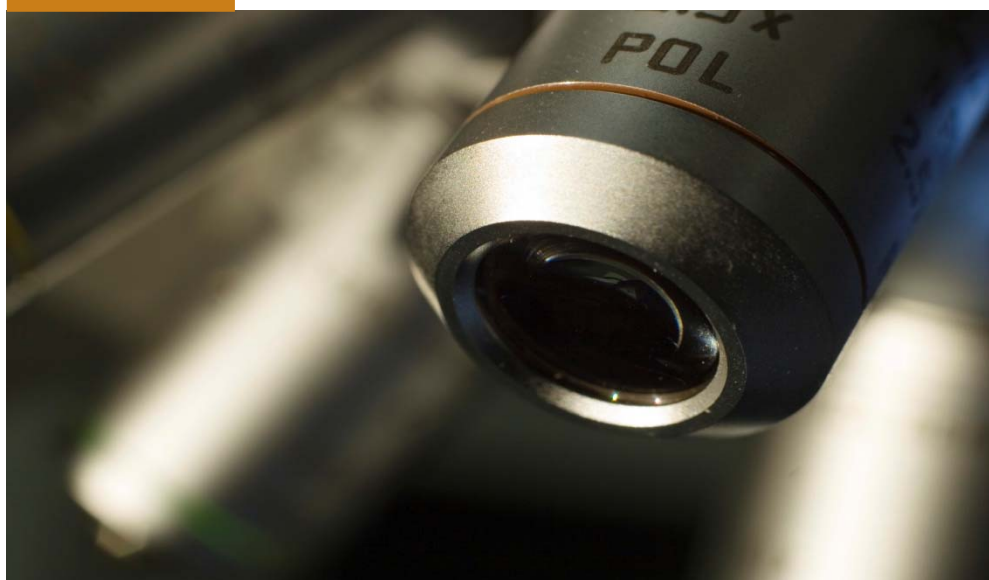




Réadaptation au travail

Études et recherches

 RAPPORT R-929



Utilisation des prothèses auditives en milieu de travail bruyant

*Tony Leroux
Chantal Laroche
Christian Giguère
Jérémy Voix*





**Solidement implanté au Québec depuis 1980,
l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé
et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme
de recherche scientifique reconnu internationalement
pour la qualité de ses travaux.**

NOS RECHERCHES

travaillent pour vous !

Mission

Contribuer, par la recherche, à la prévention
des accidents du travail et des maladies
professionnelles ainsi qu'à la réadaptation
des travailleurs qui en sont victimes;

Assurer la diffusion des connaissances et jouer un rôle
de référence scientifique et d'expertise;

Offrir les services de laboratoires et l'expertise
nécessaires à l'action du réseau public
de prévention en santé et en sécurité du travail.

*Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent
en nombre égal des représentants des employeurs
et des travailleurs, l'IRSST est financé par la
Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail.*

Pour en savoir plus

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez
une information complète et à jour.

De plus, toutes les publications éditées
par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement.
www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée
ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement
au magazine *Prévention au travail*,
publié conjointement par l'Institut et la CNESST.
Abonnement : preventionautravail.com

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec
2017

ISBN : 978-2-89631-890-2

ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
et de la valorisation de la recherche
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2

Téléphone : 514 288-1551

publications@irsst.qc.ca

www.irsst.qc.ca

© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
Janvier 2017



Réadaptation au travail

Études et recherches

RAPPORT R-929

Utilisation des prothèses auditives en milieu de travail bruyant

Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document. En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information.

Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle.



Cette publication est disponible
en version PDF
sur le site Web de l'IRSST.

Tony Leroux, Université de Montréal

*Chantal Laroche, Christian Giguère
Université d'Ottawa
Jérémie Voix
École de technologie supérieure*

Avec la collaboration de :

*Véronique Vaillancourt, Université d'Ottawa
Martine Gendron, Institut Raymond-Dewar,
CIUSSS Centre-sud de l'Île-de-Montréal
Pauline Fortier, Institut national de santé publique du Québec
Louise Paré, CISSS de Lanaudière*

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

ÉVALUATION PAR DES PAIRS

Conformément aux politiques de l'IRSST, les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

REMERCIEMENTS

L'équipe de recherche n'aurait pu compléter cette étude sans le soutien de nombreuses personnes provenant de divers horizons. Tout d'abord, l'équipe de recherche désire souligner l'apport des membres du comité de suivi qui ont émis de précieux commentaires tout au long du processus. Par ailleurs, Monsieur François Ouellet, conseiller en valorisation à l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) a su maintenir l'intérêt de tous les acteurs en s'assurant de tisser des liens entre les membres du comité de suivi et de l'équipe de recherche. La contribution des nombreux professionnels de la santé (audioprothésistes, audiologistes, médecins et infirmières du réseau de santé publique en santé au travail, médecins otorhinolaryngologistes (ORL) qui ont répondu aux questionnaires et qui ont participé aux groupes de discussion a été grandement appréciée. Sans eux, cette étude n'aurait pas pris tout son sens. Des remerciements doivent aussi être adressés aux travailleurs exposés au bruit en milieu de travail qui ont accepté de participer à des groupes de discussion; leurs propos ont grandement enrichi le contenu du rapport. Des étudiants de l'Université d'Ottawa ont aussi collaboré à cette étude en choisissant de faire porter leur projet de recherche de maîtrise professionnelle sur certains thèmes déterminés par l'équipe. Leur contribution mérite d'être soulignée. Finalement, plusieurs manufacturiers ont fourni des réponses techniques aux questions posées par l'équipe, ce qui a été grandement apprécié.

SOMMAIRE

Le bruit est encore très présent en milieu de travail. Plusieurs travailleurs vivent donc quotidiennement avec une surdité professionnelle. D'autres peuvent par ailleurs présenter une surdité d'origine non professionnelle et enfin, la population active vieillissante présente plus de risques de souffrir d'une perte auditive. Une surdité peut compromettre la réalisation efficace des tâches et la sécurité du travailleur et celle d'autrui lorsqu'elle est accompagnée de difficultés à percevoir des signaux sonores, à comprendre la parole en présence de bruit et à bien localiser la provenance des sons dans l'espace. Afin de maintenir une juste perception de l'environnement sonore et de réaliser leur travail de façon sécuritaire, efficace et autonome, une solution envisageable pour les travailleurs atteints d'une surdité pourrait être de porter des prothèses auditives. Une telle option soulève par contre des questionnements importants quant à la possibilité de ces prothèses de réellement optimiser les capacités auditives requises des travailleurs pour la réalisation de leurs tâches et d'amplifier les sons utiles à des niveaux qui demeurent sécuritaires afin de ne pas exacerber la perte auditive.

