



Effets des principes d'égalité d'énergie et d'égalité nocivité sur les résultats de mesure de l'exposition des travailleurs au bruit

AVIS SCIENTIFIQUE

AUTEURS

Richard Martin, M.A., conseiller scientifique
Pauline Fortier, M.O.A., conseillère scientifique
Direction des risques biologiques et de la santé au travail

COLLABORATEUR

Georges Adib, M. Sc., conseiller scientifique
Direction des risques biologiques et de la santé au travail

SOUS LA COORDINATION DE

Marie-Pascale Sassine, M. Sc., chef d'unité scientifique en santé au travail
Direction des risques biologiques et de la santé au travail

RÉVISION

Pierre Deshaies, M.D., M. Sc., FRCPC, médecin spécialiste en santé publique et médecine préventive et médecin-conseil
Direction des risques biologiques et de la santé au travail

Chantal Laroche, Ph. D., professeur titulaire
École des Sciences de la réadaptation, Faculté des Sciences de la santé, Université d'Ottawa

MISE EN PAGE

Marie-Cécile Gladel, agente administrative
Direction des risques biologiques et de la santé au travail

REMERCIEMENTS

Des remerciements sont adressés aux personnes suivantes qui ont eu l'occasion de commenter les diverses versions de cet avis au cours des travaux qui ont mené à sa publication.

Il s'agit notamment de : Émilie Côté, infirmière au Centre intégré de santé et de services sociaux (CISSS) de la Montérégie-Centre, Équipe locale Richelieu-Yamaska (jusqu'en mai 2019), Samuel Fréchette-Marleau, ing., hygiéniste du travail au Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux (CIUSSS) du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal, Nathalie Hudon, chargée de projet au Centre de gestion de projet du Réseau de santé publique en santé au travail (RSPSAT), Claude Huneault, hygiéniste du travail au CIUSSS du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal (jusqu'en juin 2017) et Nabyla Titri, M.D., médecin-conseil et médecin responsable au CISSS de l'Outaouais (jusqu'en novembre 2018) et au CISSS des Laurentides.

DÉCLARATION DES CONFLITS D'INTÉRÊTS

Les auteurs, collaborateur et réviseurs n'ont aucun conflit d'intérêts à déclarer.

Ce document est disponible intégralement en format électronique (PDF) sur le site Web de l'Institut national de santé publique du Québec au : <http://www.inspq.qc.ca>.

Les reproductions à des fins d'étude privée ou de recherche sont autorisées en vertu de l'article 29 de la Loi sur le droit d'auteur. Toute autre utilisation doit faire l'objet d'une autorisation du gouvernement du Québec qui détient les droits exclusifs de propriété intellectuelle sur ce document. Cette autorisation peut être obtenue en formulant une demande au guichet central du Service de la gestion des droits d'auteur des Publications du Québec à l'aide d'un formulaire en ligne accessible à l'adresse suivante : <http://www.droitauteur.gouv.qc.ca/autorisation.php>, ou en écrivant un courriel à : droit.auteur@cspq.gouv.qc.ca.

Les données contenues dans le document peuvent être citées, à condition d'en mentionner la source.

Dépôt légal – 1^{er} trimestre 2022
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
ISBN : 978-2-550-91354-2 (PDF)

© Gouvernement du Québec (2022)

Note préliminaire

Cet avis a été préparé avant la publication du projet de modification des exigences réglementaires sur le bruit au Québec en novembre 2019 concernant le *Règlement sur la santé et la sécurité du travail* (RSST) et le *Code de sécurité pour les travaux de construction* (CSTC). Depuis, ce règlement a été adopté et publié en juin 2021 avec une entrée en vigueur différée au 16 juin 2023.

Les symboles utilisés pour référer à l'indicateur décrivant l'exposition au bruit sont habituellement ceux des études originales citées. Pour les autres situations, cet avis utilise les symboles de la norme CSA Z107.56-13⁽¹⁾ sur la mesure de l'exposition au bruit en milieu de travail, conformément au protocole sur le paramétrage des instruments de mesure du bruit développé par le réseau de santé publique en santé au travail (RSPSAT)⁽²⁾.

Ce protocole, publié en 2013, ne tient évidemment pas compte de la nouvelle édition en français de la norme CSA Z107.56 :18, soit la cinquième, publiée en 2019⁽³⁾. Toutefois, les symboles utilisés dans cet avis en référence à la norme CSA Z107.56-13 sont demeurés les mêmes dans cette nouvelle édition.

Table des matières

Glossaire	III
Liste des sigles et acronymes	V
Résumé	1
Faits saillants	2
Introduction	3
1 Objet de l'avis	3
2 Méthode de recherche documentaire	4
3 L'estimation du risque pour l'audition	4
4 Le principe d'égalité d'énergie	5
4.1 Limites du principe d'égalité d'énergie (Q = 3 dB)	6
4.2 Recommandations de divers organismes en faveur du principe d'égalité d'énergie	7
4.3 Législations qui appliquent le principe d'égalité d'énergie	8
4.4 Avantages reconnus au principe d'égalité d'énergie et à l'utilisation de la norme ISO	8
5 Le principe d'égalité de nocivité (ou d'énergie pondérée)	8
5.1 Intermittence de l'exposition et périodes de récupération de la fatigue auditive selon le principe d'égalité de nocivité (Q = 5 dB)	8
5.2 Limites du principe d'égalité de nocivité (Q = 5 dB)	9
5.3 Q = 3 dB vs Q = 5 dB ...des principes encore remis en cause par des chercheurs	10
6 Le principe d'égalité de nocivité (Q = 5 dB) et la sous-estimation de l'évaluation de l'exposition des travailleurs au bruit	11
6.1 Études qui permettent de comparer l'exposition selon les deux principes	11
6.2 Analyse des écarts de l'évaluation de l'exposition au bruit dans les études selon les deux facteurs de bisection	11
6.3 Influence du facteur de bisection sur le nombre de travailleurs exposés	14
Conclusion	15
Références bibliographiques	16
Annexe A Liste de mots-clés utilisés pour la recherche	22
Annexe B Tableaux	23
Annexe C Figures	27

Glossaire

Bruits impulsionnels	Bruits de courte durée, généralement moins d'une seconde, atteignant un niveau très élevé. Ils sont caractérisés par une élévation brusque et une décroissance rapide du niveau sonore. Le paramètre généralement utilisé pour les mesurer est le niveau de pression acoustique de crête pondéré C ($L_{p,Cpeak}$).
dBA	Décibel pondéré A (voir pondération A).
dB(C)	Décibel pondéré C (voir pondération C).
dBLin	Décibel pondéré linéaire (voir pondération linéaire (Lin)).
Décibel	Unité de mesure du bruit. Plus spécifiquement, le décibel est l'unité de mesure des niveaux de pression acoustique exprimée par la notation dB (sans pondération). Le décibel est égal à 20 fois le logarithme (base 10) du rapport entre la pression acoustique mesurée et la pression acoustique de référence de 20 μ Pa (micropascals), ce qui correspond au seuil approximatif de la sensibilité auditive à 1 000 Hz.
Facteur de bissection (Q)	Ce facteur est utilisé dans la mesure de l'exposition au bruit. Il correspond au nombre de décibels à ajouter, ou à soustraire, au niveau de bruit pour conserver une équivalence de l'exposition lorsque la durée de cette exposition est réduite de moitié, ou doublée. Par exemple, lorsque $Q = 3$ dB, une exposition de 85 dBA pour 8 heures est équivalente à une exposition de 88 dBA pendant 4 heures. La réglementation en milieu de travail utilise deux facteurs de bissection, soit : $Q = 5$ dB et $Q = 3$ dB. Ce dernier est plus largement répandu.
LOSHA ou $L_{Aeq5,8h}$	Exposition quotidienne moyenne résultant d'un calcul de moyenne des niveaux de bruit avec un facteur de bissection $Q = 5$ dB, rapporté à une journée de travail de 8 heures. Lorsque ce résultat réfère à des mesures réalisées au Québec, un seuil d'intégration de 85 dBA est aussi utilisé conformément aux dispositions toujours en vigueur dans le Règlement sur la santé et la sécurité du travail et qui prévaudront jusqu'au 16 juin 2023.
$L_{eq,t}$	Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A mesuré sur une période de temps donné. Il est identique au niveau de pression acoustique du bruit constant, ayant la même énergie acoustique pondérée A totale pour la même période de temps. Il correspond à des mesures qui ont intégré tous les types de bruit présents, y compris les bruits impulsionnels. Note : le $L_{eq,t}$ est équivalent au $L_{Aeq,T}$.
$L_{eq,RSST}$	Symbole pour l'exposition quotidienne moyenne avec un facteur de bissection $Q = 5$ dB, conformément aux dispositions toujours en vigueur dans le RSST et qui prévaudront jusqu'au 16 juin 2023. Ce symbole est utilisé depuis 2013 par le RSPSAT ⁽²⁾ . Voir LOSHA ou $L_{Aeq5,8h}$.
$L_{ex, 8 h}$	Niveau d'exposition quotidienne au bruit, soit le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A, rapporté à une journée de travail de huit heures. Note : le $L_{ex,8h}$ est équivalent au $L_{EX,8h}$, $L_{Aeq,8h}$ et au $L_{Aeq3,8h}$.
$L_{p,Cpeak}$	Niveau de pression acoustique de crête mesuré avec la pondération C (voir pondération C).
L_{peak}	Niveau de pression acoustique de crête mesuré avec une pondération donnée : A, C ou Lin (voir tableau B-2).

Pondération A	La pondération A correspond à la sensibilité de l'oreille humaine, variable selon les fréquences, pour des sons d'amplitude relativement faible ⁽¹⁾ . Elle réduit l'importance des fréquences extrêmes, en particulier les basses fréquences sous 200 Hz, et augmente celle des fréquences voisines de 2 500 Hz. La pondération A doit être utilisée pour toutes les mesures nécessaires pour évaluer le $L_{EX,8h}$ ou $L_{ex,8h}$. Le dBA ou décibel pondéré A sert à exprimer un résultat de mesure de bruit avec la pondération A.
Pondération C	La pondération C tient compte de la sensibilité de l'oreille humaine, variable selon les fréquences, pour des sons d'amplitude relativement élevée ⁽¹⁾ (bruits impulsionnels). Elle réduit l'importance des fréquences égales ou inférieures à 31 Hz et de celles égales ou supérieures à 8 000 Hz. Le dBC ou décibel pondéré C sert à exprimer un résultat de mesure de bruit avec la pondération C.
Pondération linéaire (Lin)	La pondération linéaire ne tient pas compte de la sensibilité de l'oreille humaine, variable selon les fréquences et les niveaux. Aucune pondération en fréquences n'est appliquée. Le dBLin sert à exprimer un résultat de mesure de bruit avec la pondération linéaire.
Seuil d'intégration	Il s'agit du niveau seuil, soit le niveau de bruit minimal à partir duquel l'instrument de mesure traite et analyse le signal sonore.

Liste des sigles et acronymes

AAA	American Academy of Audiology
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
ACNOR	Association canadienne de normalisation
BIT	Bureau international du travail
CDC	Centers for Diseases Control and Prevention (États-Unis)
CNESST	Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail
CNRC	Conseil national de recherches Canada
CSTC	Code de sécurité pour les travaux de construction
dB	Décibel
dBA	Décibel pondéré A
dBBC	Décibel pondéré C
dBLin	Décibel linéaire
DOD	Department of Defense (États-Unis)
Hz	Hertz
I-INCE	Institute of Noise Control Engineering
INSPQ	Institut national de santé publique du Québec
IRSST	Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité du travail
ISO	International Organization for Standardization (Organisation internationale de normalisation).
MSHA	Mine Safety and Health Administration
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NHCA	National Hearing Conservation Association
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
OIT	Organisation internationale du travail
OMS	Organisation mondiale de la santé
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (États-Unis)
Q	Facteur de bissection (<i>exchange rate</i>)
RSPSAT	Réseau de santé publique en santé au travail
RSST	Règlement sur la santé et la sécurité du travail (S-2.1, r.13)

SST	Santé et sécurité du travail
TTS	<i>Temporary Threshold Shift</i> (diminution temporaire des seuils d'audition ou perte auditive temporaire, fatigue auditive)
TLV	<i>Threshold Limit Value</i> (valeur maximale admissible ou valeur limite d'exposition)
TWA	<i>Time Weighted Average</i> (moyenne pondérée du niveau de bruit en fonction du temps, rapportée à une journée de travail de 8 heures)
US-EPA	United States-Environmental Protection Agency

Résumé

La méthode utilisée pour mesurer l'exposition au bruit a une influence majeure pour identifier l'ensemble des travailleurs à risque de pertes auditives permanentes causées par le bruit et pour mettre en place les moyens visant la prévention de la surdité professionnelle.

Cet avis revoit les écrits scientifiques et pratiques relatifs à l'utilisation de deux méthodes pour la mesure de l'exposition quotidienne des travailleurs au bruit à partir des publications parues entre 1970 et 2016, dont plusieurs publications permettent de couvrir les années 1950.

La première méthode de mesure de l'exposition est reconnue internationalement depuis plusieurs décennies. Elle fait appel au principe « d'égalité d'énergie » (doublement de l'énergie sonore à chaque 3 décibels, $Q = 3 \text{ dB}$) et elle est déjà utilisée par le Réseau de santé publique en santé au travail (RSPSAT). L'autre méthode est celle actuellement en vigueur dans la réglementation québécoise jusqu'au 16 juin 2023 et réfère au principe « d'égalité de nocivité » (doublement à chaque 5 décibels, $Q = 5 \text{ dB}$).

Un autre facteur associé au mesurage concerne le niveau de bruit le plus faible traité et analysé par les instruments et qui sera intégré dans le résultat affiché (seuil d'intégration). Certaines législations ne tiennent compte du bruit que lorsqu'il dépasse un certain niveau seuil établi, par exemple à 70, 80 ou 85 dBA. Pour d'autres, un tel seuil n'est pas appliqué, et il correspond alors à la limite inférieure de la gamme de mesure sélectionnée sur l'instrument de mesure. Selon la revue effectuée, le Québec était l'une des rares nations et la seule province canadienne qui n'avait pas adopté le principe d'égalité d'énergie et qui fixait un seuil d'intégration (85 dBA) pour la mesure de l'exposition au bruit.

Après l'analyse de l'influence de ces méthodes et du seuil d'intégration sur les résultats de la mesure de l'exposition quotidienne ainsi que de leurs limites, l'avis retient que le principe d'égalité d'énergie est celui qui identifie le mieux les travailleurs présentant un risque de pertes auditives permanentes causées par le bruit. De plus, lorsqu'aucun seuil d'intégration n'est appliqué, tous les bruits qui contribuent à l'exposition des travailleurs sont alors inclus dans la mesure. En somme, le mesurage selon le principe d'égalité d'énergie fournit aux milieux de travail des données plus représentatives pour mieux identifier et éliminer ou contrôler les risques pour l'audition.

