements of music », *Journal of Sound and Vibration*, vol. 43, n° 3, p. 588-591, déc. 1975.
- [57] M. Helena Mendes, T. Catalani Morata, et J. Mendes Marques, « Acceptance of hearing protection aids in members of an instrumental and voice music band », *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, vol. 73, n° 6, p. 785-792, nov. 2007.
- [58] D. McIlvaine, M. Stewart, et R. Anderson, « Noise exposure levels for musicians during rehearsal and performance times », *Med Probl Perform Art*, vol. 27, n° 1, p. 31-36, mars 2012.
- [59] J. W. Cavanaugh, « Residential neighbors and outdoor concert facilities, are they compatible ? A case study of the Great Woods Center for the Performing Arts », présenté à Congrès Inter-Noise INCE, 1989, vol. 89, p. 767-772.
- [60] M. Rumeau et T. Migot, « Campagne de mesures relative aux de loisirs bruyants », Laboratoire Central de la Préfecture de paris, Paris, 19/93, 1993.
- [61] E. Caruel et R. Pardonnet, « Mesurages de bruit dans une sale de type Zenith ». N-CIMPE INRS, 1995.
- [62] K. Dibble, « Low Frequency Noise Propagation from Modern Music Making », *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, vol. 16, n° 1, p. 1-12, mars 1997.
- [63] A. Axelsson et F. Lindgren, « Pop music and hearing », *Ear Hear*, vol. 2, n° 2, p. 64-69, avr. 1981.
- [64] A. Axelsson et F. Lindgren, « Does Pop Music Cause Hearing Damage? », *Audiology*, vol. 16, n° 5, p. 432-437, 1977.
- [65] A. B. Drake-Lee, « Beyond music: auditory temporary threshold shift in rock musicians after a heavy metal concert », *J R Soc Med*, vol. 85, n° 10, p. 617-619, oct. 1992.
- [66] J. Syka, « Plastic Changes in the Central Auditory System After Hearing Loss, Restoration of Function, and During Learning », *Physiological Reviews*, vol. 82, n° 3, p. 601-636, janv. 2002.
- [67] W. H. A. M. Mulders et D. Robertson, « Development of hyperactivity after acoustic trauma in the guinea pig inferior colliculus », *Hear. Res.*, vol. 298, p. 104-108, avr. 2013.
- [68] J. A. Kaltenbach et J. Zhang, « Intense sound-induced plasticity in the dorsal cochlear nucleus of rats: Evidence for cholinergic receptor upregulation », *Hearing Research*, vol. 226, n° 1-2, p. 232-243, avr. 2007.
- [69] C. L. Størmer, E. Laukli, E. Høydal, et N. Stenklev, « Hearing loss and tinnitus in rock musicians: A Norwegian survey », *Noise and Health*, vol. 17, n° 79, p. 411, 2015.
- [70] L. T. Lee, « A study of the noise hazard to employees in local discotheques », *Singapore Med J*, vol. 40, n° 9, p. 571-574, sept. 1999.
- [71] T. Tah-Chew et W. C. Keung, « Noise surveys of hand-held pneumatic rock drills in Hong Kong », *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 19, n° 1-3, p. 519-523, 1991.
- [72] C. Fleming, « Assessment of noise exposure level of bar staff in discothèques », *Applied Acoustics*, vol. 49, n° 1, p. 85-94, sept. 1996.
- [73] E. Gunderson, J. Moline, et P. Catalano, « Risks of developing noise-induced hearing loss in employees of urban music clubs », *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 31, n° 1, p. 75-79, janv. 1997.
- [74] L. L. Tin et O. P. Lim, « A Study on the Effects of Discotheque Noise on the Hearing of Young Patrons », *Asia Pacific Journal of Public Health*, vol. 12, n° 1, p. 37-40, janv. 2000.
- [75] S. Sadhra, C. A. Jackson, T. Ryder, et M. J. Brown, « Noise exposure and hearing loss among student employees working in university entertainment venues », *Ann Occup Hyg*, vol. 46, n° 5, p. 455-463, juill. 2002.
- [76] A. Bray, M. Szymański, et R. Mills, « Noise induced hearing loss in dance music disc jockeys and an examination of sound levels in nightclubs », *The Journal of Laryngology & Otology*, vol. 118, n° 2, p. 123-128, févr. 2004.