Peu d'études scientifiques ont porté sur la problématique du port des prothèses auditives en milieu de travail bruyant. Ainsi, on connaît très peu l'ampleur de cette pratique et les risques et bénéfices qui y sont associés. Cette étude impliquant une quête d'information auprès des professionnels de la santé, des travailleurs et des manufacturiers ainsi qu'une revue de la littérature scientifique, vise donc à : 1) explorer la fréquence du port de prothèses auditives en milieu de travail bruyant; 2) examiner le risque d'aggravation de la surdité des travailleurs lors de l'utilisation de prothèses auditives en milieu de travail bruyant et établir des méthodes de mesure valides pour évaluer les risques de suramplification; 3) déterminer si les prothèses auditives peuvent être utilisées pour soutenir les besoins d'écoute et de communication, sans risque d'aggraver la surdité ni de compromettre la sécurité et 4) établir si d'autres technologies d'amplification et de protection (p. ex. : protecteurs à rétablissement du son) peuvent contribuer à améliorer les performances auditives au travail, ou du moins à ne pas les détériorer.

Bien que cette étude n'ait pas permis de déterminer avec précision le nombre de travailleurs utilisant des prothèses auditives en milieu de travail bruyant, bon nombre de professionnels de la santé rapportent avoir vu, au moins une fois au cours des cinq dernières années, un travailleur qui utilise ses prothèses en milieu bruyant ou qui s'interroge sur la possibilité de le faire. Parmi les obstacles à une gestion adéquate de ces cas, on rapporte, entre autres, un manque de méthodes de mesure valides du risque de suramplification, de lignes directrices claires, ainsi que de mécanismes de consultation et de collaboration entre les divers professionnels impliqués. Le partage de l'information entre les professionnels au regard des contextes et des niveaux sonores, des exigences du poste de travail et des solutions envisageables, est particulièrement limité. Le rôle de chacun des professionnels est méconnu, ce qui n'encourage pas l'interdisciplinarité. Dans la plupart des cas, le professionnel tente de préserver l'audition résiduelle du travailleur en décourageant le port de prothèses auditives en milieu de travail bruyant, mais, ce faisant, il peut alors sous-estimer le besoin d'entendre de ces travailleurs pour des questions d'efficacité, de sécurité et de communication.

Une revue de la littérature, incluant celle sur les technologies actuelles, n'a pas permis de tirer de conclusion claire sur le risque d'aggravation de la surdité associé au port de prothèses auditives, ni de déterminer une méthode valide, fiable et standardisée pour documenter ou prédire ce

risque. Par ailleurs, les recommandations destinées aux travailleurs demeurent assez limitées et ne sont généralement pas appuyées par des données probantes.

Outre la suramplification, les professionnels de la santé s'interrogent également sur la possibilité que les prothèses auditives compromettent la sécurité des travailleurs en réduisant certaines capacités auditives nécessaires pour l'exécution autonome et sécuritaire des tâches en milieu de travail. Selon le type d'ajustement des paramètres, on peut parfois noter une baisse de performance sur le plan de la compréhension de la parole en présence de bruit lors du port des prothèses comparativement à une condition sans prothèse. Certains ajustements peuvent toutefois contribuer à améliorer cette capacité dans certaines situations, comme c'est le cas avec l'utilisation des microphones directionnels qui amplifient davantage les sources sonores placées directement devant un individu plutôt que celles qui sont derrière lui, alors que d'autres, comme les réducteurs de bruit, contribuent plutôt à améliorer le confort d'écoute et la qualité sonore, tout en réduisant l'effort exigé pour entendre. La littérature scientifique est moins concluante sur l'effet des prothèses auditives quant à leur capacité à localiser des sons dans l'espace, mais, en général, les performances sont meilleures sans leur port. Bref, les données scientifiques actuelles ne permettent pas de démontrer clairement que les prothèses auditives contribuent à améliorer les capacités auditives requises, tant pour l'exécution autonome des tâches de travail que pour assurer la sécurité des travailleurs malentendants. Ces données ne permettent pas non plus d'affirmer avec certitude que l'utilisation de prothèses auditives représente un risque pour la sécurité de ces travailleurs.

Une revue des options alternatives ou supplémentaires au port de prothèses auditives devient alors pertinente. Malgré les avancées technologiques remarquables à certains égards dans le domaine des protecteurs auditifs actifs et leur appréciation généralement favorable de la part des travailleurs, il ne semble toujours pas exister de dispositif qui puisse améliorer systématiquement les capacités auditives. D'autre part, un ajustement souple et personnalisé des protecteurs auditifs actifs demeure limité comparativement à ce qui est possible avec les prothèses auditives. Il est par ailleurs difficile de sélectionner un produit adapté aux besoins du travailleur malentendant et du milieu de travail en raison d'une accessibilité limitée de la part des fabricants quant aux paramètres et au fonctionnement de leurs produits. Une explication possible est l'absence de normes spécifiant les conditions de test, les paramètres à évaluer ainsi que l'information que doit contenir la fiche technique du protecteur actif. Ces éléments, ainsi que la prise en compte de l'aspect sécurité, commandent d'étudier davantage leur contribution avant d'en proposer systématiquement l'utilisation à des travailleurs malentendants.