Ainsi, à compter du 16 juin 2023, le règlement québécois sur le bruit appliquera le principe d'égalité d'énergie pour la mesure de l'exposition des travailleurs au bruit sans aucun seuil d'intégration, se conformant aux normes préconisées dans le domaine. Le Québec rejoindra les autres législations canadiennes et internationales quant au mesurage de l'exposition de travailleurs au bruit dans l'environnement de travail.

Faits saillants

- Une mesure représentative de l'exposition au bruit en milieu de travail est essentielle pour déterminer le risque de pertes auditives permanentes et pour la prévention de la surdité professionnelle.
- Une méthode de mesure de l'exposition fondée sur **le principe d'égalité d'énergie** (utilisation d'un facteur de bissection $Q = 3$ dB) permet de tenir compte de l'**énergie réelle** de tout type de bruit auquel les travailleurs sont exposés.
- Une évaluation de l'exposition des travailleurs au bruit qui repose sur **le principe d'égalité de nocivité** (utilisation d'un facteur de bissection $Q = 5$ dB) entraîne une **sous-estimation** de l'exposition comparativement à l'utilisation d'une méthode de mesure basée sur le principe d'égalité d'énergie (utilisation d'un facteur de bissection $Q = 3$ dB). Ceci a une influence importante sur le nombre de travailleurs qui devraient être ciblés par des mesures de prévention, car le principe d'égalité de nocivité ne permet pas d'identifier l'ensemble des travailleurs à risque de pertes auditives permanentes causées par le bruit.
- De plus, fixer à 85 dBA le niveau de bruit minimal (seuil d'intégration) à partir duquel l'exposition du travailleur est considérée dans l'analyse et le calcul de l'exposition quotidienne moyenne est une pratique qui ajoute à la sous-estimation de l'exposition et du risque. En effet, les niveaux inférieurs à 85 dBA sont alors considérés comme une absence de bruit.
- Selon la revue de la documentation scientifique effectuée, le Québec était l'une des rares nations et la seule province canadienne qui n'avait pas adopté le principe d'égalité d'énergie et qui fixait un seuil d'intégration pour la mesure de l'exposition au bruit. Toutefois, à compter du 16 juin 2023, le règlement québécois appliquera le principe d'égalité d'énergie pour la mesure de l'exposition des travailleurs au bruit et aucun seuil d'intégration, s'alignant sur les autres législations canadiennes et internationales.
- En conformité avec les normes internationales les plus récentes sur la mesure de l'exposition des travailleurs au bruit, l'avis montre que **le principe d'égalité d'énergie** (facteur de bissection; $Q = 3$ dB) permet de représenter avec le plus de justesse le risque pour l'audition et qu'**aucun seuil d'intégration** ne doit être utilisé lors du mesurage.
- L'utilisation de ces paramètres lors du mesurage (facteur de bissection, soit $Q = 3$ dB et aucun seuil d'intégration) devrait contribuer à limiter le nombre de travailleurs québécois qui développeront des pertes auditives permanentes causées par le bruit en évitant de sous-estimer leur exposition au bruit et donc leur risque de surdité.

Introduction

Le bruit en milieu de travail et ses conséquences sur la santé et la sécurité des travailleurs, dont la surdité est l'effet avéré le plus connu, restent un problème important de santé publique au Québec^(4,5). Le nombre de travailleurs dont la réclamation pour surdité professionnelle a été acceptée par la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST) est en augmentation depuis plus de 20 ans⁽⁶⁾. Cela a concerné plus de 95 500 travailleurs entre 1997 et 2018. Et selon une vaste enquête effectuée en 2014-2015, plus de 230 000 personnes de 16 ans et plus ont dit être atteintes d'une surdité attribuable au travail dans l'ensemble du Québec⁽⁷⁾. Quant au bruit intense, rendant difficile une conversation à quelques pieds de distance, même en criant, il est toujours présent dans les milieux de travail puisque 7,5 % (IC 95 % : 7,1-8,0) des travailleurs du Québec, soit près de 315 000, y seraient exposés⁽⁷⁾.

Cette situation fait en sorte que le bruit reste une priorité en santé au travail que ce soit pour le ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS)⁽⁸⁾ ou pour la CNESST⁽⁹⁾. Diminuer le nombre de travailleurs avec une surdité professionnelle est aussi l'objectif du règlement modifiant les exigences à l'égard du bruit au travail visant toutes les entreprises, incluant celles du secteur de la construction, tel que publié en juin 2021⁽¹⁰⁾.

Le présent avis a été réalisé dans le cadre des travaux relatifs à une demande du ministère de la Santé et des Services sociaux relativement à une analyse de la faisabilité d'une politique publique nationale de lutte contre le bruit au Québec, tant environnemental qu'en milieu de travail. Il est issu d'une version de travail élaborée en 2016 qui a été revue et ajustée pour son actuelle diffusion.

1 Objet de l'avis

L'avis se concentre sur les méthodes d'appréciation du risque pour l'audition à partir de la mesure de l'exposition au bruit en milieu de travail qui repose sur le principe d'égalité d'énergie ou d'égalité de nocivité, faisant en sorte que les résultats vont différer. De même, il traite du seuil d'intégration des instruments de mesure, soit le niveau de bruit minimal considéré pour cette mesure. La question du seuil d'intégration a été considérée parce qu'elle est interreliée avec les deux principes utilisés pour le mesurage du bruit et, conséquemment, avec les résultats de mesure de l'exposition des travailleurs.

Parmi les effets avérés du bruit sur la santé et la sécurité, cet avis est orienté sur les effets du bruit sur l'audition (pertes auditives permanentes) qui est le principal objet des réglementations existantes dans le domaine.

Cet avis permet de mieux situer ce qui diffère entre le mesurage de l'exposition au bruit utilisé dans le réseau de santé publique en santé au travail (RSPSAT) et celui prescrit par le *Règlement sur la santé et la sécurité du travail* (RSST) et le *Code de sécurité pour les travaux de construction* (CSTC) jusqu'au 16 juin 2023. Cependant, les changements réglementaires sur le bruit au travail qui entreront en vigueur en juin 2023⁽¹⁰⁾ se distingueront des obligations actuelles du RSST et du CSTC.

Il est à noter que certains des aspects abordés dans les avis ont fait l'objet de consultations auprès d'un des professionnels de l'IRSST (M. Chun Hong Law).

2 Méthode de recherche documentaire

Les revues des écrits scientifiques déjà produites sur le sujet ont d'abord été recherchées. Devant l'absence de revues spécifiques sur le sujet, l'interrogation de bases de données comme PubMed, EBSCOhost et la base CanLii pour des documents législatifs ou réglementaires au Canada a été effectuée. Une liste de mots-clés a été utilisée (voir annexe A). D'autres informations ont été tirées de travaux en cours à l'INSPQ^A, complétées par des recherches sur *Google* et *Google Scholar* en utilisant les mêmes mots-clés. La revue de la documentation s'est arrêtée à l'année 2016 sauf pour le document sur le bruit de l'ACGIH, paru en 2018, qui a été pris en compte⁽¹¹⁾. Les principales sources documentaires utilisées sont des manuels de référence ou documents ayant traité de la mesure de l'exposition au bruit. Ceux-ci proviennent de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), de l'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), des Centers for Disease Control (CDC) incluant le National Institute for Occupational Health (NIOSH), du Bureau international du travail (BIT) et de l'Organisation internationale du travail (OIT), de l'Institute of Noise Control Engineering (I-INCE) (Embleton, 1997; Lang and ten Wolde, 2006). De plus, il y a un document produit à l'intention d'un comité de révision réglementaire en Ontario (Shaw 1985), certaines études de l'IRSST, des publications de Trottier *et al.* (2004), de Dobie et Clark (2014, 2015), de Suter (1993, 2015) et de Morata *et al.* (2015).

Des études québécoises et américaines^B, dont celle de Daniell (2006), ont permis de situer l'influence de la mesure de l'exposition au bruit avec l'une ou l'autre méthode soit le principe d'égalité d'énergie ou d'égalité de nocivité.

3 L'estimation du risque pour l'audition

Des méthodes de mesure de l'exposition au bruit permettent d'apprécier avec plus de justesse les risques d'atteintes auditives permanentes causées par le bruit. Ces méthodes découlent des constats fournis par différentes études qui ont été revues par les chercheurs et qui ont aussi fait l'objet de travaux de divers comités d'experts.

Les deux méthodes présentées reposent sur deux principes différents : le principe d'égalité d'énergie et le principe d'égalité de nocivité ou d'énergie pondérée. Les deux méthodes ont servi dans les réglementations à définir des limites pour l'exposition des travailleurs en considérant les deux principaux paramètres du risque : le niveau de bruit et la durée d'exposition. Les bases des deux méthodes sont les suivantes :

- Le principe **d'égalité d'énergie** qui sous-tend que le risque d'atteinte à l'audition est directement relié à la quantité totale d'énergie reçue par l'oreille, peu importe comment cette énergie se distribue dans le temps. C'est ainsi que l'énergie sonore double (doublement réel) à chaque 3 décibels (dB). Pour conserver le même risque d'atteinte à l'audition, un facteur de bissection (*exchange rate*) de 3 dB ($Q = 3$ dB) est appliqué.
- Le facteur de bissection correspond au nombre de décibels à ajouter ou à soustraire au niveau de bruit pour conserver une équivalence de l'exposition lorsque la période de temps (ou durée d'exposition) est réduite de moitié ou doublée. Suivant ce principe d'égalité d'énergie et l'application d'un facteur de bissection de 3 dB, l'exposition à un niveau de bruit donné pendant deux heures présenterait le même risque de dommage auditif qu'une exposition d'une heure dont le niveau de bruit est augmenté de 3 dBA⁽¹⁸⁾;

^A Travaux réalisés dans le cadre d'un avis sur le bruit environnemental et le bruit en milieu de travail qui ont utilisé une méthode de recherche quasi systématique.

^B Quarante-huit publications scientifiques ont été identifiées dans la base documentaire de PubMed (incluant MEDLINE) avec les mots-clés « NIOSH OSHA noise » pour traiter de la comparaison des résultats de l'exposition selon les critères d'OSHA et de NIOSH. Après lecture des résumés, huit études ont été retenues et, après lecture des articles, six études ont répondu aux critères : comparer les mêmes postes ou tâches selon les deux facteurs de bissection et fournir le paramétrage des instruments utilisés dont le seuil d'intégration. Deux des six études ont été conservées parce qu'elles avaient été effectuées en milieu industriel ou de la construction^(12,13). Les quatre autres concernaient le secteur des services et n'ont pas été retenues : entretien de pelouse (Balalay 2016)⁽¹⁴⁾, restauration (Green 2015)⁽¹⁵⁾, musiciens professionnels d'un orchestre (McIlvaine 2012)⁽¹⁶⁾ et clinique dentaire (Jadid 2011)⁽¹⁷⁾. Quant aux deux études rejetées parmi les huit repérées, des informations manquaient (ex. seuil d'intégration).

- Le principe **d'égalité de nocivité** (ou d'énergie pondérée) sous-tend que le risque d'atteinte à l'audition repose sur la fatigue auditive et non pas sur le simple cumul d'énergie à l'oreille. Des études sur la fatigue auditive ont mis en évidence que les expositions intermittentes produisent une diminution des seuils auditifs, c'est-à-dire une perte auditive temporaire moins importante que pour les expositions considérées continues. L'hypothèse à la base du facteur de doublement de 5 dB, est qu'en milieu de travail, l'exposition d'un travailleur est intermittente, interrompue par des pauses et que ces périodes de repos auraient un effet protecteur, puisque l'oreille pourrait partiellement récupérer. À la suite de ces études sur la fatigue auditive, le principe d'égalité de nocivité (ou d'énergie pondérée) a été déclaré celui qui est le plus approprié pour prédire la perte auditive permanente causée par le bruit, mais il a été remis en question depuis. Pour conserver le même risque d'atteinte à l'audition, un facteur de bissection de 5 dB ($Q = 5$ dB) est appliqué ici.
- Conformément à la définition du facteur de bissection, l'application d'un facteur de 5 dB fait en sorte qu'une exposition à un niveau de bruit donné pendant deux heures présenterait le même risque de dommage auditif qu'une exposition d'une heure dont le niveau de bruit est augmenté de 5 dBA⁽¹⁸⁾.

L'exposition quotidienne moyenne obtenue avec un facteur de bissection de 5 dB n'est pas proportionnelle à l'énergie sonore, alors que c'est le cas pour celle avec un facteur de bissection de $Q = 3$ dB, mais dépend de la façon dont cette énergie est distribuée dans le temps.

Les prochaines sections présentent en détail chacun des principes.

4 Le principe d'égalité d'énergie

Le principe d'égalité d'énergie ($Q = 3$ dB) est celui qui est le plus largement utilisé et qui fait le plus large consensus chez les experts au niveau international.

Le principe d'égalité d'énergie a été introduit en 1956 dans la réglementation de l'exposition au bruit de la US Air Force après une étude de grande ampleur réalisée par National Academy of Sciences-CHABA^A (Eldred *et al.* 1955 and Air Force Medical Services 1956 citée dans Johnson *et al.*, 2001⁽¹⁸⁾).

En Grande-Bretagne en 1982, dans le cadre d'une rencontre de travail sur la surdité causée par le bruit, de nombreux chercheurs ont présenté une revue de la documentation scientifique disponible concernant l'utilisation du principe d'égalité d'énergie^(19,20). Les chercheurs ont alors recommandé l'utilisation de la méthode qui était la plus pratique et satisfaisante pour mesurer à la fois le bruit intermittent et les bruits impulsionnels entre 80 dBA et 140 dBA^B. Cette réunion a donné lieu au consensus international qui est la base de la norme ISO 1999:1984^(11,18) et suivantes, produites par l'International Organization for Standardization (ISO).

Ainsi, la norme internationale ISO 1999^(24,25) propose une méthode, soit un modèle mathématique, pour estimer la perte auditive permanente induite par l'exposition au bruit. Elle procède à partir de niveaux

^A CHABA : Committee on Hearing and Bioacoustics of The National Academy of Sciences.

^B Mis à part les bruits impulsionnels (voir définition dans le glossaire), trois types peuvent être observés dans un milieu de travail :

- Un bruit « continu » est un bruit stable dont les variations de niveau et de spectre (fréquences) sont minimales^(18,21) (ex. : ventilateurs, pompes). C'est aussi un bruit qui se prolonge dans le temps⁽²¹⁾.
- Le bruit « intermittent » est un bruit stable (plusieurs secondes ou minutes) en niveau et en spectre, qui s'interrompt régulièrement ou occasionnellement. Une lessiveuse industrielle, qui s'arrête pour passer d'un cycle à un autre, ou l'utilisation d'une scie circulaire en constituent des exemples. La durée des périodes d'intermittence sera, par exemple, considérée dans l'analyse du poste de travail⁽²¹⁾.
- Un bruit « fluctuant » est un bruit qui présente des variations étendues⁽²¹⁾ dont le niveau change continuellement et sur une grande étendue au cours d'une période d'observation⁽²²⁾.