- [77] L. Santos, T. C. Morata, L. C. Jacob, E. Albizu, J. M. Marques, et M. Paini, « Music exposure and audiological findings in Brazilian disc jockeys (DJs): Exposición a la música y hallazgos audiológicos en Disc Jockeys (DJs) Brasileños », *International Journal of Audiology*, vol. 46, n° 5, p. 223-231, janv. 2007.
- [78] Jingnan Guo et P. Gunn, « Noise and noise exposure in Western Australia entertainment venues », p. 69-78, 01-févr-2007.
- [79] L. S. Goggin *et al.*, « Noise Levels, Hearing Disturbances, and Use of Hearing Protection at Entertainment Venues », *Australian and New Zealand Journal of Audiology*, vol. 30, n° 1, p. 50-58, mai 2008.
- [80] A. C. Kelly, S. M. Boyd, et G. T. Henehan, « Perceived barriers to hearing protection use by employees in amplified music venues, a focus group study », *Health Education Journal*, vol. 74, n° 4, p. 458-472, juill. 2015.
- [81] T. Venet, P. Campo, C. Rumeau, A. Thomas, et C. Parietti-Winkler, « One-day measurement to assess the auditory risks encountered by noise-exposed workers », *Int J Audiol*, vol. 53, n° 10, p. 737-744, oct. 2014.
- [82] Rebecca L. W. Henning et K. Bobholz, « Distortion product otoacoustic emissions in college music majors and nonmusic majors », *Noise and Health*, vol. 18, n° 80, p. 10, 2016.
- [83] A. Di Stadio, « Which factors to induce hearing loss in professional musicians? Extensive literature review and histopathology findings can answer it », *Hearing, Balance and Communication*, vol. 15, n° 2, p. 63-71, avr. 2017.
- [84] C. Meyer-Bisch, « Epidemiological Evaluation of Hearing Damage Related to Strongly Amplified Music (Personal Cassette Players, Discotheques, Rock Concerts) -High-definition Audiometric Survey on 1364 Subjects », *Audiology*, vol. 35, n° 3, p. 121-142, 1996.
- [85] J. L. Puel, « Chemical synaptic transmission in the cochlea », *Prog. Neurobiol.*, vol. 47, n° 6, p. 449-476, déc. 1995.
- [86] W. Jäger, M. Gojny, M. Herrera-Marschitz, L. Brundin, A. Fransson, et B. Canlon, « Noise-induced aspartate and glutamate efflux in the guinea pig cochlea and hearing loss », *Exp Brain Res*, vol. 134, n° 4, p. 426-434, oct. 2000.
- [87] G. Gerra *et al.*, « Neuroendocrine responses of healthy volunteers to “techno-music”: relationships with personality traits and emotional state », *Int J Psychophysiol*, vol. 28, n° 1, p. 99-111, janv. 1998.
- [88] S. Evers et B. Suhr, « Changes of the neurotransmitter serotonin but not of hormones during short time music perception », *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci*, vol. 250, n° 3, p. 144-147, 2000.
- [89] S. Khalfa, T. Morlet, C. Micheyl, A. Morgon, et L. Collet, « Evidence of peripheral hearing asymmetry in humans: clinical implications », *Acta Otolaryngol.*, vol. 117, n° 2, p. 192-196, mars 1997.
- [90] T. Nivelet, « Aide-mémoire juridique. Le bruit en milieu de travail ». INRS, avr-2019.
- [91] INRS, « Fiche Focus : Bruit au travail. Les obligations de l’employeur ». INRS, mai-2019.
- [92] PARLEMENT ET CONSEIL EUROPÉEN, *DIRECTIVE 2003/10/CE concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l’exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (bruit)*. 2003.
- [93] Commission Européenne, « Guide de bonnes pratiques à caractère non contraignant pour la mise en oeuvre de la directive 2003/10/CE “Bruit sur le lieu de travail” ». déc-2007.
- [94] Great Britain, Éd., *Sound advice: control of noise at work in music and entertainment*. London: Health and Safety Executive, 2008.
- [95] Government of Western Australia, « Code of practice - Control of noise in the music entertainment industry ». 21-mai-2014.