Aux termes de cette étude, l'équipe de chercheurs préconise le principe de précaution en recommandant de ne considérer le port de prothèses auditives qu'en dernier recours, après avoir envisagé tout d'abord la réduction du bruit au poste de travail puis les autres avenues telles que la modification des exigences d'écoute, de communication et de localisation à ce poste et l'adaptation du poste de travail incluant le recours possible à une autre modalité sensorielle (vibratoire, visuelle). Dans un tel cas, il est primordial que le risque de suramplification et la sécurité du travailleur soient pris en compte et soient gérés par l'ensemble des professionnels concernés par cette problématique. En l'absence de lignes directrices claires et appuyées par des données probantes, il est d'autant plus important que ces professionnels se consultent, se coordonnent et se concertent afin de dégager les recommandations les mieux adaptées pour répondre à l'objectif de ne pas compromettre la santé et la sécurité du travailleur ni celles des autres.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	I
SOMMAIRE	III
TABLE DES MATIÈRES	V
LISTE DES TABLEAUX	IX
LISTE DES FIGURES.....	XI
LISTE DES ACRONYMES, SIGLES ET ABRÉVIATIONS.....	XIII
1. INTRODUCTION.....	1
2. ÉTAT DES CONNAISSANCES ET OBJECTIFS DE RECHERCHE.....	3
2.1 État des connaissances.....	3
2.2 Objectifs de recherche	5
3. LE PORT DES PROTHÈSES AUDITIVES EN MILIEU DE TRAVAIL BRUYANT – PORTRAIT DES PRATIQUES ET DES BESOINS (VOLET 1)	7
3.1 Objectif.....	7
3.2 Méthodologie	7
3.2.1 Recension des écrits.....	7
3.2.2 Questionnaire en ligne	7
3.2.3 Groupes de discussion.....	9
3.3 Résultats.....	12
3.3.1 Recension des écrits.....	12
3.3.2 Questionnaire en ligne	13
3.3.3 Groupes de discussion.....	19
3.4 Discussion.....	22
4. LE RISQUE D'AGGRAVATION DE LA SURDITÉ (VOLET 2).....	24
4.1 Objectif.....	24
4.2 Méthodologie	24

4.3	Résultats.....	24
4.3.1	Évidence de risque d'aggravation de la surdité lors du port de prothèses auditives.....	24
4.3.2	Méthodes d'évaluation du risque d'aggravation de la surdité lors du port de prothèses auditives	25
4.3.3	Recommandations répertoriées concernant le port de prothèses auditives en milieu de travail bruyant et le risque d'aggravation de l'audition	28
4.4	Discussion.....	29
5.	L'EFFET DE L'AMPLIFICATION AUDITIVE SUR LA PERCEPTION DE LA PAROLE DANS LE BRUIT ET SUR LA LOCALISATION SONORE (VOLET 3) .	31
5.1	Objectif.....	31
5.2	Méthodologie	31
5.3	Résultats.....	31
5.3.1	Effet des réducteurs de bruit sur la perception de la parole	32
5.3.2	Effet des microphones directionnels sur la perception de la parole.....	32
5.3.3	Effet de diverses technologies sur la localisation sonore.....	33
5.4	Discussion.....	34
6.	LES NOUVELLES TECHNOLOGIES D'AMPLIFICATION ET DE PROTECTION (VOLET 4).....	35
6.1	Objectif.....	35
6.2	Méthodologie	35
6.3	Résultats.....	36
6.3.1	Description des protecteurs auditifs actifs	36
6.3.2	Exemples de produits à compression de sortie (AGCo) et à compression d'entrée (AGCi)	37
6.3.3	Revue d'études récentes sur les protecteurs auditifs actifs	40
6.3.4	Caractéristiques et limites des protecteurs auditifs	46
6.4	Discussion.....	47
7.	SYNTHÈSE RELATIVE À L'ENSEMBLE DES VOLETS.....	49
8.	RECOMMANDATIONS	53
	BIBLIOGRAPHIE.....	55

ANNEXE A - QUESTIONNAIRE.....	71
ANNEXE B - EXTRAITS DE L'INFORMATION ISSUE DES DISCUSSIONS AVEC LES GROUPES D'AUDIOLOGISTES	73
ANNEXE C - RISQUE D'AGGRAVATION DE LA SURDITÉ	77

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 – Dates, lieux, participants (profession, lieu de pratique) et nombre aux groupes de discussion.....	9
Tableau 2 – Distribution des répondants par profession. L'effectif total au Québec, pour chacune des professions, est indiqué entre parenthèses.....	14
Tableau 3 – Provenance des répondants au questionnaire et de ceux qui ont accepté de participer au groupe de discussion et qui ont laissé leurs coordonnées, par profession.....	15
Tableau 4 – Distribution des réponses des répondants qui ont été témoins que des travailleurs portent des prothèses auditives en milieu de travail bruyant en regard de l'imposition ou non de ce port par l'employeur.....	17
Tableau 5 – Nombre de fois, au cours des cinq dernières années, où les répondants ont été témoins qu'un travailleur n'utilisait pas ses prothèses auditives en milieu de travail bruyant en dépit d'une recommandation de le faire (scénario 3)	17
Tableau 6 – Nombre de fois, au cours des cinq dernières années, où les répondants ont été témoins qu'un travailleur n'utilisait pas ses prothèses auditives en milieu de travail, mais avait recours à un autre dispositif d'amplification (scénario 4)	18
Tableau 7 – Liste de mots-clés pour chacun des thèmes abordés dans le volet 3	31
Tableau 8 – Synthèse des constats dressés, des besoins et commentaires exprimés et des recommandations élaborées	51

LISTE DES FIGURES

Figure 1 – Proportion des répondants en fonction de leur profession (N=198)	13
Figure 2 – Nombre de répondants qui, au cours des cinq dernières années, ont été témoins qu'un travailleur avait l'intention ou se questionnait sur la pertinence d'utiliser ses prothèses auditives en milieu de travail bruyant.....	16
Figure 3 – Nombre de répondants qui, au cours des cinq dernières années, ont été témoins qu'un travailleur utilisait ses prothèses auditives en milieu de travail bruyant.....	16
Figure 4 – Représentation schématique d'un protecteur auditif à rétablissement du son (Tirée de Giguère et coll., 2011a)	37
Figure 5 – Threat4 X-62000 : courbes entrée/sortie dans un bruit spectre de parole (à gauche) et gain d'insertion en fonction de la fréquence en réponse à un bruit rose de 60 dBA (à droite)	38
Figure 6 – PELTOR PowerCom Plus : courbes entrée/sortie dans un bruit spectre de parole (à gauche) et gain d'insertion en fonction de la fréquence en réponse à un bruit rose de 60 dBA (à droite).....	39
Figure 7 – Différence dans le pourcentage de reconnaissance de mots avec une coquille à rétablissement du son dans trois modes d'utilisation (OFF = atténuation passive, Low gain = faible gain ≈ -4 dB, High gain : gain élevé ≈ 10 dB) comparativement à une condition sans protection, chez quatre groupes de participants	43
Figure 8 – Différence dans le pourcentage de reconnaissance de mots avec deux coquilles à rétablissement du son comparativement à une condition d'atténuation passive pour une parole à incidence frontale («front») ou provenant de l'arrière («back»)	44