Les études et documents consultés ne semblent pas définir de critères harmonisés quant aux variations permises pour qualifier un bruit continu. Cependant, pour estimer le risque d'atteinte auditive permanente en mesurant l'exposition des travailleurs au bruit, ces revues de littérature (OMS, ACGIH et NIOSH) retiennent que le principe d'égalité d'énergie (et la norme ISO 1999) est celui à appliquer. Ainsi, pour la mesure du bruit, la rencontre d'experts en 1982 en Grande-Bretagne et le consensus international qui s'est traduit dans la norme ISO 1999⁽¹⁸⁾ ont, tous deux, considéré que la méthode de mesure basée sur le principe d'égalité d'énergie était la plus pratique et la plus judicieuse pour mesurer à la fois le bruit intermittent et d'impact ou d'impulsion pour des niveaux de pression sonore se situant entre 80 dBA et 140 dBA. Aucune distinction n'est donc faite quant au type de bruit à intégrer dans la mesure^(11,18,23). La norme ISO 1999 (et aussi ISO 9612, puisque conformément à la section 5 d'ISO 1999:2013⁽²⁴⁾), la mesure de l'exposition au bruit se retrouve maintenant dans cette norme) n'a retenu aucun seuil d'intégration pour la mesure du bruit. Celui-ci correspondra à la limite inférieure de la gamme de mesure sélectionnée sur l'instrument, ce qui permet d'inclure aussi des niveaux de bruit inférieurs à 80 dBA dans la mesure de l'exposition.

d'exposition au bruit basée sur l'utilisation d'un facteur de bissection $Q = 3$ dB. Cette norme consiste à calculer les niveaux de façon énergétique. Elle est considérée comme la méthode standard à la base du calcul des niveaux de bruit⁽²⁶⁾ et est reconnue au plan scientifique et international.

Aux États-Unis, l'utilisation du principe d'égalité d'énergie fut recommandée sur la base d'un consensus lors d'une réunion spéciale du Comité de l'ACGIH sur les valeurs limites d'exposition (TLV) pour les agents physiques en 1992⁽²⁷⁾, bien que des chercheurs n'étaient pas en accord avec cette règle⁽²⁸⁾. L'ACGIH a adopté le facteur de bissection de 3 dB en 1994^(11,29) en indiquant que :

- Les données d'études animales soutiennent l'utilisation du facteur de bissection de 3 dB pour des expositions à des niveaux variés sur une période de 8 heures par jour⁽³⁰⁾;
- De plus, les résultats de plusieurs études épidémiologiques correspondent au principe d'égalité d'énergie ($Q = 3$ dB)^(23,31,32).

Puis, en 1998, le NIOSH réfère au facteur de bissection de 3 dB dans sa recommandation de modifier les limites d'exposition au bruit⁽²³⁾. Malgré la recommandation du NIOSH et la prise de position de l'ACGIH en faveur du facteur de bissection de 3 dB, les règlements américains sur le bruit au travail, sous la responsabilité de l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA) et du Mine Safety and Health Administration (MSHA) utilisent encore le facteur de bissection de 5 dB (égalité de nocivité). Toutefois, le facteur de bissection de 3 dB est celui qui est le plus largement soutenu dans les consensus nationaux et internationaux^(18,21). Dans le secteur militaire, la US Army, la US Air Force et la US Navy utilisent un facteur de 3 dB^(18,33-35).

4.1 Limites du principe d'égalité d'énergie ($Q = 3$ dB)

Même si le principe d'égalité d'énergie est celui qui reflète le mieux les effets du bruit sur l'audition, il pourrait sous-estimer le risque dans certaines conditions. En effet, le modèle présenté dans la norme ISO 1999 est basé sur des données épidémiologiques provenant d'études portant sur des travailleurs exposés à des bruits continus, pour des périodes de 8 heures. Lorsque les conditions d'exposition au bruit sont complexes et s'éloignent de ces paramètres, le risque d'atteinte à l'audition peut être sous-estimé⁽³⁶⁾ :

- Pour des horaires de plus de 12 heures par jour : la « note 4 »^A de la norme ISO 1999:2013 met en garde d'estimer le risque pour des horaires supérieurs à 12 heures/jour, puisque la durée d'exposition peut laisser moins de temps pour récupérer entre deux expositions. Le niveau d'exposition au bruit (calculé sur une durée de référence de 8 heures ou de 40 heures par semaine) peut conduire à une sous-estimation du risque par rapport à une exposition équivalente pour des horaires de plus courte durée puisque le temps de récupération plus réduit n'est pas pris en compte⁽²¹⁾.
- La prédiction ou la validation des pertes auditives d'une personne ne peut être faite à partir des données statistiques populationnelles provenant d'une norme comme ISO 1999, sauf pour en estimer la probabilité^B.
- Pour des expositions supérieures à 100 dBA, il pourrait s'agir d'extrapolations qui ne sont pas étayées par des données quantitatives^C.
- En présence de bruits impulsifs dont le niveau de crête est supérieur à 140 dB (« note 1 » de la norme)^D.
- En présence de cofacteurs qui pourraient augmenter le risque de surdité : interactions entre le bruit et les agents chimiques ototoxiques⁽³⁷⁻³⁹⁾ ou les vibrations mains-bras⁽⁴⁰⁻⁴⁴⁾.

^A « All data and procedures presented in this International Standard are based on deliberate simplifications of experimental data where the daily sound exposure duration did not exceed 12 h. The resulting approximations restrict the validity to the stated ranges of the variables, percentages, sound exposure levels, and frequency ranges. Note 4; p. 1; ISO 1999:2013)⁽²⁴⁾.

^B « This International Standard is based on statistical data and therefore cannot be applied to the prediction or assessment of the hearing loss of individual persons except in terms of statistical probabilities ». (Note 4; p. 1; ISO 1999:2013)⁽²⁴⁾.

^C Note 1 de la norme ISO 1999 (1990)⁽²⁵⁾. À noter que cette note n'apparaît plus dans la mise à jour de 2013.

^D « Use of this International Standard for sound pressures exceeding 200 Pa (140 dB relative to 20 μ Pa) is recognized as extrapolation. » (ISO 1999:2013; p. 1, extraits de la note 1)⁽²⁴⁾.

4.2 Recommandations de divers organismes en faveur du principe d'égalité d'énergie

Les recommandations de plusieurs organismes quant à la mesure de l'exposition au bruit sont basées sur le principe d'égalité d'énergie, et ce depuis les années 1950 (voir tableau B.1, en annexe). Au Canada, dans un rapport technique pour le comité chargé de réviser la réglementation du bruit au travail en Ontario, un chercheur du Conseil national de recherches Canada (CNRC), Shaw (1985)⁽³¹⁾ a indiqué qu'il y avait suffisamment de preuves scientifiques soutenant l'adoption du principe d'égalité d'énergie : « [...] *In other words, the 3 dB exchange rate should be accepted and the 5 dB exchange rate firmly rejected.* » (Shaw, 1985 : conclusion 1, p. 32).

En 1989, une étude de l'IRSST⁽⁴⁵⁾ a montré que les mesures de l'exposition au bruit avec un facteur de bisection de 5 dB sous-estimaient de 1,5 dBA à 8 dBA^A l'exposition des travailleurs comparativement à des mesures effectuées avec un facteur de bisection de 3 dB^B. D'ailleurs, cette étude recommandait de remplacer la mesure du bruit selon OSHA par la méthode ISO fondée sur le principe d'égalité d'énergie (Q = 3 dB) : « La méthode de mesure selon OSHA a pour effet de sous-estimer la dose de bruit dans la plupart des cas. Cette méthode de mesure devrait à court terme être remplacée par la méthode de l'ISO qui tient compte de l'énergie réelle totale perçue par l'oreille et, par conséquent, est plus appropriée pour évaluer le degré d'atteinte des travailleurs exposés au bruit » (Ménard, 1989, p. 24)⁽⁴⁵⁾.

En 1997, l'International Institute of Noise Control Engineering (I-INCE)⁽⁴⁶⁾ a aussi recommandé d'utiliser le facteur de 3 dB pour toutes les expositions au bruit, sans égard à l'intermittence de l'exposition ou des variations temporelles des caractéristiques du bruit, recommandation qui a été rappelée en 2006⁽⁴⁷⁾.

Aux États-Unis, les Centers for Disease Control (CDC) et le NIOSH, leur organisation en santé-sécurité au travail, ont recommandé l'adoption du principe d'égalité d'énergie en 1998⁽²³⁾ ce qui est aussi appuyé et promu par l'American Academy of Audiology⁽⁴⁸⁾.

Dans sa documentation la plus récente sur le bruit, mise à jour en 2018⁽¹¹⁾, l'ACGIH recommande toujours d'utiliser le principe d'égalité d'énergie (Q = 3 dB) qu'elle a adopté en 1994 pour mesurer l'exposition des travailleurs et analyser les risques de surdité professionnelle. La National Hearing Conservation Association (NHCA) estime que la réglementation de l'OSHA sur le bruit ne correspond pas avec la preuve scientifique actuelle⁽⁴⁹⁾. De plus, pour la NHCA, la réglementation sur le bruit se doit de référer à un facteur de bisection de 3 dB pour mieux tenir compte tant du bruit variable que des bruits d'impacts et impulsionnels (*impact/impulse*)⁽⁴⁹⁾.

Le facteur de bisection Q = 3 dB est celui qui est le plus largement adopté et accepté par les scientifiques⁽⁵⁰⁾, en plus de nombreux organismes gouvernementaux aux États-Unis (Département de la Défense – DOD et la NASA, par exemple). De plus, il est considéré comme la meilleure pratique (« *best practice* ») parmi les professionnels de l'audition⁽⁵¹⁾ en plus de faire l'objet de normes^(24,52).

Au Canada, en 1986, « Le Sous-comité ACNOR du bruit industriel a adopté le taux de variation^C de 3 dB (L_{eq} , L_{ex}) aux fins de la présente norme conformément aux recommandations du Groupe de travail fédéral-provincial et du Comité consultatif spécial sur la réglementation du bruit du ministère du Travail de l'Ontario. Cette décision est cohérente et conforme avec la norme ISO 1999 ainsi qu'aux règlements actuels et prévus dans la plupart des provinces. » (CAN/CSA Z107.56-M86, p. 9)⁽⁵³⁾.

Enfin, les normes utilisées pour la mesure de l'exposition au bruit environnemental ont été établies par ISO et sont basées sur le principe du doublement du niveau de pression acoustique à chaque 3 dB^(54,55).

^A La variation est plus importante pour les résultats de mesure de l'exposition se situant entre 80 et 85 dBA due au seuil d'intégration qui semble jouer un rôle prépondérant (seuils « ISO » : 80 dBA; seuil « OSHA » : 85 dBA). [NDLR : l'appellation ISO et OSHA pour rapporter de telles mesures ne semble pas approprié car la norme ISO 1999 n'applique pas de seuil d'intégration alors que pour OSHA le seuil est de 90 ou 80 dBA. En fait, dans cette étude, ISO référerait à l'utilisation du Q = 3 dB et OSHA, à Q = 5 dB].

^B Voir tableau A.3 (en annexe) qui présente le tableau 5 de l'étude de l'IRSST.

^C Facteur de bisection (*exchange rate*).

4.3 Législations qui appliquent le principe d'égalité d'énergie

Le principe d'égalité d'énergie ($Q = 3$ dB) est à la base de la plupart des législations réglementant l'exposition au bruit en milieu de travail. Une revue réalisée en 2014⁽⁵⁶⁾ a recensé les limites d'exposition au bruit en milieu de travail appliquées par les pays des deux Amériques. L'étude montre que le facteur de bissection de 5 dB, outre les États-Unis, est utilisé dans des pays tels la Colombie, le Paraguay alors que d'autres n'ont pas de limites réglementaires. Les pays plus développés à l'extérieur des États-Unis comme le Canada, le Mexique, Cuba, le Brésil, l'Argentine ou le Chili utilisent le principe d'égalité d'énergie.

En Europe (EU-28), la législation en place pour le bruit au travail est basée sur le facteur de bissection de 3 dB⁽⁵⁷⁾ (voir tableau B.2 en annexe). De plus, l'INSPQ a recensé que, dans les autres régions du monde, des pays comme l'Australie, la Nouvelle-Zélande, la Chine et Singapour utilisent tous le principe d'égalité d'énergie, mais que ce n'était pas le cas en Israël⁽⁵⁸⁾.

4.4 Avantages reconnus au principe d'égalité d'énergie et à l'utilisation de la norme ISO

Johnson *et al.*,⁽¹⁸⁾ dans un document produit pour l'OMS, et l'ACGIH⁽¹¹⁾ concluent que le principe d'égalité d'énergie présente les avantages suivants :

- Les employeurs et les milieux de travail peuvent bénéficier d'une plus juste appréciation du risque.
- Il élimine la limite d'exposition maximale fixée à 115 dBA^A.
- Il prédit mieux le risque d'atteintes permanentes à l'audition dans la plupart des conditions.

^A Un bruit fort et court comme une sirène pourrait dépasser cette limite. Pourtant, une série de bruits à large bande de fréquences de 130 dB pendant 10 millisecondes ne provoquerait presque pas de diminution temporaire des seuils d'audition (TTS)⁽⁵⁹⁾. Par ailleurs, la recherche a montré qu'un bruit à large spectre de 115 dB pendant 15 minutes est susceptible de causer une fatigue auditive excessive⁽⁶⁰⁾.

5 Le principe d'égalité de nocivité (ou d'énergie pondérée)

D'ici le changement qui sera introduit dans la réglementation en juin 2023 en milieu de travail québécois, la base de la réglementation repose sur le facteur de bissection de 5 dB. Cette réglementation tire principalement son origine des normes appliquées aux États-Unis par l'Occupational Safety & Health Administration (OSHA)⁽⁶¹⁾.

La réglementation OSHA s'appuie sur l'hypothèse que la fatigue auditive ne serait pas le fait d'un simple cumul d'énergie. Sur la base d'études expérimentales relatives à l'effet temporaire du bruit sur l'audition, il y aurait une diminution temporaire des seuils d'audition (fatigue auditive) pouvant prédire l'acquisition d'une surdité professionnelle. Ces études ont montré que des expositions intermittentes au bruit semblaient produire des pertes auditives temporaires moins élevées que les expositions continues en raison de la possibilité de récupération de l'oreille en période de silence⁽⁶²⁾. Par ailleurs, pour les tâches réalisées à l'extérieur (mines, forêt), le facteur de bissection $Q = 5$ dB pourrait avoir une certaine validité⁽¹⁸⁾, quoique les résultats des études d'où proviennent ces constats présenteraient des problèmes méthodologiques⁽⁶³⁾.

5.1 Intermittence de l'exposition et périodes de récupération de la fatigue auditive selon le principe d'égalité de nocivité ($Q = 5$ dB)

La littérature ne permet pas de dégager de façon claire les paramètres des périodes de récupération liées à des expositions intermittentes^(11,18,23,30,32,64). En fait, la question est de savoir quel est le niveau de bruit suffisamment faible ainsi que la durée du repos requis pour permettre cette récupération.

L'hypothèse avancée par des chercheurs, à partir des observations tirées des études, est qu'une exposition en milieu bruyant devrait être suivie d'une période de récupération de repos hors du bruit correspondant au double de la durée de l'exposition. Pour une exposition

au bruit de 8 heures, ceci correspond à une période de repos de 16 heures.