[96] NIOSH, « Reducing the Risk of Hearing Disorders among Musicians ». DHHS (NIOSH), 2015.

[97] G. Viallet, F. Sgard, F. Laville, et H. Nélisse, « Investigation of the variability in earplugs sound attenuation measurements using a finite element model », *Applied Acoustics*, vol. 89, p. 333-344, mars 2015.

[98] J. Patel, « Musicians' hearing protection: A review ». HSE, 2008.

ANNEXE 1 : tableau récapitulatif des principaux résultats des études sur les pertes auditives des musiciens d'orchestres symphoniques

Auteurs	Nbre. sujets	Age moyen	Critère NIPTS	Constat des auteurs	Commentaires
Axelsson et Lindgren[17] 1991	139	45	Comparaison avec Spoor	NIPTS modérées (moyenne 3-4-6-8kHz > 20dB) chez 42 % des musiciens Instrumentistes les plus touchés sont les bois et les cuivres puis les cordes	Aucune femme ne présente de NIPTS (17/139)
Westmore et Eversden [19] 1981	34	44	Pas de mesures à 3 et 6 kHz, pas de correction de la presbyacousie		
Karlsson et al. [31] 1983	392	40	Comparaison avec Spoor	Pas de NIPTS	Après ré-analyse par rapport à l'ISO 7029 :2017, écart de 5 dB en moyenne sur les fréquences 3 à 6 kHz
Johnson et al. [34] 1986	60	43	Comparaison avec une population témoin (30 pers.) et avec Spoor	Pas de NIPTS	Après ré-analyse, l'écart moyen aux fréquences 3 à 8 kHz est de 4 dB pour les 30 non musiciens et de 6 dB pour les données de Spoor (écart montant à 10 dB à 6 kHz)
Fearn et Hanson [35] 1989	23	34	Comparaison avec une population témoin (62 pers.)	Pas de NIPTS	Critère = 15 dB d'écart aux fréquences 3 kHz et 4 kHz et de 20 dB à 6 kHz très restrictif, population faible et jeune et population témoin faible d'où l'absence de NIPTS
Ostri et al. [36] 1989	95	44	Comparaison avec l'ISO 7029 : 1984	NIPTS chez 50 % des hommes et 13 % des femmes	Critère = 20 dB d'écart à une seule fréquence très large d'où les 50 % de personnes atteintes. Population avec pertes dès 20-29 ans
Royster et al. [20] 1991	59	52	Comparaison avec une population de référence (NINEP)	Pas de NIPTS mais encoches à 4 et 6 kHz, différences significatives entre l'oreille	Après ré-analyse par rapport à l'ISO 7029 :2017, NIPTS de 5 dB à 15 dB de 2 à 6 kHz