LISTE DES ACRONYMES, SIGLES ET ABRÉVIATIONS

3D	Trois dimensions
AGC-O	Automatic gain control- output
AGC-I	Automatic gain control- input
ANR	Active noise reduction
ANSI	American National Standards Institute
ASA	Acoustical Society of America
B&K	Brüel & Kjaer
BDSP	Banque de données de santé publique
BILL	Bass increase at low levels
BTE	Behind the ear (hearing aid)
CIC	Completely in the canal (hearing aid)
CINAHL Plus	Cumulative Index to Nursing and Allied Health Literature
CLSC	Centre local de services communautaires
CNESST	Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail
CSA	Canadian Standards Association
CSST	Commission de la santé et de la sécurité du travail ¹
dBA	Décibel, pondération A
dB HL	Décibel, Hearing Level
dB SPL	Décibel, Sound pressure level
DSL	Desired sensation level
DTA	Décalage temporaire asymptotique

¹ Depuis le 1^{er} janvier 2016, la CSST est devenue la CNESST, soit la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST).

DPS	Décalage permanent des seuils
DTS	Décalage temporaire des seuils
DTS ₂	Décalage temporaire des seuils mesurés 2 minutes après la fin de l'exposition
HA-1	Coupleur de type 1
HA-2	Coupleur de type 2
HSE	Health & Safety Executive
Hz	Hertz
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE Xplore	Institute of Electrical and Electronics Engineers Digital Library
INSPQ	Institut national de santé publique du Québec
IRB	Indice de réduction du bruit
IRSST	Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail du Québec
ISO	International Organization for Standardization
ITU	International Telecommunication Union
LAeq	Niveau de pression acoustique équivalent
LAmn	Moyenne des LAeq dans l'oreille
L _{ex, 8h}	Niveau d'exposition au bruit sur 8 heures
MEDLINE	Medical Literature Analysis and Retrieval System Online
MF	Modulation de fréquence
CRIR	Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain
MIRE	Microphone in a real ear
MPL	Modified power law
MPO	Maximum power output

NAL-R	National Acoustic Laboratory- Revised
NRR	Noise reduction rating
NRSA	Noise reduction statistics for A weighting
OMS	Organisation mondiale de la santé
OOAQ	Ordre des orthophonistes et audiologistes du Québec
ORL	Otorhinolaryngologiste
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
PA	Prothèse auditive
Pubmed	Moteur de recherche
RAMQ	Régie de l'assurance maladie du Québec
RECD	Real-ear-to-coupler-difference
Scopus	Base de données Scopus
SST	Santé et sécurité au travail
TILL	Treble increase at low levels
Web of Science (ISI)	Institute for Scientific Information

1. INTRODUCTION

Chaque année, de nombreux travailleurs exposés au bruit développent une surdité. Entre 1997 et 2010, la Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST) du Québec a reconnu annuellement une surdité professionnelle chez près de 2600 travailleurs (Institut national de santé publique du Québec, 2014). Cette surdité s'installe insidieusement au cours des années et engendre, entre autres, des difficultés à percevoir les sons, à comprendre la parole, à ajuster sa voix et à localiser les sources sonores. Ces difficultés sont vécues non seulement à la maison ou lors des activités de loisirs, mais aussi au travail. Dans le contexte du milieu de travail, la baisse de capacités auditives soulève un questionnement justifié quant aux conséquences sur la sécurité de ces travailleurs et sur la réalisation efficace de leurs tâches. La non-perception d'un avertisseur sonore, d'une commande verbale ou l'incapacité à localiser une alarme de recul par exemple, peuvent donner lieu à des accidents graves et même mortels (Deshaies et coll., 2008, 2015).

Afin d'optimiser les capacités d'écoute et de communication des travailleurs, les prothèses auditives peuvent être envisagées comme solution. Cependant, ces prothèses sont conçues et ajustées pour maximiser la perception de la parole dans des conditions environnementales qui ne reflètent pas nécessairement celles des milieux de travail bruyants et réverbérants au détriment, dans plusieurs cas, de la localisation auditive. Les professionnels de la santé ne recommandent généralement pas leur utilisation en milieu de travail bruyant, surtout à cause de la crainte d'engendrer une surexposition au bruit (causée par une amplification sonore ou un signal d'entrée trop élevé) qui provoquerait une aggravation de la surdité ou créerait des situations dangereuses pour les travailleurs. Peu d'études ont été menées sur cette problématique qui concerne autant la santé auditive que la sécurité au travail des gens atteints de surdité professionnelle ou d'autres étiologies.

L'étude proposée vise donc à dresser l'état des connaissances en matière d'utilisation des prothèses auditives dans des environnements de travail bruyants. Les environnements bruyants considérés ici ne se limitent pas à ceux dont les niveaux sonores dépassent les limites réglementaires (85 ou 90 dBA selon les juridictions); ils incluent également ceux dont les niveaux sonores sont plus faibles (≥ 70 dBA), mais où le port de prothèses auditives pourrait potentiellement engendrer une suramplification. Cette étape préliminaire de quête d'information auprès des professionnels de la santé, des manufacturiers ainsi que par une recension de la littérature scientifique est cruciale afin de déterminer : 1) si les prothèses auditives peuvent être utilisées pour soutenir les besoins d'écoute, de communication et de localisation, sans risque d'aggraver la surdité ni de compromettre la sécurité et 2) si d'autres technologies d'amplification et de protection (p. ex. : des protecteurs à rétablissement du son) peuvent contribuer à améliorer les performances auditives au travail, ou du moins à ne pas les détériorer.