Les recommandations les plus récentes des chercheurs associés au NIOSH vont d'ailleurs dans le même sens⁽⁶⁵⁾. Les limites d'exposition recommandées par le NIOSH en 1998 (équivalent à 85 dBA pour 8 heures) ont été établies pour des périodes de travail s'étalant sur cinq jours par semaine et supposent que le travailleur passe les 16 autres heures de la journée, ainsi que le week-end, dans des conditions plus calmes⁽²³⁾, soit à un niveau de bruit inférieur à 75 dBA⁽¹⁸⁾. La limite de 85 dBA proposée par le NIOSH correspond donc à une durée d'exposition de 8 heures et comprend une période de repos entre deux journées de travail.

Divers chercheurs se sont intéressés à préciser un niveau de bruit qui serait suffisamment faible pour permettre un repos auditif efficace^A contre les risques d'atteintes à l'audition après avoir été exposé au bruit. Ce seuil se situerait entre 60 et 75 dBA. Par exemple, une chercheuse donne l'exemple de période de repos à environ 65 dBA⁽⁶⁶⁾. En Ontario⁽³¹⁾, le rapport produit pour le comité responsable de la révision réglementaire indique que les différentes études montrent qu'un seuil de tranquillité effectif (*effective quiet*) ne devrait pas dépasser 72 dBA, soit une condition peu probable d'être rencontrée dans de nombreux milieux de travail bruyants. Pour sa part, Neitzel, en 2016, a rappelé qu'un niveau de bruit inférieur à 70 dBA, est nécessaire pour les 16 autres heures en dehors du bruit en milieu de travail⁽⁶⁷⁾. L'ACGIH souligne aussi que ce niveau doit être aussi bas que 70 dBA^B pour des bruits avec une composante tonale marquée^{C(11)}.

D'ailleurs, comme précisées précédemment, des expositions supérieures à 12 heures sont basées sur une extrapolation des données de la norme ISO 1999. Dans ce contexte, on ne peut prétendre que deux expositions équivalentes, en termes de niveau d'exposition, présentent le même risque d'atteinte à l'audition dans le cas où l'une d'elles réfère à des horaires de plus de douze heures. À ce titre, les études sur le décalage temporaire des seuils d'audition ont montré qu'une telle durée d'exposition à des niveaux

supérieurs à 75 dBA se traduit par un plafonnement de la fatigue auditive après une certaine durée d'exposition qui ne peut être complètement récupérée entre deux journées de travail, d'autant plus que moins de temps est disponible pour une telle récupération. Cette fatigue chronique de l'audition pourrait être un signe précurseur d'une perte auditive permanente à l'audition⁽³⁶⁾.

5.2 Limites du principe d'égalité de nocivité (Q = 5 dB)

Plusieurs limites ont été identifiées quant à l'utilisation du principe d'égalité de nocivité :

- L'hypothèse que la fatigue auditive prédit de manière valide les pertes auditives permanentes n'a jamais été validée^(11,23,31,64).
- L'hypothèse que les expositions qui produisent une même perte auditive temporaire seraient équivalentes en termes de risque de perte permanente a été reconnue erronée^(11,23,64). Par exemple, les expositions intermittentes à du bruit de hautes fréquences produisent la même fatigue auditive qu'une exposition au bruit continu, mais exigent toutefois des périodes de récupération plus longue^(11,64).
- La récupération de la fatigue auditive associée à des expositions à des niveaux modérés de bruit peut être retardée si la durée de ces expositions est relativement longue⁽⁶⁹⁾. Si la durée du repos auditif est insuffisante avant la prochaine exposition, ceci peut augmenter le risque de pertes auditives permanentes. Avec une récupération retardée, la perte auditive temporaire serait reportée de la journée de travail au lendemain⁽³¹⁾.
- L'intermittence des expositions, du moins celle documentée en particulier par des études en laboratoire, peut amener des bénéfices en ce qui concerne la récupération de la fatigue auditive. Cependant, ces bénéfices sont beaucoup plus restreints, voire inexistantes en industrie où les niveaux de bruit prévalant lors des périodes

^A Il s'agit d'un niveau sonore qui pourrait permettre une récupération complète de la fatigue auditive entre deux journées de travail. Cependant, même un repos auditif à des niveaux acceptables à la suite d'une exposition nocive au bruit ne permettra pas de prévenir une perte d'audition.

^B Voir la sous-section « Extended Exposures » dans le document *Audible Sound TLV* (2018) de l'ACGIH.

^C Tonalités marquées « Les vibrations dues aux balourds ou aux impacts répétés dans les machines tournantes (moteurs, engrenages, pompes ou ventilateurs) peuvent, se propageant dans l'air via les structures, générer des sons purs très gênants. [...] Le contenu tonal du bruit est soit directement identifiable à l'oreille soit, de manière objective, au moyen d'une analyse en fréquence. » (Brüel & Kjær, 2000, p.14)⁽⁶⁸⁾.

intermittentes sont beaucoup plus élevés et avec des interruptions non uniformément espacées^(18,70). Le principe d'égalité de nocivité supposait qu'il y avait sept périodes de repos (pauses, repas, arrêt de machines) alors qu'aucune analyse quantitative soutenant ce raisonnement n'a été publiée⁽³¹⁾. D'ailleurs, le rapport technique pour le comité chargé de la révision réglementaire en Ontario⁽³¹⁾ conclut que, prises ensemble, les différentes études convergent vers un niveau de bruit de 72 dBA et moins pour permettre la récupération de la fatigue auditive, niveau difficilement rencontré dans plusieurs milieux industriels. En conséquence, il faut conclure que, quel que soit le bénéfice à long terme qui peut être lié à des expositions intermittentes idéales, en pratique, une partie de ce bénéfice est peu susceptible d'être obtenue^A.

- Les résultats des mesures de l'exposition, en présence de bruits impulsionnels, peuvent être sous-estimés⁽¹⁾.
- Une mesure qui utilise un facteur de bissection de 5 dB sous-estime l'exposition des travailleurs⁽²¹⁾ et, conséquemment, le risque.

5.3 Q = 3 dB versus Q = 5 dB : des principes encore remis en cause par des chercheurs

En 2014, deux auteurs, Dobie et Clark⁽⁷¹⁾, ont rapporté que le principe d'égalité d'énergie (Q = 3 dB) surestimait systématiquement le risque de pertes auditives permanentes dans le cas du bruit intermittent ou fluctuant, alors que le principe d'égalité de nocivité (Q = 5 dB) leur semblait plus précis malgré une surestimation du risque pour les expositions de plus de 100 dBA. Leur position est fondée sur une revue de neuf publications entre 1969 et 1982, présentée comme étant une revue systématique. La publication de cette étude⁽⁷¹⁾ a suscité des réactions dans la communauté scientifique américaine. Un groupe de chercheurs du

NIOSH a remis en question leur méthode et leur rigueur, tout en rappelant que le facteur de bissection de 3 dB était celui qui permettait le mieux de prédire des pertes auditives permanentes, peu importe comment le bruit varie dans le temps et dans l'espace⁽⁷²⁾. Ainsi, les conclusions de Dobie et Clark vont trop loin compte tenu des faiblesses des études considérées et de leur revue de la documentation scientifique⁽⁷²⁾. Une autre chercheuse (Suter 2015) a notamment rapporté des études plus récentes, dont deux réalisées dans le secteur de la construction. Dans ces études, ni le facteur de 3 dB, ni celui de 5 dB ne permettaient de prédire précisément les pertes auditives permanentes^B. De plus, même avec le facteur de 3 dB, une sous-estimation du nombre de cas était observée^{C(73)}.

Dans une longue réponse, Dobie et Clark ont répondu aux commentaires formulés par Suter et par les chercheurs du NIOSH. Pour l'essentiel, Dobie et Clark, estiment que ni Suter ou le NIOSH n'ont proposé d'autres analyses pouvant supporter le principe d'égalité d'énergie (Q = 3 dB), tant à partir des 10 études exclues de leur revue que des neuf études incluses qui avancent que le facteur de bissection Q = 5 dB serait plus approprié⁽⁷⁴⁾.

Malgré ce récent questionnement des deux chercheurs, il ne semble pas que les organismes internationaux, particulièrement ISO, n'aient débuté de travaux visant à modifier les normes actuelles fondées sur le principe d'égalité d'énergie, particulièrement pour la norme ISO 1999^{D(24)}. Nonobstant certaines limites évoquées par des chercheurs, le principe d'égalité d'énergie demeure à ce jour le meilleur critère ou le plus approprié pour prédire le risque d'atteintes auditives permanentes tout en étant simple d'application au niveau de la mesure du bruit en milieu de travail⁽⁴⁶⁾.

^A Traduction libre de : « take together these various studies point to a threshold of effective quiet no higher than 72 dBA, a condition unlikely to be met in many industrial conditions. As a consequence, one must conclude that, whatever long term benefit may be associated with ideal intermittency, part at least of that benefit is unlikely to be realized in practice » (Shaw, 1985, p. 12-13)⁽³¹⁾.

^B « [...] found that neither the 3-dB nor the 5-dB ER proved to be a definitive predictor of hearing loss, [...] » (Suter, 2015, p. 486)⁽⁷³⁾.

^C « both studies showed that even the 3 dB ER [exchange rate] under-predicted hearing loss in conditions characterized by high-level, short-duration noise, typical of construction noise, » (Suter, 2015, p. 486)⁽⁷³⁾.

^D ISO a comme pratique de revoir une norme tous les 5 ans. La norme ISO 1999:2013 a été revue en 2018 et elle a été maintenue sans modification. < <https://www.iso.org/fr/standard/45103.html> >. Il en est de même pour la norme sur la mesure du bruit en milieu de travail (ISO 9612:2009) qui a été reconfirmée en 2014, tout comme les deux normes de mesure du bruit environnemental ont été revues en 2016 et 2017 (ISO 1996-1:2016 et ISO 1996-2:2017). Toutes ces normes ont conservé le Q = 3 dB.

6 Le principe d'égalité de nocivité (Q = 5 dB) et la sous-estimation de l'évaluation de l'exposition des travailleurs au bruit

6.1 Études qui permettent de comparer l'exposition selon les deux principes

Certaines études ont porté sur la mesure de l'exposition au bruit en utilisant simultanément les deux méthodes de mesure (facteurs de bissection Q = 3 dB et Q = 5 dB) et en ont comparé les résultats.

Comme mentionné précédemment (section 3), l'exposition quotidienne moyenne obtenue avec un facteur de bissection de 5 dB n'est pas proportionnelle à l'énergie sonore, comme c'est le cas pour le Q = 3 dB. Elle dépend plutôt de la façon dont cette énergie est distribuée dans le temps. Aussi, le profil d'exposition joue un rôle déterminant dans l'ampleur des écarts avec des mesures réalisées selon un facteur de bissection de 3 dB.

C'est ainsi que la comparaison de mesures réalisées conformément au *Règlement sur la santé et la sécurité du travail* (RSST) actuel, encore en vigueur jusqu'en juin 2023 (facteur de bissection Q = 5 dB et seuil d'intégration fixé à 85 dBA) et avec un facteur de bissection de 3 dB (sans seuil d'intégration ou seuil fixé à 80 dBA), conduit aux constats suivants :

- D'un côté du continuum, deux expositions continues pendant 8 heures conduiront à un résultat de mesure de l'exposition selon Q = 3 dB et Q = 5 dB identique, pour autant que les niveaux de bruit soient supérieurs ou égaux au seuil d'intégration de 85 dBA fixé par le RSST actuellement en vigueur jusqu'en juin 2023.
- De l'autre côté du continuum, lorsque les niveaux de bruit les plus contributifs à l'exposition au bruit du travailleur fluctuent et se rapprochent d'un bruit à caractère impulsionnel, l'écart entre les résultats des mesures avec un facteur de bissection Q = 3 dB et Q = 5 dB augmente (l'exposition mesurée avec un facteur Q = 3 dB étant plus élevée).

6.2 Analyse des écarts de l'évaluation de l'exposition au bruit dans les études selon les deux facteurs de bissection

Dès les années 1980 et début 1990, plusieurs rapports publiés par l'IRSST^(45,75-77) ainsi que des travaux effectués par des hygiénistes du travail ou audiologistes du réseau de santé publique en santé au travail (RSPSAT)^(62,78) ont documenté l'ampleur et les déterminants de ces écarts. Quelques études américaines ont également été identifiées. Elles traitent de ces écarts ou fournissent des données comparant les résultats de l'exposition mesurée selon les deux facteurs de bissection.

Une illustration de la sous-estimation pour divers emplois est fournie au tableau B.3 et à la figure C.1 en annexe, dont les données sont tirées des études citées^(45,62,78).

La figure 1 (page suivante) qui rapporte des données provenant d'une étude d'un groupe d'hygiénistes du travail du RSPSAT⁽⁶²⁾, montre bien l'influence des paramètres de variabilité des niveaux (fluctuations, intermittences) et du bruit de type impulsionnel sur les écarts entre les résultats des mesures de l'exposition quotidienne selon Q = 3 dB et Q = 5 dB, avec un seuil d'intégration de 85 dBA, selon le RSST encore en vigueur. Ainsi, comparativement au profil temporel d'exposition au bruit de l'opérateur de tracteur, celui du menuisier présente de grandes fluctuations de niveau (bruit parfois de type impulsionnel) attribuables à l'utilisation intermittente de machines ou d'outils très bruyants. Cela se traduit par un écart plus important entre les résultats des deux mesures de l'exposition quotidienne au bruit selon Q = 3 dB et Q = 5 dB : pour le menuisier, l'écart est presque de 8 dBA et pour l'opérateur de tracteur, l'écart est d'un peu plus de 1 dBA.

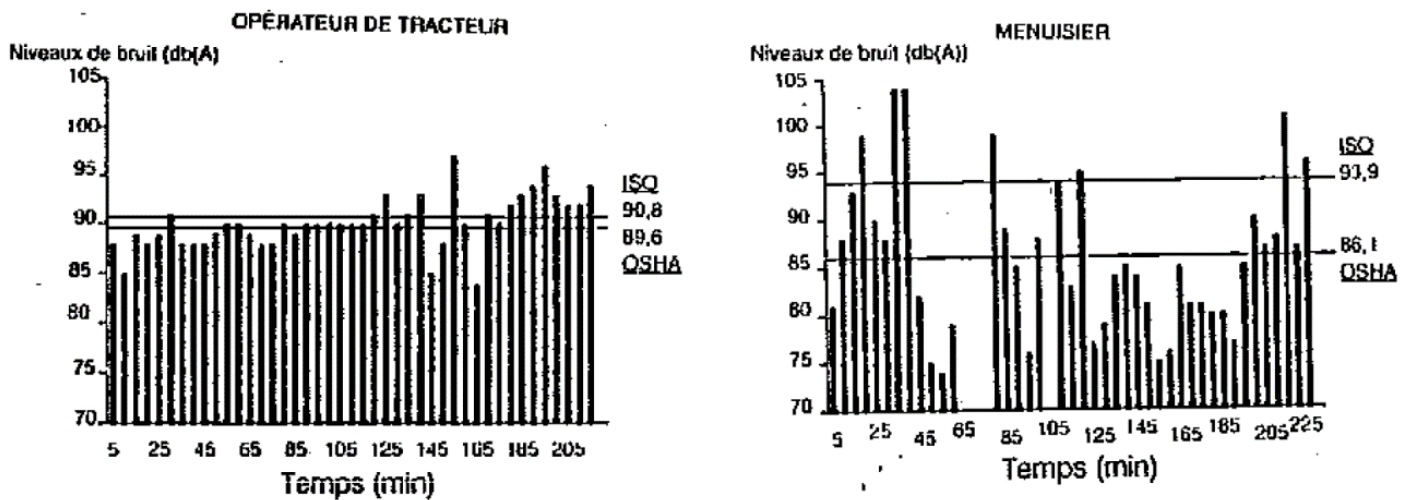
L'écart accentué en présence de bruits impulsionnels est encore plus facile à constater à partir des résultats des mesures de l'exposition quotidienne au bruit chez des policiers dans une salle de tir (tableau B.4). L'exposition d'un policier seul en salle de tir, utilisant un calibre Magnum 357, est de 108 dBA/8 heures pour les mesures selon Q = 3 dB comparativement à 90 dBA pour celles selon Q = 5 dB⁽⁷⁸⁾.