			et avec l'ISO 7029 :1984	gauche et l'oreille droite chez les violonistes et violons alto	
Fearn [21] 1993	64	Non précisé	Non précisé	NIPTS chez 30 % des musiciens classiques Instrumentistes les plus touchés sont les percussionnistes, les cuivres et les bois	Critère très sévère (dépassement de 15 dB HL du seuil normal d'audition à 3 ou 4 kHz ou de 20 dB à 6 kHz sur au moins une oreille, sans dépassement à 2 kHz)
Richoux et al. [37] 1998	95	42	Comparaison avec Burns et Robinson	70 % des pertes à 3, 4 et 6 kHz s'expliquent par la presbyacousie, 30 % sont attribuables à des NIPTS	Harmonie et percussions les plus touchées. 11 % des musiciens déclarent souffrir d'acouphènes
Kähäri et al. [38] 2001	56	49	Suivi longitudinal sur 15 ans	Aggravation inférieure aux prévisions de l'EN 7029	Pertes des 56 musiciens toujours supérieures aux prévisions de l'EN 7029 :2017 à 3, 4 et 6 kHz
Emmerich et al. [25] 2008	56	43	Comparaison par tranche d'âge	Pertes auditives dans la zone 2-6 kHz et OAE en baisse avec l'âge	Pertes légères dans les tranches d'âge 30-39 et 40-49 ans mais pas dans la tranche d'âge 50-59 ans. Les trois musiciens de plus de 60 ans inclus dans l'étude présentent des pertes significatives (25 à 35 dB en moyenne sur les fréquences 2 kHz à 6 kHz)
Jansen et al. [41] 2009	241	44	Comparaison avec l'ISO 7029 :2000	Les musiciens ont en moyenne et pour tous les percentiles sauf celui à 90 % une meilleure audition que celle de la population moyenne sauf à 6 kHz. Les bois et les cuivres présentent cependant des résultats significativement moins bons (en termes de pertes et d'OAE)	18 % des musiciens présentent une diplacousie et 17 % disent souffrir d'acouphènes
Pawlacsyk-Luszczynska et al. [27]	57	44	Critères de l'OMS (WHO critère)	6 % des musiciens ont des pertes légères pouvant nécessiter un appareillage. En général, une encoche à 6 kHz est constatée.	17 % des musiciens se plaignent d'acouphènes mais 89 % estiment ne pas avoir de problèmes d'audition

2010					
Russo et al. [42] 2013	44	50	Comparaison par groupe d'instrument	Les cuivres et les percussions ont des pertes à partir de 2 kHz significativement plus élevées que les autres	Pertes aussi significativement supérieures aux prévisions de l'ISO 7029 :2017 En général, une encoche à 6 kHz est constatée.
Pawlaczyk-Luszczynska et al.[43] 2013	126	43	Critères de l'OMS (WHO critère)	35 % des audiogrammes présentent une encoche à 4 kHz et/ou 6 kHz (60 % pour les oreilles gauches) Auditions normales au sens de l'OMS sauf quelques exceptions	
Schmidt et al. [44] 2014	212	Non précisé	Comparaison par groupes après correction avec l'ISO 7029:2000 de la presbycousie	Les musiciens ont plutôt une meilleure audition que la population moyenne. Les premiers violons et les trompettistes montrent une différence significative avec les autres, pour des NIPTS modérées entre 3 kHz et 6 kHz (~6 dB)	Différence significative entre les oreilles gauche et droite pour les premiers violons
Dance et Dymock [40] 2015	2500	< 30 ans	Seuils d'audition par instrument	Nette encoche à 6 kHz en moyenne. Encoche à 4 kHz pour les organistes, les compositeurs et les trompettes	En-dessous de 3 kHz les musiciens ont des seuils audiométriques supérieurs à ceux de la population moyenne
Behar et al. [45] 2018	46	Non précisé	Suivi longitudinal sur 5 ans	Aggravation inférieure aux prévisions de l'EN 7029	La moyenne des seuils d'audition des musiciens reste significativement supérieure à celle d'une population non-exposée (de 4 dB à 2 kHz jusqu'à 12 dB à 6 kHz).

ANNEXE 2 : tableau récapitulatif des principaux résultats des études sur les troubles auditifs des MA et TA