2. ÉTAT DES CONNAISSANCES ET OBJECTIFS DE RECHERCHE

2.1 État des connaissances

Des millions de travailleurs sont exposés quotidiennement au bruit nocif dans leur milieu de travail et plusieurs d'entre eux développent une surdité professionnelle (OMS, 2000). En 2007-2008, on estimait qu'environ 287 000 à 359 000 travailleurs québécois étaient exposés régulièrement ou constamment à des bruits industriels de niveaux sonores suffisants pour interférer avec la communication à une distance de quelques pieds, même en criant (INSPQ, 2014). Par ailleurs, entre 1997 et 2012, la CSST a reconnu annuellement une surdité professionnelle chez plus de 2800 travailleurs (INSPQ, 2015).

Selon le modèle proposé par Hétu (1994), le bruit en milieu de travail se traduit par une perte auditive, une baisse des performances, de la nuisance, des effets de stress, des efforts accrus d'attention et de concentration et de l'interférence avec la communication. À leur tour, ces effets augmentent le risque d'accidents mortels en milieu de travail (Deshaies et coll., 2008, 2015). Bien que le bruit ne soit pas souvent rapporté comme facteur ayant directement contribué à un accident professionnel, Deshaies et coll. (2008) ont analysé le contenu de 788 rapports d'enquêtes d'accidents mortels réalisés par la CSST et ont déterminé que le bruit était un facteur causal dans 2,3 % des cas. Étant donné les contraintes méthodologiques (p. ex. : non-accès aux notes manuscrites des inspecteurs, données restreintes dans certains rapports, analyse des accidents mortels uniquement), cette valeur sous-estime probablement la proportion d'accidents mortels reliés au bruit en milieu de travail. De plus, les coûts financiers et humains associés à ces accidents mortels ne sont certainement pas négligeables (Lebeau et coll., 2014).

Un accident peut survenir pour plusieurs raisons : le signal n'a pas été entendu, l'attention n'a pas été sollicitée, le signal n'a pas été reconnu ou encore il n'a pas été bien localisé. La localisation dans l'espace et l'interprétation d'un signal sonore sont par ailleurs deux difficultés souvent rapportées par les travailleurs atteints de surdité (Trottier *et coll.*, 2004). Puisqu'une perte auditive peut compromettre de telles performances, elle a été associée à une augmentation du risque d'accidents dans un certain nombre d'études (Wilkins et Acton, 1982; Zwerling *et coll.*, 1997; Picard *et coll.*, 2008; Deshaies *et coll.*, 2008, 2015; Girard *et coll.*, 2009, 2014).

Par ailleurs, la surdité professionnelle s'installe insidieusement et ne peut être corrigée médicalement. La solution souvent envisagée pour faciliter la communication des individus atteints est d'avoir recours à des prothèses auditives. Quoique ces appareils amplifient les sons, ils ne redonnent pas une audition fonctionnelle normale aux travailleurs et ne garantissent pas une amélioration de la perception de la parole, particulièrement en présence de bruit de fond (Bray et Nilsson, 2008), ni une bonne localisation des sons dans l'espace (Van den Bogaert *et coll.*, 2006; Vaillancourt *et coll.*, 2011). Ainsi, la recommandation de porter des prothèses auditives à des travailleurs exposés au bruit soulève un dilemme important. Pour certains, la perception, la reconnaissance et la localisation d'un signal sonore ou de la parole sont essentielles : leur inaptitude à le faire, dans certaines situations, peut non seulement augmenter leur charge de travail et diminuer leur autonomie, mais aussi compromettre leur sécurité ou celle de leurs collègues. Par exemple, en clinique, des travailleurs rapportent vouloir porter leurs prothèses pour détecter des signaux liés au mauvais fonctionnement d'une machine pour éviter

de l'endommager (changements de bruit de rotation d'une machine, bruits liés à un blocage d'une ligne de production), et afin d'accomplir leurs tâches de façon efficace. Malgré tout, les cliniciens ne recommandent généralement pas le port des prothèses auditives en milieu de travail bruyant compte tenu du risque potentiel d'aggravation de la surdité en raison d'une suramplification causée par un gain ou un signal d'entrée trop élevé (Dolan et Maurer, 2000; OOAQ, 2000). Toutefois, d'autres recommandations de types administratif (p. ex. : limitation du temps d'exposition), organisationnel (p. ex. : modification de la tâche pour éliminer le besoin d'entendre un signal donné) ou technologique (p. ex. : contrôle du bruit à la source) peuvent être formulées.

Les questions fondamentales qui préoccupent les professionnels de la santé (audiologistes, audioprothésistes, médecins à charge [otorhinolaryngologistes, omnipraticiens], infirmières et médecins œuvrant en milieu de travail) incluent : 1) la suramplification; 2) l'efficacité des prothèses auditives à soutenir l'écoute, la communication et la localisation de sources sonores dans les conditions acoustiques typiques des milieux de travail (bruit ambiant, réverbération, sources mobiles et multiples, directivité du bruit, port d'équipements de protection diversifiés); 3) les paramètres optimaux à considérer lors de l'ajustement des prothèses auditives (p. ex. : sortie maximale, contrôle automatique du gain, algorithmes de réduction de bruit, etc.) et 4) l'atténuation potentielle offerte par le port d'une prothèse non activée. L'Ordre des orthophonistes et audiologistes du Québec (OOAQ) a d'ailleurs soulevé ces questions dans une lettre d'appui envoyée à l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) en janvier 2010. Les préoccupations des professionnels quant au port de prothèses auditives en milieu de travail bruyant ne sont pas limitées au Québec. Certains groupes (p.ex. EUHA 2013) ont élaboré des guides pour leurs membres. Par contre, ces guides ne fournissent que des lignes directrices très générales (p.ex. vérification de l'étanchéité de l'embout, nécessité d'assurer la communication, de contrôler la sortie de l'appareil à un maximum de 85 dBA, compatibilité avec le port de protecteurs, etc.) sans préciser de méthode précise pour réaliser les ajustements prosthétiques. Considérant le vieillissement de la population et l'abolition de la retraite obligatoire à 65 ans, ainsi que la relation proportionnelle entre l'âge et la progression de la perte auditive, le nombre d'individus sur le marché de travail ayant une perte auditive est appelé à croître de façon importante au cours des prochaines années. Il est à prévoir que le risque d'accidents en lien avec la surdité augmente également. Des dispositions et des pratiques basées sur des données probantes sont nécessaires pour assurer une meilleure santé et sécurité des travailleurs dans les environnements bruyants.