Il y a lieu de préciser qu'à partir d'un résultat de mesures de bruit réalisées avec un facteur de bissection $Q = 3$ dB, il est hasardeux, voire impossible, de les convertir en mesures paramétrées selon le RSST encore en vigueur ($Q = 5$ dB et seuil d'intégration de 85 dBA) et vice versa. Il faudrait connaître précisément le profil d'exposition durant toute la durée de l'échantillonnage⁽⁷⁹⁾. Le tableau 1⁽⁶²⁾ (page suivante) est éloquent à cet égard. Ainsi, pour une même exposition quotidienne moyenne selon le RSST en vigueur actuellement, par exemple, 91 dBA (voir les deux données au bas du tableau 1, sous la colonne OSHA), le niveau d'exposition quotidienne selon $Q = 3$ dB est dans un cas de 92 dBA et, dans l'autre, de 98 dBA. Les

dosimètres modernes permettent maintenant la mesure simultanée de l'exposition au bruit selon les deux facteurs de bissection.

Le seuil d'intégration (85 dBA vs 80 dBA ou inférieur) peut aussi contribuer significativement aux écarts entre des mesures réalisées avec un facteur de bissection $Q = 5$ dB et $Q = 3$ dB. Pour le RSST actuel, c'est le cas, plus particulièrement lorsque les niveaux sonores fluctuent près du seuil d'intégration de 85 dBA et que ceux inférieurs à 85 dBA sont les plus contributifs à l'exposition (tableau 2).

Figure 1 Distribution des niveaux de bruit pour deux fonctions (évolution temporelle) selon ISO 1999:1990 et OSHA; données québécoises de Poulin *et al.*, 1991



Source : Poulin *et al.* 1991⁽⁶²⁾, p. 14.

Tableau 1 Comparaison des différences entre les résultats des mesures de l'exposition quotidienne au bruit effectuées selon OSHA ou ISO 1999:1990 pour un même poste de travail; données québécoises de Poulin *et al.*, 1991

Poste de travail	OSHA	ISO	Différence
	dBA	dBA	dBA
Moyenne selon la figure C.1 (voir annexe C)	70 à 74,9		10
Scierie, opérateur tronçonneuse	72,3	89,4	17,1
Pépinière, emballeur	72,4	81,4	9
Moyenne selon la figure C.1 (annexe C)	80 à 84,9		6,7
Plastique, extrusion	84,6	100,4	15,8
Plastique, chef d'équipe	84,6	90,4	5,8
Moyenne selon la figure C.1 (annexe C)	90 à 94,9		2,8
Plastique, injection	91	92	1
Fabrication, équipement de transport, meulage	91	98	7

Source : Poulin *et al.*, 1991⁽⁶²⁾.

Note : données basées sur 184 dosimétries « OSHA » (Q = 5 dB et seuil d'intégration de 85 dBA) et « ISO » (Q = 3 dB et seuil d'intégration de 80 dBA).

Tableau 2 Résultats comparés de l'exposition quotidienne au bruit, avec utilisation ou non d'un seuil d'intégration, selon les facteurs de bissection associés au principe d'égalité d'énergie (Q = 3 dB) et d'égalité de nocivité (Q = 5 dB)

Exemple	Niveau de bruit (dBA)	Durée de l'exposition	Exposition quotidienne selon le facteur de bissection et la présence ou non d'un seuil d'intégration (sans seuil/avec seuil à 85 dBA)					
			Q = 3 dB		Q = 5 dB		Différence Q3-Q5	
			Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec
Niveaux de bruit fluctuant près du seuil d'intégration de 85 dBA; durée importante à moins de 85 dBA	84	7 h00	85 dBA	80 dBA	85 dBA	74 dBA	0 dBA	6 dBA
	89	1 h00						

Source : simulations réalisées par les auteurs à l'aide du « Progiciel de calculs en hygiène », version 7.5 (Judith Lord, équipe santé au travail, agence de la santé et des services sociaux de la Montérégie, 2014).

Tableau 3 Comparaison des résultats de l'exposition quotidienne au bruit (daily 8-hour time-weighted average ou TWA) mesurée en simultanée, selon les critères OSHA et NIOSH; données américaines.

	N. de travailleurs	Écarts des mesures (dBA)	Moyenne (dBA)	Écart-type (dBA)	Intervalle de confiance 95 % (dBA)
NIOSH (Q = 3 dB)	61	65,5-98,7	85,8	0,8	84,2-87,4
OSHA (Q = 5 dB)	61	52,2-93,9	79,2	1,0	77,1-81,3
Différences appariées	61	2,7-13,8	6,6	0,4	5,8-7,4

Source : Sriwattanatamma 2000, p. 337⁽¹²⁾.

Tout en gardant en tête les divers déterminants des écarts entre les mesures réalisées avec un facteur de bissection $Q = 3$ dB et $Q = 5$ dB, d'autres données plus récentes sont présentées en annexe. Le tableau B.6, en annexe, fournit une illustration de la sous-estimation pour le secteur de la construction⁽¹³⁾. Autre exemple, une étude de l'IRSST réalisée en 2004⁽⁸⁰⁾ auprès de conducteurs d'autobus scolaires^A a montré les écarts entre les expositions mesurées par dosimétrie. Selon la méthode utilisée, le niveau d'exposition quotidienne a varié entre 74,6 et 85,2 dBA ($L_{ex,8h}$, ISO 1999), et l'exposition quotidienne moyenne de 57,3 à 77,3 dBA selon le RSST actuel. Par ailleurs, une étude américaine^B a montré un écart moyen de 6,6 dBA entre les résultats des deux types de mesure (selon NIOSH $Q = 3$ dB, avec un seuil d'intégration de 80 dBA et OSHA $Q = 5$ dB avec un seuil d'intégration de 80 dBA) pour différents métiers tels qu'ajusteurs-soudeurs, électriciens, peintres, personnel d'entrepôts, etc. (tableau 3)⁽¹²⁾. Dans toutes ces études, les mesures effectuées avec un facteur de bissection $Q = 5$ dB sous-estimaient systématiquement l'exposition mesurée avec un facteur de bissection $Q = 3$ dB.

6.3 Influence du facteur de bissection sur le nombre de travailleurs exposés

Quelques études ont montré l'ampleur de la sous-estimation du nombre de travailleurs exposés à des niveaux de bruit à risque d'induire des pertes auditives permanentes avec le principe d'égalité de nocivité (facteur de bissection $Q = 5$ dB).

Une étude publiée en 2000⁽¹²⁾ a estimé l'augmentation de la proportion de travailleurs qui seraient visés par un programme de prévention des effets du bruit sur l'audition (*hearing conservation program*) avec un changement de facteur de bissection $Q = 5$ dB (OSHA) à $Q = 3$ dB (NIOSH). Réalisée à partir de mesures dosimétriques, l'étude a documenté divers corps d'emplois et comparé les différences dans les résultats de mesure de l'exposition quotidienne au bruit⁽¹²⁾

(tableau 3). L'impact sur l'établissement industriel où l'étude s'est déroulée correspondait à une augmentation de 2,7 fois du nombre de travailleurs visés par la limite de 85 dBA pour 8 heures d'exposition avec l'application des critères de NIOSH ($Q = 3$ dB) comparativement à ceux d'OSHA ($Q = 5$ dB). Cela correspond à une proportion de travailleurs éventuellement ciblés de 61 % ($Q = 3$ dB) au lieu de 23 % ($Q = 5$ dB).

Une autre étude américaine⁽⁶¹⁾ s'est intéressée aux variations de résultats pour 963 travailleurs provenant de 76 entreprises à partir d'une exposition mesurée simultanément avec un facteur de bissection $Q = 5$ dB (avec seuil d'intégration de 80 dBA) et $Q = 3$ dB (sans seuil d'intégration). L'utilisation d'un facteur de bissection de 5 dB sous-estime le nombre de travailleurs exposés selon les deux limites évaluées, soit 85 et 90 dBA. Pour la limite à ne pas dépasser, établie à 85 dBA, la proportion de travailleurs surexposés passe de 50 % ($Q = 5$ dB) à 74 % ($Q = 3$ dB) tandis que pour celle de 90 dBA, les proportions respectives sont de 21 % et de 38 %⁽⁸²⁾ (figure C.2, en annexe). Dans les usines étudiées, la proportion de travailleurs exposés à plus de 85 dBA ou 90 dBA et dont l'exposition a été mesurée sur des horaires de travail complets, serait de 1,5 à 1,8 fois plus élevée avec le facteur de bissection de 3 dB au lieu d'un facteur de 5 dB⁽⁸²⁾.

Au Québec, des mesures simultanées réalisées selon les deux facteurs de bissection par le RSPSAT, surtout dans des établissements des secteurs d'activités économiques désignés prioritaires pour la CNESST, permettent d'identifier aussi de tels écarts (tableau B.5, en annexe). La proportion de mesures de l'exposition quotidienne qui dépasse 85 dBA passe de 44 % ($Q = 5$ dB) à 77 % ($Q = 3$ dB). Dans le cas des mesures de 90 dBA et plus, la proportion passe de 21 % ($Q = 5$ dB) à 40 % ($Q = 3$ dB). Les proportions de travailleurs surexposés au-delà de 85 et 90 dBA avec un facteur $Q = 5$ dB et un facteur $Q = 3$ dB correspondent assez bien à celles rapportées dans

^A « Les niveaux de bruit équivalent (L_{eq}) ont été mesurés par le dosimètre selon la norme internationale ISO 1999:1990 (pas de seuil d'intégration et facteur de bissection de 3 dB) ainsi que selon le *Règlement sur la santé et la sécurité du travail* (seuil d'intégration de 85 dBA et facteur de bissection de 5 dB), ce qui permet de calculer les doses de bruit auxquelles sont exposés les conducteurs, et ce, en tenant compte de la durée réelle de l'exposition quotidienne » (Marcotte, 2004, p. 5)⁽⁸⁰⁾. La revue des tableaux 3-5 de l'étude portant sur les niveaux de bruit des diverses sources contributives à l'exposition des conducteurs permet d'identifier aussi le seuil d'intégration comme facteur explicatif des écarts entre les deux méthodes de mesure, bien que le rapport ne mentionne pas ce fait.

^B Réalisée dans une usine aux États-Unis.

l'étude de Daniel *et al.*, 2006⁽⁸¹⁻⁸²⁾ bien que les seuils d'intégration diffèrent^A.

Enfin, en ce qui a trait au secteur de la construction, l'étude de Neitzel⁽¹³⁾ montre qu'avec l'application d'un facteur de bissection 3 dB au lieu de 5 dB^B, il y a un écart moyen de 7,2 dB dans l'exposition quotidienne des métiers évalués^C. Cet écart fait en sorte que la proportion de travailleurs exposés au-delà de 90 dBA, dans ces métiers, passe de 13,2 % (L_{OSHA}, Q = 5 dB) à 45,3 % (L_{ISO}, Q = 3 dB) et que la proportion de ceux exposés à plus de 85 dBA passe de 39,7 % (L_{OSHA}, Q = 5 dB) à 82 % (L_{ISO}, Q = 3 dB) (tableau B.6 en annexe).

Conclusion

La mesure du bruit effectuée selon les paramètres de l'OSHA (Q = 5 dB) sous-estime l'exposition réelle des travailleurs au bruit et ne permet pas d'identifier l'ensemble des travailleurs à risque de pertes auditives permanentes causées par le bruit⁽⁷⁹⁾. De plus, cette sous-estimation du risque liée aux limites d'expositions permises fait en sorte que plusieurs travailleurs sont en fait surexposés, sans qu'on puisse les identifier adéquatement. Cela a été avancé pour expliquer pourquoi des travailleurs ont encore des pertes d'audition permanentes causées par le bruit au travail malgré la réglementation de l'OSHA et un amendement sur la préservation de l'audition (*Hearing Conservation Amendment*)⁽²⁹⁾. Une estimation représentative de l'exposition au bruit à risque d'induire des pertes auditives permanentes, tant au niveau individuel que populationnel, est essentielle à la prévention de la surdité professionnelle.

Quant au seuil d'intégration pour la mesure de l'exposition au bruit, les revues des études québécoises qui ont comparé les deux méthodes de mesure (facteur de bissection Q = 3 dB et Q = 5 dB) ont montré qu'il peut aussi influencer le résultat de la mesure de l'exposition. D'ailleurs, la norme ISO 1999 (et ISO 9612, puisque conformément à la section 5 de la norme ISO 1999:2013⁽²⁴⁾, la mesure de l'exposition au bruit se retrouve maintenant dans cette norme) ne retient pas l'application d'un tel seuil. Ce seuil correspond plutôt à la limite inférieure de la gamme de mesure sélectionnée sur le sonomètre ou le dosimètre. Cela fait en sorte que tous les niveaux de bruit pouvant contribuer significativement à l'exposition des travailleurs sont tenus en compte dans la mesure.

Enfin, les changements réglementaires, qui entreront en vigueur au Québec à compter du milieu de l'année 2023, tant pour les limites d'exposition que pour la mesure de l'exposition au bruit, utiliseront le principe du doublement du niveau de pression acoustique à chaque 3 dB (principe d'égalité d'énergie) et ne fixeront aucun seuil d'intégration. Ces changements concorderont avec les autres législations canadiennes ou internationales et seront aussi conformes avec les normes dans le domaine. Cela permettra alors de tenir compte de l'énergie réelle de tout type de bruit auquel les travailleurs québécois sont exposés pour mieux identifier et éliminer ou contrôler les risques pour l'audition.

^A Les seuils d'intégration des mesures varient comme suit : 1) selon un facteur de bissection de Q = 5 dB : RSPSAT 85 dBA (RSST actuel) et Daniell *et al.* 80 dBA (OSHA); 2) selon un facteur de bissection de Q = 3 dB : RSPSAT 80 dBA (jusqu'en 2013) puis aucun seuil par la suite, Daniell *et al.*, tout comme ISO 1999, aucun seuil paramétré pour les mesures effectuées selon NIOSH.