Eude	Sujets inclus	n	Age	Exp	DH	Mode d'investigation	Critères du déficit auditif	Déficit identifié	scotome
Axelsson 1977 Suède [53], [64]	Musiciens (pop) + techniciens	83	26,5 (17 à 42)	9,3	18,3	ATL (PTS)	Seuil > 20 dB HL entre 3 et 8 kHz pour 2 fréquences sur 1 oreille ou 1 fréquence pour 2 oreilles	33 %	6 kHz
	Musiciens (pop) + techniciens	83				ATL (PTS et TTS)	Seuil moyen 3, 4, 6, 8 kHz > 20 dB HL	13 %	6 kHz
Drake 1992 Angleterre [58]	Groupe de rock métal	5	25 à 37	5 à 17	n.d.	ATL (PTS et TTS)	n.d.	TTS 5 à 16 dB selon fréquences	6 kHz
Fearn 1993 Angleterre [21]	Musiciens (jeunes étudiants + et expérimentés)	220 30	16 à 30 > 30	n.d.	12 à 37 n.d.	ATL (PTS)	Seuil relatif à 2 kHz ≥ 15 dB (3 et 4 kHz) ou 20 dB (6 kHz)	Etudiants 50 % Expérimentés 78 %	6 kHz
Axelsson 1995 Suède [49]	Musiciens (rock)	53	41,2	26,6	20 à 25	ATL (PTS)	Seuil moyen 3, 4, 6 et 8 KHz > 25 dB HL	22 %	4 kHz
Kähäri 2003 Suède [48]	Musiciens (rock & jazz)	139	36 (26 à 51)	19 (5 à 40)	20	ATL (PTS) + questionnaire	Seuil à 2 fréquences ≥25 dB HL pour une oreille ou 1 fréquence ≥30 dB HL pour au moins une oreille (ou tout autre trouble*)	Perte 49 % Tous troubles confondus 74 %	4 & 6 kHz
Mendes 2007 Brésil [57]	Musiciens (amplifié & acoustique)	23	40	n.d.	n.d.	ATL (PTS) + Questionnaire	Seuil > 25 dB HL	52 %	4-6 kHz
Amorim 2008 Brésil [50]	Musiciens	30	25 (18 à 37)	9 (±3,8)	23,5	ATL HF (PTS) + Audio vocale + TEOAE + DPOAE + Questionnaire	Seuil ≥ 25 dB HL	ATL 30 % ; TOAE 25 % ; DPOAE 15 à 25 %	n.d.
Samelli 2012 Brésil [51]	Musiciens (rock)	32	27,1 (21 à 41)	16,3	23,1	ATL HF (PTS) + TOAE + ABR + Cognitive Potential	Comparaison à un groupe contrôle	Hautes fréquences uniquement (>10 kHz)	N.d.
Halevi-Katz 2015 Israël [6]	Musiciens (pop/rock/jazz)	44	37,5 (±9,7)	22,7 (±10,4)	23,9	ATL (PTS) + questionnaire	Comparaison moyenne 3,4 et 6 kHz à une courbe normale	oui	6 kHz

						(OSHA age gender correction table)		
Størmer 2015 Norvège [69]	Musiciens (rock) 111	30	1 à >5	2 à >10	ATL (PTS) + questionnaire	Seuil à 2 fréquences ≥ 25 dB HL pour une oreille ou 1 fréquence ≥30 dB HL pour au moins une oreille	38 %	6 kHz
Pouryaghoub 2017 Iran [52]	Musiciens (amplifié & acoustique) 125	35,9 (±9,1)	12,4 (±7)	15,8 (±4)	ATL (PTS) + questionnaire	Scotome = 10 dB de perte par rapport aux fréquences adjacentes	Scotome 42 %	n.d.
Venet 2018 France [47]	Régis son lumière plateau (rock / folk). Jeunes étudiants 6	22 (19 à 25)	1	n.d.	ATL	Temporaire : Variation de seuil > 5 dB HL Permanent : Seuil à 2 fréquences ≥ 25 dB HL pour une oreille ou 1 fréquence ≥ 30 dB HL pour au moins une oreille	Temporaire 50 % Permanent 0 %	n.d.

Age en année (étendue ou ± Sd); Exp : expérience en années ; DH : durée hebdomadaire d'exposition à de la musique ; ATL : audiométrie tonale liminaires ; PTS : déficit audit permanent ; TTS : déficit auditif temporaire ; TOAE : otoémission acoustique transitoire ; DPOAE : produit de distorsion acoustique ; ABR : potentiel auditif évoqué. n.d. : non documenté dans les publications