À ce jour, les connaissances dans ce domaine sont encore limitées et aucune étude ne semble avoir fourni de réponses claires à ces questions. Par contre, on note un souci accru de la part des manufacturiers de prothèses auditives d'améliorer la performance de leurs produits en visant la reproduction fidèle des indices importants (temporaux et spatiaux) utilisés par le système auditif pour œuvrer dans des environnements complexes de la vie quotidienne (Neher et coll, 2008; Behrens, 2008). Hormis les prothèses auditives, d'autres technologies visant à la fois la diminution de l'exposition au bruit et l'amplification en milieu bruyant sont proposées, par exemple les bouchons dits « intelligents » ou protecteurs actifs, dont les protecteurs avec système de communication intégré et les protecteurs à rétablissement du son (CSA Z94.2-F14). Quoique ces dispositifs semblent prometteurs, ils sont peu régis par des normes nationales ou

internationales permettant de documenter leurs caractéristiques et performances acoustiques, contrairement aux prothèses auditives (p. ex. : ANSI/ASA S3.22-2009).

Compte tenu du nombre élevé d'utilisateurs potentiels (soit les travailleurs atteints de surdité professionnelle ainsi que la population active de plus en plus vieillissante), des technologies émergentes et du risque accru d'accidents dans les milieux de travail bruyants, un examen sérieux des questions soulevées s'avère pertinent et prioritaire. Il apparaît nécessaire, dans un premier temps, de documenter la pratique et les outils présentement disponibles ou utilisés par les professionnels de la santé. L'étude proposée vise donc à dresser l'état des connaissances par l'entremise de revues de la littérature et d'une quête d'information auprès des professionnels de la santé et des manufacturiers de protecteurs auditifs munis de dispositifs particuliers et de prothèses auditives. L'étude cible plusieurs des axes prioritaires de recherche de l'IRSST, soit la communication dans le bruit, l'amélioration et le développement d'équipements en vue d'une meilleure adaptation au contexte d'utilisation en milieu de travail, l'élaboration de modèles d'intervention en vue de favoriser le maintien sécuritaire et durable au travail et enfin, le vieillissement de la population et ses effets sur la santé et la sécurité au travail (SST).

2.2 Objectifs de recherche

L'objectif général de cette étude est de vérifier si les prothèses auditives peuvent être utilisées pour réduire les problèmes d'écoute, de communication et de localisation dans les environnements de travail bruyants, sans risque d'aggraver la surdité ni de compromettre la sécurité des personnes et si d'autres technologies d'amplification et de protection (p. ex. : protecteurs à rétablissement du son) pourraient permettre de maintenir ou d'améliorer les performances auditives au travail. Plus spécifiquement, l'étude se divise en quatre volets distincts visant à dresser l'état de l'utilisation des prothèses auditives en milieu bruyant :

- Volet 1 : Explorer, au Québec, la fréquence du port de prothèses auditives en milieu de travail bruyant, les pratiques et les outils utilisés par les professionnels de la santé ainsi que les besoins exprimés par les travailleurs;
- Volet 2 : Examiner le risque d'aggravation de la surdité des travailleurs lors de l'utilisation de prothèses auditives en milieu de travail bruyant et établir des méthodes de mesure valides pour évaluer les risques de suramplification;
- Volet 3 : Faire état des connaissances de l'effet de l'amplification auditive sur la perception de la parole dans le bruit et sur la localisation sonore;
- Volet 4 : Faire état des connaissances sur les nouvelles technologies de protecteurs auditifs actifs, et plus particulièrement les protecteurs à rétablissement du son, pouvant faciliter l'écoute, la communication et la localisation, tout en limitant l'exposition au bruit.

Chacun de ces volets fait l'objet d'un chapitre du présent rapport (chapitres 3 à 6). Sont présentés dans chacun de ces chapitres, l'objectif du volet, la méthodologie utilisée pour sa réalisation, les

résultats obtenus et une brève discussion. Ensuite, le chapitre 7 présente une discussion générale visant à dégager un état des lieux des connaissances, des pratiques et des options offertes aux travailleurs malentendants qui sont actifs en milieu de travail bruyant, tel qu'il a été possible de le définir aux termes de cette étude. Enfin, la conclusion propose une suite à donner à ce travail préliminaire afin de répondre aux préoccupations des principaux acteurs concernés par cette problématique.

3. LE PORT DES PROTHÈSES AUDITIVES EN MILIEU DE TRAVAIL BRUYANT – PORTRAIT DES PRATIQUES ET DES BESOINS (VOLET 1)

3.1 Objectif

En réalisant ce volet, nous avons cherché à cerner l'ampleur de la problématique (le nombre de travailleurs concernés et leur profil, le type de milieu de travail, le nombre et le type de demandes reçues par les professionnels de la santé en matière d'amplification en milieu bruyant) et à décrire les pratiques courantes et les outils utilisés par ces professionnels pour répondre aux besoins des travailleurs qui désirent bénéficier d'amplification en milieu de travail bruyant (pratiques cliniques, produits utilisés, alternatives aux prothèses auditives ou aménagements recommandés, etc.).

3.2 Méthodologie

Différents moyens ont été utilisés afin d'étudier la problématique : 1) Recension des écrits complétée en septembre 2012; 2) Questionnaire en ligne destiné aux différents professionnels concernés et 3) Groupes de discussion auprès de ces professionnels et de travailleurs.

3.2.1 Recension des écrits

Dès le début de cette étude, une recension des écrits a été complétée à partir de diverses banques de données : Banque de données santé publique (BDSP), CINAHL Plus), Pubmed, MEDLINE, Web of Science (ISI). Les mots clés suivants ont été utilisés : « hearing aids » et « workplace », « hearing aid use » et « industrial noise », « hearing aid use » et « noisy workplace », « hearing aid use » et « occupational audiology », « hearing aid use » et « noise exposed workers », « hearing aid fitting » et « occupational noise », « hearing aid fitting » et « guidelines », « hearing aids in noise » et « guidelines », « hearing aids » et « industrial audiology », « fitting of hearing aids » et « noisy workplace », « hearing aid fitting » et « workers », « hearing aid dispenser » et « noisy workplace » ou « industrial noise » ou « industrial audiology » ou « rehabilitation of noise exposed workers », « hearing aid fitting » et « rehabilitation of noise exposed workers », « hearing aid » et « occupational audiology ».