^B Tout comme ISO 1999, aucun seuil d'intégration n'a été paramétré pour les mesures selon NIOSH (Q = 3 dB) et le seuil d'intégration a été établi à 80 dB pour les mesures selon OSHA (Q = 5 dB) (Neitzel, 1999; p. 809)⁽¹³⁾.

^C En comparaison, au Québec, un écart moyen similaire, soit de 7,5 dB, a été calculé à partir des résultats de mesures faites par le RSPSAT dans le secteur de la construction (n = 223) selon un facteur de bissection 3 dB par rapport à un facteur de 5 dB (résultats non présentés).

Références bibliographiques

- (1) GROUPE CSA (avril 2014). *Z107.56-13 - Mesure de l'exposition au bruit*, 4^e éd., Mississauga (ON), Groupe CSA, 54 p.
- (2) FORTIER P., BOUFFARD S., LORD J., MONTPLAISIR L. et PÉPIN P. (2013). *Protocole sur le paramétrage des instruments de mesure du bruit (mis à jour 11 septembre 2014)*, [s.d.], Table de concertation nationale en santé au travail : Regroupement provincial des hygiénistes du travail des équipes régionales de santé publique, http://www.santeautravail.qc.ca/documents/126318/127424/2186884_doc-7YAfv.pdf
- (3) ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION (mars 2019). *Z107.56 : 18 - Mesure de l'exposition au bruit*, 5^e éd., Mississauga (ON), Groupe CSA, 52 p.
- (4) MICHEL, C., A. FUNÈS, R. MARTIN, FORTIER P., GIRARD S.-A., DESHAIES P., ST-CYR J.-P., TREMBLAY I. et GAGNÉ M. (2014). *Portrait de la surdité professionnelle acceptée par la Commission de la santé et de la sécurité du travail au Québec : 1997-2010 : troubles de l'audition sous surveillance* [Montréal], Institut national de santé publique du Québec, <https://www.inspq.qc.ca/publications/1770>
- (5) FUNES, A., R. MARTIN, P. FORTIER, P. DESHAIES, J.-P. ST-CYR et I. TREMBLAY (2015). *Surdité professionnelle : cas acceptés par la Commission de la santé et de la sécurité du travail au Québec - Mise à jour 1997-2012* [Montréal], Institut national de santé publique du Québec, « Rapport de surveillance », <https://www.inspq.qc.ca/publications/2018>
- (6) INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC [MARTIN, R.] (2020). « Répartition des surdités professionnelles (progressives) acceptées par la CNESST par année et taux d'incidence annuel. Ensemble du Québec, 1997 à 2018 », dans *Dossiers publics > Risques physiques > Bruit : Des ressources en surveillance des effets du bruit*, <https://www.santeautravail.qc.ca/documents/13275/bbc52d92-021e-46cc-924d-0a428143b19a>
- (7) GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, INSTITUT DE LA STATISTIQUE DU QUÉBEC (2016). *Fichier maître de l'Enquête québécoise sur la santé de la population (EQSP) 2014-2015. Rapport de l'onglet Plan national de surveillance produit par l'Infocentre de santé publique à l'Institut national de santé publique du Québec, le 5 décembre 2016 à 12:21. Mise à jour de l'indicateur le 26 octobre 2016*.
- (8) MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX (2015). *Programme national de santé publique 2015-2025: pour améliorer la santé de la population*, Québec, ministère de la Santé et des Services sociaux, Direction des communications, 85 p., <http://publications.msss.gouv.qc.ca/msss/fichiers/2015/15-216-01W.pdf>
- (9) COMMISSION DES NORMES, DE L'ÉQUITÉ, DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL, et VICE-PRÉSIDENTE AU PARTENARIAT ET À L'EXPERTISE-CONSEIL (2017). *Planification pluriannuelle en prévention-inspection 2017-2019. Santé et sécurité du travail* [Québec], Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail, <https://www.cnesst.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/dc1000-245web.pdf>
- (10) GOUVERNEMENT DU QUÉBEC (6 novembre 2019). « Projet de règlement Loi sur la santé et la sécurité du travail (chapitre S-2.1) : Santé et sécurité du travail — Modification, Code de sécurité pour les travaux de construction — Modification. Représentant à la prévention dans un établissement — Modification. Qualité du milieu de travail — Abrogation », *Gazette officielle du Québec*, vol. 151^e année, n° 45, p. 4514-4524.
- (11) AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (2018). *Audible sound TLV*, Cincinnati (OH), 28 p.
- (12) SRIWATTANATAMMA, P., et P. BREYSSE (2000). « Comparison of NIOSH noise criteria and OSHA hearing conservation criteria », *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 37, n° 4, p. 334-338.
- (13) NEITZEL, R., N. S. SEIXAS, J. CAMP et M. YOST (1999). « An assessment of occupational noise exposures in four construction trades », *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 60, n° 6, p. 807-817.
- (14) BALANAY, J. A. G., G. D. KEARNEY et A. J. MANNARINO (2016). « Noise exposure assessment among groundskeepers in a university setting : a pilot study », *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 13, n° 3, p. 193-202.

- (15) GREEN, D. R., et T. R. ANTHONY (2015). « Occupational noise exposure of employees at locally-owned restaurants in a college town », *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 12, n° 7, p. 489-499.
- (16) MCILVAINE, D., M. STEWART et R. ANDERSON (2012). « Noise exposure levels for musicians during rehearsal and performance times », *Medical Problems of Performing Artists*, vol. 27, n° 1, p. 31-36.
- (17) JADID, K., U. KLEIN et D. MEINKE (2011). « Assessment of noise exposures in a pediatric dentistry residency clinic », *Pediatric Dentistry*, vol. 33, n° 4, p. 343-348.
- (18) JOHNSON, D. L., PAPADOPOULOS P., WATFA N. et TAKALA J. (2001). « Chapter 4 : Exposure criteria, occupational exposure levels », dans Goelzer B., Hansen C.H. et Sehrndt G.A. (dir.), *Occupational exposure to noise : evaluation, prevention and control. A document published on the behalf of the World Health Organization (WHO)*, Dortmund (Germany), Federal Institute for Occupational Safety and Health, p. 79-102.
- (19) VON GIERKE *et al.* 1981 cités dans JOHNSON D.L. *et al.* (2001). « Chapter 4 : exposure criteria, occupational exposure levels », dans Goelzer B., Hansen C.H. et Sehrndt G.A. (dir.), *Occupational exposure to noise : evaluation, prevention and control. A document published on the behalf of the World Health Organization (WHO)*, Dortmund (Germany), Federal Institute for Occupational Safety and Health, p. 79-102.
- (20) VON GIERKE *et al.*, 1981 cités dans AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENIST (2018). *Audible Sound TLV*, Cincinnati (OH), 28 p.
- (21) TROTTIER M., LEROUX T. et DEADMAN J-É. (2004). « Chapitre 10 : Bruit », dans Roberge B., Deadman J.-É. et Legris M. (dir.), *Manuel d'hygiène du travail - Du diagnostic à la maîtrise des facteurs de risque*, Mont-Royal, Modulo-Griffon, p. 159-183.
- (22) HANSEN C.H. (2001). « Chapter 1 : Fundamentals of acoustics », dans Goelzer B., Hansen C.H. et Sehrndt G.A. (dir.), *Occupational exposure to noise : evaluation, prevention and control. A document published on the behalf of the World Health Organization (WHO)*, Dortmund (Germany), Federal Institute for Occupational Safety and Health, p. 23-52, https://www.who.int/occupational_health/publications/noise1.pdf
- (23) NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY (1998). *Criteria for a Recommended Standard - Occupational Noise Exposure - Revised Criteria 1998*, Cincinnati (OH), National Institute for Occupational Health and Safety, 106 p., « DHHS (NIOSH) Publication N°98-126 », <https://www.cdc.gov/niosh/docs/98-126/pdfs/98-126.pdf?id=10.26616/NIOSH PUB98126>
- (24) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (2013). *ISO 1999:2013 - Acoustics - Estimation of noise-induced hearing loss/Acoustique - Estimation de la perte auditive induite par le bruit*, Third edition., Genève, 23 p.
- (25) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (1990). *ISO 1999:1990 (F) - Acoustique - Détermination de l'exposition au bruit en milieu professionnel et estimation du dommage auditif induit par le bruit. 2e édition*, Genève, 16 p.
- (26) L'ESPÉRANCE, A., A. BOUDREAU, F. GARIÉPY et P. BACON (2005). *Réduction du bruit dans les CPE par la réduction du temps de réverbération: Analyses et études de cas*, Montréal, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, 65 p., « Études et recherches. Rapport R-435 », <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSSST/R-435.pdf?v=2017-09-21>
- (27) STEPHENSON *et al.* 1980 cités dans JOHNSON D.L. *et al.* (2001). « Chapter 4 : Exposure criteria, occupational exposure levels », dans Goelzer B., Hansen C.H. et Sehrndt G.A. (dir.), *Occupational exposure to noise : evaluation, prevention and control. A document published on the behalf of the World Health Organization (WHO)*, Dortmund (Germany), Federal Institute for Occupational Safety and Health, p. 79-102.

- (28) BIES & HANSEN 1990, BIES 1990, CLARK ET PAPRIKA 1989, KRAAK *et al.*, 1977 ET KRAAK 1981 cités dans JOHNSON D.L. *et al.* (2001). « Chapter 4 : Exposure criteria, occupational exposure levels », dans Goelzer B., Hansen C.H. et Sehrndt G.A. (dir.), *Occupational exposure to noise : Evaluation, prevention and Control. A document published on the behalf of the World Health Organization (WHO)*, Dortmund (Germany), Federal Institute for Occupational Safety and Health, p. 79-102.
- (29) MADISON T.K. (2007). « Recommended changes to OSHA noise exposure dose calculation », *3M JobHealth Highlights*, vol. 25, n° 8, p. 1-15.
- (30) WARD AND TURNER, 1982; WARD *et al.*, 1982; WARD AND NELSON, 1971 cités par AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (2018). *Audible sound TLV*, Cincinnati (OH), 28 p.
- (31) SHAW, E. A. G. (1985). *Occupational/noise exposure and noise-induced hearing loss : scientific issues, technical arguments and practical recommendations, APS707. A report prepared for the Special Advisory Committee on the Ontario noise regulation*, Ottawa, National Research Council, Division of Physics, « NRCC/CNRC No. 25051 ».
- (32) PASSCHIER- VERMEER 1971, 1973 cités dans AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (2018). *Audible sound TLV*, Cincinnati (OH), 28 p.
- (33) SUTER A.H. (2000). « Chapitre 47 - Le bruit », dans Stellman J.M. (dir.), *Encyclopédie de sécurité et de santé au travail - 3e édition française, traduction de la 4e édition anglaise*, Genève, Bureau international du travail (BIT), p. 47.1-47. 20.
- (34) JAMES, S., F. DE BOODT, P. VAN DER VEKEN, S. ABEL, J. BAUDOU, K. BUCK, D. SARAFIAN, R. DRULLMAN, S. VAN WIJNGAARDEN, V. S. BJORN, P. HENRY et R. I. MCKINLEY (2010). *Hearing protection : needs, technologies and performance (RTO technical report, TR-HFM-147) 2010*, Neuilly-sur-Seine, North Atlantic Treaty Organisation (NATO/OTAN), [https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Technical%20Reports/RTO-TR-HFM-147/\\$\\$TR-HFM-147-ALL.pdf](https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Technical%20Reports/RTO-TR-HFM-147/$$TR-HFM-147-ALL.pdf)
- (35) US NAVY & MARINE - BUREAU OF MEDICINE & SURGERY (15 septembre 2008). *Navy medical department hearing conservation program procedures (Technical manual NMCPHC – TM 6260.51.99-2)*, Portsmouth (VA), Navy and Marine Corps Public Health Center, 43 p., https://www.trngcmd.marines.mil/Portals/207/Docs/safety/tm6260_51_99-2_september2008.pdf?ver=qvy3F2MBrzeVvha-tKiedQ%3d%3d
- (36) LAROCHE C., VALLET M. et AUBRÉE D. (2003). « Chapitre 18 : Bruit », dans Gérin M., Gosselin P., Cordier S., Viau C., Quénel P. et Dewailly E. (dir.), *Environnement et santé publique : fondements et pratiques*, Acton Vale/Paris, Édisem/Tec & Doc, p. 479-497, https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/bitstream/handle/1866/12280/Chapitre_18.pdf?sequence=22&isAllwed=y
- (37) SHEIKH, M. A., W. WILLIAMS et R. CONNOLLY (2016). « Exposure to ototoxic agents and noise in workplace – a literature review », dans I. D. M. Hillock et D. J. Mee (dir.), *Proceedings of Acoustics 2016, 9-11 November 2016, The Second Australasian Acoustical Societies Conference*, Brisbane (Australia), Australian Acoustical Society, Queensland Division; The Acoustical Society of New Zealand, p. 1-10, http://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/AASNZ2016/papers/p10.pdf
- (38) P. CAMPO, K. MAGUIN, S. GABRIE, A. MÖLLER, E. NIES, M.D. SOLÉ GÓMEZ et E. TOPPILA (2009). *Combined exposure to noise and ototoxic substances [Literature review]*, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities [European Agency for Safety and Health at Work], TE-80-09-996-EN-N, <https://osha.europa.eu/en/publications/combined-exposure-noise-and-ototoxic-substances>
- (39) HORMOZI, M., A. ANSARI-MOGHADDAM, R. MIRZAEI, J. DEGHAN HAGHIGHI et F. EFTEKHARIAN (19 juin 2017). « The risk of hearing loss associated with occupational exposure to organic solvents mixture with and without concurrent noise exposure: A systematic review and meta-analysis », *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, vol. 30, n° 4, p. 521-535.
- (40) ZHU, S., H. SAKAKIBARA et S. YAMADA (1997). « Combined effects of hand-arm vibration and noise on temporary threshold shifts of hearing in healthy subjects », *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 69, n° 6, p. 433-436.