3.2.2 Questionnaire en ligne

Afin d'estimer si le port de prothèses auditives en milieu de travail bruyant est une réalité fréquente à laquelle doivent faire face les différents professionnels de la santé consultés, un questionnaire (annexe A) leur a été soumis. Ainsi, des médecins ORL, des audiologistes, des audioprothésistes et des professionnels du réseau de santé publique en santé au travail (médecins et infirmières) ont été sollicités pour remplir le questionnaire en ligne. Cette invitation a été faite par l'intermédiaire de leur ordre professionnel qui compte un représentant au sein du comité de suivi de la présente étude. Pour ce qui est des professionnels des équipes locales de santé au travail (médecins responsables et infirmières), leur coordonnateur a été invité, par courriel, à leur acheminer l'invitation à remplir le questionnaire.

Le questionnaire, accessible en ligne sur le site Survey Monkey, compte une vingtaine de questions incluant celles visant à recueillir des données démographiques sur le répondant, son expérience professionnelle ainsi que la ou les régions administratives où il exerce son travail. Les questions visant à documenter la fréquence de la problématique sont présentées sous forme de scénarios décrivant des situations mettant en scène un travailleur et des prothèses auditives. Le répondant doit indiquer s'il a vécu ces situations. Dans l'affirmative, il indique le nombre de fois où la situation mentionnée s'est produite au cours des cinq dernières années et les secteurs industriels où celle-ci s'est déroulée. L'encadré ci-dessous contient les différents scénarios proposés.

Avez-vous déjà été confronté à la situation suivante : Un travailleur présentant une surdité, peu importe sa nature, son degré et son origine ...

Scénario 1

... qui a l'intention de porter ou qui se questionne sur la pertinence de porter ses prothèses auditives en milieu de travail bruyant ? (question 8)

Scénario 2

... qui utilise ses prothèses auditives en milieu de travail bruyant ? (question 11)

Question de précision en lien avec le scénario 2

Parmi les travailleurs utilisateurs de prothèses auditives en milieu de travail bruyant, y en a-t-il qui, à votre connaissance, se voient imposer ce port par leur employeur ? (question 14)

Scénario 3

... qui n'utilise pas ses prothèses auditives même si leur port est recommandé en milieu de travail bruyant par un professionnel de la santé ou imposé par l'employeur ? (question 16)

Scénario 4

...qui n'utilise pas ses prothèses auditives, mais a recours à un autre dispositif d'amplification électronique (système MF, protecteur auditif avec système de communication intégré ou autre protecteur électronique) ? (question 19)

À la fin du questionnaire, les répondants ont pu indiquer leur intérêt à participer à un groupe de discussion sur le sujet et, le cas échéant, laisser leurs coordonnées. L'option d'envoyer leurs coordonnées par courriel a été offerte afin de garantir la confidentialité de leurs réponses au questionnaire. Le questionnaire était accessible en ligne du 3 octobre 2012 au 18 février 2013.

3.2.3 Groupes de discussion

Entre le 7 mai 2013 et le 9 avril 2014, sept discussions de groupe ont été organisées; cinq avec des professionnels et deux avec des travailleurs. Il n'a pas été possible d'organiser une rencontre avec les médecins ORL. En tout, 35 personnes, dont 2 représentants syndicaux, y ont participé. Le tableau 1 indique les dates, les lieux et le nombre de participants à ces discussions.

Les rencontres ont été animées par au moins un chercheur, souvent deux, et un membre de l'équipe a eu la responsabilité de prendre des notes. La rencontre d'une durée variant entre 90 et 120 minutes a été enregistrée (audio seulement) pour soutenir la rédaction des comptes rendus. Dès le début, les objectifs de la recherche et de la rencontre ont été présentés ainsi qu'un résumé des résultats du questionnaire. Un formulaire de consentement, approuvé par le comité d'éthique du Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR) et par le Bureau d'éthique et d'intégrité de la recherche de l'Université d'Ottawa, a été soumis aux participants qui l'ont signé. Au besoin, une période de questions a précédé le début de la discussion.

Tableau 1 – Dates, lieux, participants (profession, lieu de pratique) et nombre aux groupes de discussion

Dates et lieu	Participants	Nombre
7 mai 2013 Montréal	Audiologistes Montréal, Montérégie, Côte-Nord, Chaudière-Appalaches	5 dont 2 par Skype ²
15 mai 2013 Québec	Audiologistes Chaudière-Appalaches, Bas-Saint- Laurent, Québec, Gaspésie-Îles-de-la- Madeleine	5 dont 1 par visioconférence
13 septembre 2013 Montréal	Audioprothésistes Montréal, Gaspésie-Iles-de-la-Madeleine, Abitibi-Témiscamingue, Estrie	4
28 octobre 2013 Longueuil	Santé au travail Montérégie	6 infirmières
13 novembre 2013 Sherbrooke	Santé au travail Centre-du-Québec, Estrie	5 dont 1 par visioconférence (4 infirmières, 1 méd.)
18 novembre 2013 Drummondville	Travailleurs n'utilisant pas leurs prothèses auditives au travail	6 (4 + 2 représentants syndicaux)
9 avril 2014 Longueuil	Travailleurs utilisant leurs prothèses auditives au travail	4

² <http://www.skype.com/fr/>

3.2.3.1 Groupes de discussion avec les professionnels en santé auditive

Les professionnels rencontrés devaient compter au moins deux ans d'expérience auprès de travailleurs pour participer. Les invitations ont été faites par courriel. Les rencontres ont été organisées de façon à joindre le plus grand nombre de participants (horaire, lieu, accès à distance : Skype² ou visioconférence). L'objectif des discussions avec les professionnels était d'approfondir les questions relatives au contexte dans lequel ils interagissent avec les travailleurs. Leur participation a permis de mieux comprendre l'étendue de leurs responsabilités et les facteurs qui conditionnent leurs interventions. Lors de ces rencontres, la perception de leur rôle dans la décision d'utiliser ou non les prothèses auditives en milieu de travail bruyant a également été explorée.