- (41) SZANTO, C., et S. LIGIA (1999). « Correlation between vibration induced white finger and hearing loss in miners », *J Occup Health*, vol. 41, n° 4, p. 232-237.
- (42) TURCOT, A., S. A. GIRARD, M. COURTEAU, J. BARIL et R. LAROCQUE (2015). « Noise-induced hearing loss and combined noise and vibration exposure », *Occupational Medicine (Oxford, England)*, vol. 65, n° 3, p. 238-244.
- (43) LIE, A., M. SKOGSTAD, H. A. JOHANNESSEN, T. TYNES, I. S. MEHLUM, K.-C. NORDBY, B. ENGDahl et K. TAMBS (2016). « Occupational noise exposure and hearing: a systematic review », *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 89, n° 3, p. 351-372.
- (44) BEHAR, A. (2019). « Noisy Notes - Noise, vibrations, and hearing loss », *Canadian Audiologist*, vol. 6, n° 1, <http://www.canadianaudiologist.ca/issue/volume-6-issue-1-2019/column/noisy-notes/>
- (45) MÉNARD, L. (1989). *Exposition au bruit des travailleurs préposés au déneigement mesurée selon OSHA et ISO : rapport de recherche*, Montréal, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), « Rapport RA-033 », <http://www.irsst.qc.ca/files/documents/PubIRSST/RA-033.pdf>
- (46) EMBLETON T.F.W., et I-INCE (1997). « Technical assessment of upper limits on noise in the workplace (approved by International Institute of Noise Control Engineering). Report by the International Institute of noise control engineering working party on "Upper limits of noise in the workplace" », *Noise/News International*, December, p. 202-216.
- (47) LANG, W. W., et T. TEN WOLDE (2006). « A global approach to global noise policy. Part 2: occupational noise », *Noise Ctrl Eng J*, vol. 54, n° 5, p. 298-308.
- (48) AMERICAN ACADEMY OF AUDIOLOGY (2003). *Position statement - Preventing noise-induced occupational hearing loss*, [Reston (VA)], 12 p., <http://www.caohc.org/pdfs/AAA%20position%20statement.pdf>
- (49) NEITZEL R. (2010). « Comments from the National Hearing Conservation Association (NHCA) regarding 29 CFR 1910.95, Occupational noise exposure », dans *OSHA Listens Stakeholder Meeting, Feb 10, 2010*, Washington (DC), National Hearing Conservation Association, 2 p.
- (50) STEPHENSON, 2008; SUTER, 1993 cités dans NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING OF NATIONAL ACADEMIES (2010). *Technology for a quieter America*, Washington (DC), National Academy Press, 192 p.
- (51) COOPER, 2009 cité dans NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING OF NATIONAL ACADEMIES (2010). *Technology for a quieter America*, Washington (DC), National Academy Press, 192 p.
- (52) AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE (2006). *ANSI S3.44-1996 (R 2006) : Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing Impairment (with erratum)*, Melville (NY), American National Standards Institute (ANSI).
- (53) ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION (1987). *CAN/CSA : Z107.56-M86 - Méthode de mesure de l'exposition au bruit en milieu de travail*, Toronto (ON), Association canadienne de normalisation, 48 p.
- (54) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (2016). *ISO 1996-1:2016. Acoustics : Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 1: Basic quantities and assessment procedures. 2016-03-01*, Genève, International Organization for Standardization (ISO), 47 p.
- (55) INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION (2017). *ISO 1996-2:2017. Acoustics : Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 2: determination of sound pressure levels*, Genève, International Standard Organization (ISO), 60 p.
- (56) ARENAS, J. P., et A. H. SUTER (octobre 2014). « Comparison of occupational noise legislation in the Americas: an overview and analysis », *Noise & Health*, vol. 16, n° 72, p. 306-319.
- (57) COMMISSION EUROPÉENNE (2003). « Directive 2003/10/CE du Parlement européen et du Conseil du 6 février 2003 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (bruit). (dix-septième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE) », *Journal officiel de l'Union européenne*, 15 février 2003, p. L 42/38-L 42/44.
- (58) MARTIN, R., P. DESHAIES, M. POULIN, M. CHAPADOS et É. TURCOTTE. *Pour des environnements sonores sains. Volume 6 - Contexte sociolégislatif à l'égard du bruit au Québec et au Canada (version de travail non publiée)*, [Montréal], Institut national de santé publique du Québec, 71 p.

- (59) KRYTER *et al.*, 1965, 1976 SCHORI, JOHNSON ET SCHORI 1977 cités dans JOHNSON D.L. *et al.*, (2001). « Chapter 4: Exposure criteria, occupational exposure levels », dans Goelzer B., Hansen C.H. et Sehrndt G.A. (dir.), *Occupational exposure to noise : evaluation, prevention and control. A document published on the behalf of the World Health Organization (WHO)*, Dortmund (Germany), Federal Institute for Occupational Safety and Health, p. 79-102.
- (60) SCHORI 1976 cité dans JOHNSON D.L. *et al.*, (2001). « Chapter 4 : Exposure criteria, occupational exposure levels », dans Goelzer B., Hansen C.H. et Sehrndt G.A. (dir.), *Occupational exposure to noise : evaluation, prevention and control. A document published on the behalf of the World Health Organization (WHO)*, Dortmund (Germany), Federal Institute for Occupational Safety and Health, p. 79-102.
- (61) OCCUPATIONAL SAFETY & HEALTH ADMINISTRATION *Code of Federal Regulations. Title 29. Part 1910, section 95 : Occupational noise exposure [29 CFR 1910.95]*, [Washington], Occupational Safety & Health Administration, https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9735
- (62) C. POULIN, M. LEGRIS et C. DAOUST (1991). « La différence entre les mesures de bruit selon OSHA et ISO », *Travail et Santé*, vol. 74, n° 4, p. 11-15.
- (63) SUTER A.H. (1993). « The relationship of the exchange rate to noise-induced hearing loss », *Noise News International*, vol. 1, n° 3, p. 131-151.
- (64) WARD 1980 cité dans MADISON (2007). « Recommended changes to OSHA noise exposure dose calculation », *3M JobHealth Highlights*, vol. 25, n° 8, p. 1-15.
- (65) KARDOUS, M. S., C. L. THEMANN, T. C. MORATA et W. G. LOTZ (8 février 2016). *Understanding noise exposure limits : occupational vs. general environmental noise*, NIOSH Science Blog, <https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2016/02/08/noise/#comment-387307>
- (66) SUTER, A. H. (23 février 2013). « The exchange rate and noise Induced hearing loss (presentation) », dans *The Art of Hearing Conservation, 38th Annual Hearing Conservation Conference - NHCA*, St-Petersburg (FL), 22 p.
- (67) NEITZEL, R. L. Dans, M. S. KARDOUS, *et al.* (16 février 2016). *Understanding noise exposure limits : occupational vs. general environmental noise*, NIOSH Science Blog, <https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2016/02/08/noise/#comment-387307>
- (68) BRÜEL & KJAER (2000). *Bruit de l'environnement*, Naerum (Danemark), Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement, <https://www.bksv.com/media/doc/br1627.pdf>
- (69) MILLS, 1970; MELNICK, 1974; MELNICK ET MAVES, 1974 cités dans MADISON (2007). « Recommended changes to OSHA noise exposure dose calculation », *3M JobHealth Highlights*, vol. 25, n° 8, p. 1-15.
- (70) WARD AND TURNER, 1982; WARD *et al.* 1982; BOHNE AND PEARSE, 1982; BOHNE *et al.* (1982, 1985) AND CLARK *et al.* 1987 CITÉS PAR AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (2018). *Audible sound TLV*, Cincinnati (OH), 28 p.
- (71) DOBIE, R. A., et W. W. CLARK (février 2014). « Exchange rates for intermittent and fluctuating occupational noise: a systematic review of studies of human permanent threshold shift », *Ear and Hearing*, vol. 35, n° 1, p. 86-96.
- (72) MORATA, T. C., C. L. THEMANN, D. C. BYRNE, R. R. DAVIS, W. J. MURPHY et M. R. STEPHENSON (août 2015). « Letter to the Editor : Scientific rigor required for a re-examination of exchange rate for occupational noise measurements Re: Dobie, R.A., & Clark, W.W. (2014) Exchange rates for intermittent and fluctuating occupational noise : A systematic review of studies of human permanent threshold shift, *Ear Hear*, 35, 86-96 », *Ear and Hearing*, vol. 36, n° 4, p. 488-491.
- (73) SUTER, A. H. (août 2015). « Letter to the Editor: An alternative interpretation of issues surrounding the exchange rates Re: Dobie, R.A., & Clark, W.W. (2014) Exchange rates for intermittent and fluctuating occupational noise: A systematic review of studies of human permanent threshold shift, *Ear Hear*, 35, 86-96 », *Ear and Hearing*, vol. 36, n° 4, p. 485-487.
- (74) DOBIE, R. A., et W. W. CLARK (août 2015). « Response to Suter and NIOSH », *Ear and Hearing*, vol. 36, n° 4, p. 492-495.
- (75) SCORY, H. (1987). *Une norme pour le dosimètre de l'OSHA*, Montréal, Institut de recherche en santé et en sécurité du travail.
- (76) SCORY, H., et J. BOUTIN (1987). *Rapport d'appréciation des performances des instruments de mesure du bruit utilisés dans le réseau CSST*, Montréal, Institut de recherche en santé et en sécurité du travail, 38 p., « Rapport T-07 », <https://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/T-07.pdf>

- (77) SCORY, H. (1985). *Comportement des dosimètres en présence de bruits impulsifs*, Montréal, Institut de recherche en santé et en sécurité du travail.
- (78) LALONDE, M., et P. FORTIER (1995). « Bruit d'armes à feu : évaluation de l'exposition des policiers dans une salle de tir », *Travail et Santé*, vol. 11, n° 1, p. 44-50.
- (79) FORTIER, P. (2010). *Discussion sur la pratique du bruit : Réponses aux questions soulevées par le regroupement à l'IRSST. (Bien livrable planification 2010 – RPHT - Regroupement provincial en hygiène du travail, Thème : Amélioration continue)*, Longueuil, agence de la santé et des services sociaux de la Montérégie/Direction de la santé publique et Institut national de santé publique du Québec.
- (80) MARCOTTE, P., P.-É. BOILEAU et J. BOUTIN (2004). *Étude de l'exposition professionnelle au bruit des conducteurs d'autobus scolaires*, Montréal, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, 42 p., « Rapport R-364 », <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-364.pdf>
- (81) DANIELL, W. E., S. S. SWAN, M. M. MCDANIEL, J. E. CAMP, M. A. COHEN et J. G. STEBBINS (2006). « Noise exposure and hearing loss prevention programmes after 20 years of regulations in the United States », *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 63, n° 5, p. 343-351.
- (82) DANIELL, W. E., S. S. SWAN, M. M. MCDANIEL, J. E. CAMP, M. A. COHEN et J. G. STEBBINS (2006). « Correction : Noise exposure and hearing loss prevention programmes after 20 years of regulations in the United States », *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 63, n° 6, p. 436.
- (83) CENTRE CANADIEN D'HYGIÈNE ET DE SÉCURITÉ AU TRAVAIL (6 avril 2016). « Limites de l'exposition au bruit lors des heures de travail prolongées », dans CCHST, http://www.cchst.ca/oshanswers/phys_agents/exposu_re_ext.html
- (84) MINISTRY OF MANPOWER SINGAPORE (2003). *Guidelines for noise labelling. machine noise emission information and labelling : A guide for suppliers of machines and equipment*, Singapore, Occupational Health and Safety Division, 19 p.
- (85) NEITZEL R. (2007). *Noise exposure standards around the world - 11/26/2007*, Washington (DC), Department of Environmental and Occupational Health Sciences, University of Washington.
- (86) E-A-R (2010). « Comparison of regulations across Canada (Excel spreadsheet). [Indianapolis, E.A.R. Inc.] [update 2014-02-25] », http://multimedia.3m.com/mws/media/940954O/comparison-of-regulations-across-canada.xls?fn=CA_Reg_Compare_2010.0921.xls
- (87) AUSTRIA [AUTRICHE], et DIVISION OF EMPLOYMENT LAW AND THE CENTRAL LABOUR INSPECTORATE (2006). « Bundesrecht konsolidiert : Verordnung Lärm und Vibrationen § 5 [Loi fédérale consolidée : Ordonnance sur le bruit et les vibrations Section 5]. Verordnung Lärm und Vibrationen [Règlement bruit et vibrations] », *BGBI. II [Journal officiel fédéral II]*, n° 22, <https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/Bundesnormen/NOR40075155/NOR40075155.pdf>.
- (88) TERRITOIRES DU NORD-OUEST (2015). *Règlement sur la santé et la sécurité au travail (R-039-2015)*, Yellowknife (T. N.-O.), L'imprimeur territorial, <https://www.wscg.nt.ca/sites/default/files/documents/NEW%20OHS%20REGS.pdf>

Annexe A Liste de mots-clés utilisés pour la recherche

Les mots-clés suivants ont été utilisés autant pour les recherches dans les bases documentaires spécialisées que celles effectuées sur Internet.

En anglais :

- NIOSH osha noise
- noise at work occupational noise principle equal energy
- occupational noise measurement exchange rate
- OSHA NIOSH comparison results noise exposure
- occupational noise legislation comparison
- noise at work comparison OSHA ISO
- noise exposure dose OSHA NIOSH
- ISO OSHA NIOSH occupational noise

En français :

- exposition bruit travail facteur de bissection
- bruit travail principe égale énergie
- bruit travail principe égale nocivité
- bruit travail comparaison ISO OSHA
- bruit travail lois règlements comparaison
- exposition bruit travail ISO OSHA
- bruit OSHA NIOSH

Annexe B Tableaux

Tableau B.1 Recommandations visant l'utilisation d'un facteur de bisection de 3 dB pour l'évaluation du risque de pertes auditives permanentes causées par le bruit en milieu de travail (Suter 2013)

Application ou recommandations et l'année d'implantation ou de la recommandation	Consensus et positions des organisations professionnelles pour une limite de 85 dBA/8 heures (Q = 3 dB)
US Air Force 1955	ACGIH 1974
US Military Hearing Conservation Regulation 1956	International Institute of Noise Control Engineering (I-INCE) 1997
International Organization for Standardization (ISO) proposed draft 1961	American Industrial Hygiene Association (AIHA) 2002
ISO 1999:1971; ISO 1999:1990	International Safety Equipment Association (ISEA) 2006
US-EPA 1973, 1974	NIOSH 1996 (best practices guidelines)
US Air Force 1973 (4 dB, puis retour à 3 dB)	National Academy of Engineering of America 2010
Union européenne 1986	
American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) 1994	
National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) 1998 (Criteria Document)	

Adapté de : Suter 2013^[66].

Tableau B.2 Limites réglementaires de l'exposition quotidienne au bruit en milieu de travail, pour la préservation de l'audition, selon le pays ou l'organisme

Pays/Organisme ^a	Niveau de pression acoustique continu équivalent (dBA)		Bruit impulsionnel
	Critère pour 8 h d'exposition	Facteur de bissection	Niveau de pression acoustique de crête maximal (<i>L_{peak}</i>) permis
Afrique du Sud	85	-- ^b	135 dBA
Allemagne	85	3	140 dBC
Argentine	85	3	140 dBA
Australie	85	3	140 dBC
Autriche	85	3	137 dBC
Brésil	85	5	130 dB Lin
Canada	87 (85)	3	--
Québec (limites qui seront en vigueur le 16 juin 2023)	90 (85)	5 (3)	140 dBLin (100 i) ^e (140 dBC)
Ontario ^d , Alberta	85	3	--
Nouv.-Brunswick, Nouv.-Écosse	85	3	140 dBC
Col.-Britannique, Terre-Neuve	85	3	140 dBC
Île-du-Prince-Édouard	85	3	--
Manitoba, Saskatchewan	85	3	--
Territoires du Nord-Ouest	85	3	--
Yukon	85	3	140 dBLin _(90 i) ^f
Nunavut	85	3	140 dBC ^g
Chili	85	3	140 dBLin
Chine	70-90	3	--
Danemark	85 ^f	3	115 dBC
Équateur	85	5	140 dBLin
Espagne	85	3	140 dBC
États-Unis	90	5	140 dBLin
Armée et aviation (marine)	85 (84)	3	140 dBA
Finlande	85	3	140 dBLin
France	87	3	140 dBC
Hongrie	85	3	140 dBC
Inde	90	--	140 dBA
Irlande	85	3	140 dBLin
ISO (ISO 1999:2013)	85	3	--
Israël	85	5	140 dBC
Italie	85	3	140 dBC
Japon, Mexique	90	3	--
Norvège	85	3	130 dBC
Nouvelle-Zélande, Pérou	85	3	140 dBLin
Pays-Bas	85	3	140 dBA
Paraguay	85	5	140 dBLin
Pologne	85	3	130 dBLin _(100 i)
Royaume-Uni	87	3	137 dBC (140 dBC)
Singapour	85	3	140 dBA
Suède, Venezuela	85	3	140 dBC
Suisse	85 ou 87	3	140 dBC
Thaïlande	80-90	--	--
Union européenne	87	3	137 dBC (140 dBC)

^a Il peut exister quelques variations selon les États ou les provinces et des dispositions particulières s'appliquant à l'achat d'équipement. Se reporter aux documents originaux pour plus de détails.

^b Non précisé ou non applicable.

^c Secteur du pétrole et du gaz DORS/87-612, art. 8.2 (1).

^d Pour les secteurs industriels et installations pétrolières ou gazières « offshore ».

^e Québec : nombre « d'impacts » (i) permis pour une journée de 8 heures est de 100 pour un niveau de crête de 140 dBLin (100 i). Aucun impact n'est permis au-dessus de 140 dBLin. Nombre variable selon le niveau de crête : 130 dBLin (1 000 i); 121 dBLin (7 943 i).

^f Yukon : 90 impacts (i) permis par journée de 24 h pour un niveau de crête de 140 dBLin. Nombre variable selon le niveau de crête.

^g Ajouter 5 dB au L_{Aeq} lorsqu'il s'agit d'une exposition au bruit impulsionnel.

Sources : I-INCE⁽⁴⁶⁾; Trottier *et al.*⁽²¹⁾ : chap. 10, p. 172; Johnson *et al.* dans Goelzer *et al.*⁽¹⁸⁾ : p. 88-89; CCHOS⁽⁸³⁾; Ministry of Manpower-Singapore⁽⁸⁴⁾ p. 17 et 19; Neitzel 2007⁽⁸⁵⁾, Navy & Marine Corps Public Health Center 2008⁽⁸⁵⁾, James 2010⁽⁸⁴⁾, E-A-R⁽⁸⁶⁾, Österreich Bundesministerium für Arbeit [Autriche, ministère fédéral du travail]⁽⁸⁷⁾; Territoires du Nord-Ouest⁽⁸⁸⁾.

Tableau B.3 Comparaison des résultats de l'exposition quotidienne au bruit, mesurée selon ISO 1999 et OSHA, chez des travailleurs affectés aux opérations de déneigement

Fonctions évaluées	N.	« Doses » comparatives évaluées selon ISO et OSHA	
		ISO 1999	OSHA (Québec)
Conducteurs de chenillettes (vieux modèles)	2	96,4	94,6
Conducteurs de chenillettes (modèles récents)	6	91,0	89,5
Opérateurs de souffleuse (vieux modèles)	6	93,8	93,8
Opérateurs de souffleuse (modèles récents)	4	91,1	90,0
Conducteurs de tracteurs-chargeurs	10	91,8	89,0
Opérateurs d'auto-niveleuses ^a	10	86,9	83,5
Conducteurs de camions ^a	4	84,5	78,0
Signaleurs-poinçonneurs ^a	4	86,9	78,7

Source : Ménard, 1989 (résumé); tableau 3, p. 4⁽⁴⁵⁾.

^a Les différences entre les résultats sont associées surtout aux seuils d'intégration différents pour « ISO » (80 dBA) et « OSHA » (85 dBA).

Tableau B.4 Comparaison des résultats de l'exposition quotidienne au bruit, mesurée selon ISO 1999 et le Règlement sur la qualité du milieu de travail (RQMT)^A, pour des policiers lors d'exercices de tirs en salle

Fonctions évaluées	Arme et projectiles	Situation de tir	Niveaux d'exposition quotidienne selon ISO (L _{Aeq3,8h}); et exposition quotidienne moyenne RQMT (L _{Aeq5,8h}); dBA		Bruits impulsionnels dB _{lin}
			ISO 1999	RQMT (Québec)	Valeur de crête
Policier	Arme : Smith & Wesson, Magnum 357 50 balles chemisées et 12 balles semi-chemisées	Tireur seul (pas A, B ou C)	108	90	164 >165
		3 tireurs en même temps (pas A + pas B+ pas C)	110	88	n. d
Instructeur	Arme : Smith & Wesson, Magnum 357	Séance complète	111	93	154
Enquêteur	Arme : Sig Sauer, 9 mm 50 balles chemisées	Tireur seul (pas A, B ou C)	104	86	160
		3 tireurs en même temps (pas A + pas B+ pas C)	n. d	n. d	n. d
Instructeur	Arme : Sig Sauer, 9 mm	Séance complète	n. d	n. d	n. d

n. d. : non disponible.

Source : Lalonde et Fortier, 1995, p. 48⁽⁷⁸⁾.

^A Depuis cette étude, le RQMT a été remplacé par le RSST.

Tableau B.5 Comparaison des résultats de mesures simultanées de l'exposition quotidienne au bruit selon le $L_{eq,RSST}$ (en vigueur jusqu'au 16 juin 2023) et le $L_{ex,8h}$ effectuées par les équipes du Réseau de santé publique en santé au travail entre le 1^{er} janvier 2007 et le 31 décembre 2019 dans des établissements des secteurs d'activités économiques prioritaires et non prioritaires (SAE 1 à 32)

Indicateurs utilisés et catégories d'exposition		$L_{ex,8h}$ (Q = 3 dB)						Total	
		≤ 85 dBA		> 85 – ≤ 90 dBA		> 90 dBA			
		N.	%	N.	%	N.	%	N.	%
$L_{eq,RSST}$ (Q = 5 dB)	≤ 85 dBA	715 ^b	41,3	901	52,0	115	6,7	1 731	100,0
	> 85 – ≤ 90 dBA	a	-	231 ^c	32,9	471	67,1	702	100,0
	> 90 dBA	a	-	a	-	653 ^d	100,0	653	100,0
Total		715	23,2	1 132	36,7	1 239	40,1	3 086	100,0

Notes : 59 résultats aberrants retirés de l'analyse :

^a 9 résultats répartis dans trois catégories;

^b 8 résultats;

^c 10 résultats;

^d 32 résultats.

Sommaire des 3 086 résultats de mesures effectuées selon le		Cellules du tableau B.5 additionnées	TOTAL	
			N.	%
> 85 dBA	$L_{eq,RSST}$ (Q = 5 dB)	702 + 653	1 355	43,9 %
	$L_{ex,8h}$ (Q = 3 dB)	1132 + 1239	2 371	76,8 %
> 90 dBA	$L_{eq,RSST}$ (Q = 5 dB)	-	653	21,2 %
	$L_{ex,8h}$ (Q = 3 dB)	-	1 239	40,1 %

Source : G, Adib, INSPQ, Compilation effectuée à partir du Système d'information en santé au travail (SISAT) selon les données extraites le 9 août 2021.

Précisions méthodologiques : Pour la période du 1^{er} janvier 2007 au 31 décembre 2019, à partir du total des résultats de mesurage du bruit disponibles dans le SISAT (n = 36 614), seuls les résultats provenant de mesures simultanées selon les deux facteurs de bissection (Q = 5 dB et Q = 3 dB), avec une durée de pondération comprise entre 120 et 720 minutes et ayant des niveaux sonores d'au moins 65 dBA, mais inférieurs à 125 dBA ont été retenus. Ainsi, 3 145 résultats correspondaient à l'ensemble des critères de sélection énumérés, desquels 59 résultats aberrants (erreurs de saisie) ont été retirés, pour un total de 3 086 résultats de mesures analysés dans cette comparaison.

Tableau B.6 Comparaison des résultats de l'exposition quotidienne au bruit basée sur NIOSH/ISO 1999:1990 et OSHA TWA dans le secteur de la construction (États-Unis)

Postes de travail	N. de mesures	Moyenne (écart-type)	Moyenne (écart-type)	% > 85 dBA		% > 90 dBA	
		OSHA (dBA)	ISO (dBA)	L_{OSHA}	L_{ISO}	L_{OSHA}	L_{ISO}
Charpentier ^a	53	80,3 (8,6)	88,5 (6,8)	35,8	67,9	13,2	49,1
Ouvrier ^a	57	82,6 (7,5)	89,7 (6,4)	38,6	79,0	14,0	37,3
Travailleur de l'acier ^a	35	84,5 (5,2)	91,9 (5,2)	42,9	97,1	14,3	57,6
Ingénieur de chantier ^a	29	84,0 (4,0)	89,3 (3,6)	44,8	93,1	10,3	34,2
....
Tous les échantillons	174	82,5 (7,2)	89,7 (6,0)	39,7	82,0	13,2	45,3

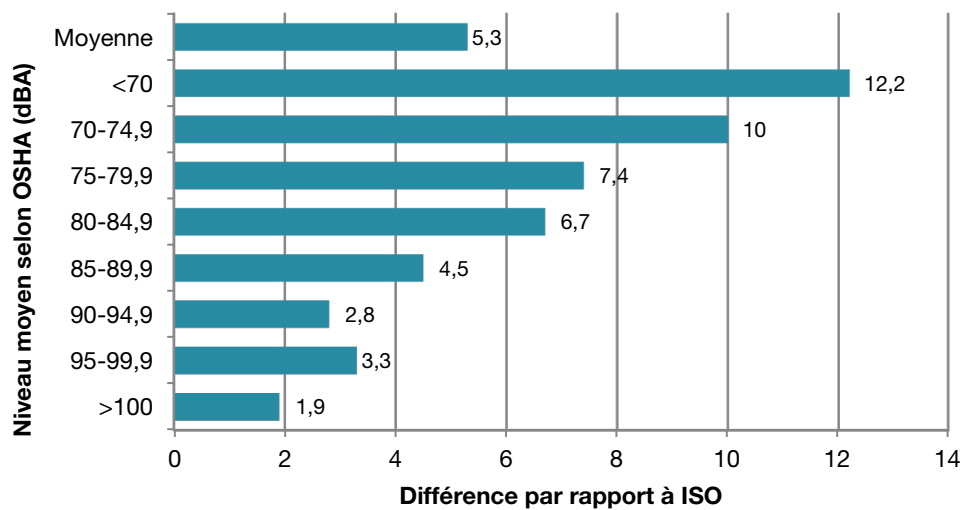
Traduit de : Neitzel, 1999, p. 811⁽¹³⁾ : TABLE III. L_{OSHA} (5-dB ER) and L_{eq} (3-dB ER) Noise Level TWAs : [ER : *exchange rate*; facteur de bissection].

^a Différences statistiquement significatives entre les niveaux moyens L_{OSHA} et L_{ISO} pour ces catégories (p < 0,05).

Note : Tout comme ISO 1999, aucun seuil d'intégration n'a été paramétré pour les mesures selon NIOSH (Q = 3 dB) et le seuil a été établi à 80 dB pour les mesures selon OSHA (Q = 5 dB) (Neitzel, 1999; p. 809).

Annexe C Figures

Figure C.1 Différence entre les résultats de mesure de l'exposition quotidienne au bruit selon ISO 1999:1990 et OSHA selon des données québécoises (Poulin *et al.*, 1991)



Source : Poulin *et al.* 1991⁽⁶²⁾, p. 14.

Note : données basées sur 184 dosimétries pour 109 postes de travail différents provenant de 10 secteurs d'activités économiques :

- « OSHA » : Q = 5 dB et seuil d'intégration de 85 dBA;
- « ISO » : Q = 3 dB et seuil d'intégration de 80 dBA.

Figure C.2 Mesures de bruit sur des périodes complètes de travail (full shift) selon le type d'industrie. Différence entre les résultats des mesures de l'exposition quotidienne au bruit selon OSHA (Q = 5 dB) (Average noise level (L_{ave} ; dBA) par rapport à NIOSH/ISO 1999 (Q = 3 dB) (Average noise level (L_{eq} ; dBA)

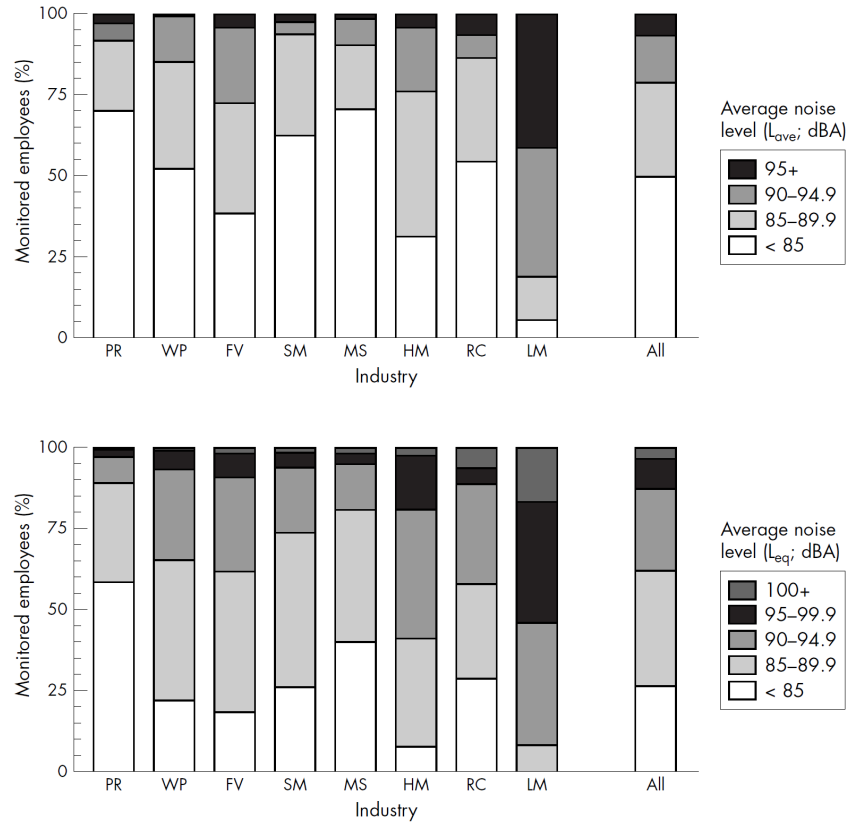


Figure 1 Full-shift personal noise exposure (L_{ave} and L_{eq}), by industry. L_{ave} or L_{eq} , full-shift time weighted average sound pressure level using OSHA (5 dB exchange) or NIOSH (3 dB exchange) parameters, respectively. PR, printing; WP, wood products mfg; FV, fruit/vegetable mfg; SM, sheet metal mfg; MS, machine shops; HM, heavy gauge metal mfg; RC, road construction; LM, lumber milling.

Source : Daniell 2006^(B1), p. 347.

Centre d'expertise
et de référence

www.inspq.qc.ca