Une grille de questions a guidé le bon déroulement de ces rencontres. Elle a fait l'objet de légères adaptations en fonction du type de professionnels rencontrés.

1. Qu'est-ce qui fait que ces travailleurs se retrouvent dans votre bureau?
2. Quelles démarches, protocoles ou outils utilisez-vous pour répondre aux besoins du travailleur ou pour évaluer la situation qui vous est présentée?
3. Selon vous, qui devrait évaluer la pertinence du port de prothèses auditives en milieu de travail bruyant?
4. Qu'est-ce qui influence votre façon de gérer la situation?
5. Quelles recommandations faites-vous au travailleur ou au milieu de travail?
6. Vous sentez-vous suffisamment outillés pour faire des recommandations éclairées concernant le port des prothèses auditives en milieu de travail bruyant?
7. Y a-t-il des obstacles qui vous restreignent dans vos interventions auprès de cette clientèle?
8. Quels types d'outils, de protocoles ou de collaborations vous aideraient à mieux gérer la problématique du port de prothèses auditives en milieu de travail bruyant?

3.2.3.2 Groupes de discussion avec des travailleurs

Les travailleurs qui ont participé aux groupes de discussion ont été recrutés par l'entremise des membres du comité de suivi. Ceux-ci ont communiqué avec des représentants syndicaux qui établissaient un premier contact avec des travailleurs utilisateurs de prothèses auditives et sondaient leur intérêt à participer à une discussion de groupe sur le sujet. Ces représentants ont ensuite joint un membre de l'équipe de recherche afin de convenir de l'organisation de cette rencontre. Ainsi, deux rencontres ont permis de discuter avec des travailleurs appareillés. Certains ne portent pas leurs prothèses auditives au travail (n=4) alors que d'autres le font (n=4). Parmi ces travailleurs, on compte trois femmes et cinq hommes. Cinq d'entre eux ont reçu une indemnisation de la CSST pour leur surdité professionnelle alors que les trois autres sont

appareillés en raison d'une perte auditive d'origine autre que seulement professionnelle (par exemple : perte mixte ou perte neurosensorielle présente à la naissance). Les participants provenaient de trois entreprises différentes situées en Montérégie et dans le Centre-du-Québec.

Ces rencontres avec les travailleurs se sont déroulées pratiquement de la même façon que celles avec les différents professionnels en santé auditive. Toutefois, la grille utilisée se distinguait par des questions concernant davantage leur expérience avec les prothèses auditives, leurs démarches menant à l'appareillage et leur point de vue quant à l'utilisation des prothèses en milieu de travail bruyant. Voici les questions posées aux travailleurs :

1. Pourquoi au travail, portez-vous (ou non) vos prothèses auditives?
2. Avez-vous eu connaissance que d'autres travailleurs portent des prothèses auditives en milieu de travail bruyant ou encore que des travailleurs souhaiteraient le faire, mais qu'ils décident de ne pas le faire?
3. Au travail, comment utilisez-vous vos prothèses auditives?
4. Pour ceux qui ne portent pas de prothèses auditives en milieu de travail, avez-vous déjà fait des essais, des tentatives ou avez-vous déjà pensé à une façon de les utiliser (à la lumière des réponses à la question précédente)?
5. Utilisez-vous d'autres dispositifs que vos prothèses auditives pour vous aider à mieux entendre ou communiquer dans le bruit?
6. Quelles démarches avez-vous franchies pour prendre cette décision d'utiliser (ou non) des prothèses auditives dans votre milieu de travail?
7. Si vous avez rencontré un ou plusieurs professionnels, vous a-t-on fait des recommandations particulières pour l'utilisation des prothèses auditives en milieu de travail bruyant?
8. Avez-vous été satisfait des recommandations qui vous ont été faites concernant le port des prothèses auditives en milieu de travail bruyant?
9. Que vous portiez ou non vos prothèses auditives, êtes-vous inquiets tant pour votre sécurité physique que la sécurité de votre audition?

Pour les représentants syndicaux présents qui auraient eu connaissance de l'intention manifestée par des travailleurs d'utiliser leurs prothèses auditives en milieu de travail : 1) Qui ont-ils rencontré pour les orienter dans leur prise de décision? 2) Avez-vous déjà été contactés par des professionnels de la santé qui voulaient mieux connaître l'environnement de travail d'un travailleur en particulier?

3.3 Résultats

3.3.1 Recension des écrits

La recension des écrits a permis de retracer 35 documents. Toutefois, aucun des ouvrages retenus ne contient des informations portant spécifiquement sur la fréquence du port des prothèses auditives en milieu de travail bruyant. Une étude mentionne que cette question a été incluse dans un questionnaire soumis à 445 travailleurs malentendants (Verbsky, 2002). Toutefois, aucune information n'a été rapportée en lien avec cette question. En réponse à un courriel adressé aux chercheurs, ces derniers ont confirmé qu'aucune compilation particulière relative à cette question n'avait été faite. Dans une autre étude (Williams *et coll.*, 2006) réalisée auprès de travailleurs actifs et retraités rapportant des incapacités auditives (soit 9 % des 510 répondants au sondage), 33 % ont mentionné que le port des prothèses auditives en milieu de travail faisait ou avait fait partie des moyens pour composer avec leurs difficultés auditives. Aucune information ne permet de relier cette pratique aux niveaux de bruit des milieux de travail concernés.

En tout, 10 documents ont permis de tirer des informations jugées pertinentes à la compréhension de la problématique. Ces documents font partie de la bibliographie. Des auteurs suggèrent que les travailleurs qui portent habituellement des prothèses auditives ont tendance à vouloir les utiliser aussi au travail (Laplante-Lévesque *et coll.*, 2010; Verbsky, 2002) en croyant qu'elles contribuent à une meilleure communication avec leurs collègues, à une plus grande probabilité d'entendre le bruit des machines et les alarmes sonores ainsi qu'à une meilleure capacité à localiser les sources sonores (Chalupka, 2009; Witt, 2007). Certains travailleurs mentionnent craindre les blessures physiques pour justifier le port de leurs prothèses auditives en milieu de travail (Dolan et O'Loughlin, 2005). Fait à noter, cette même crainte est évoquée par des travailleurs pour justifier leur choix de ne pas utiliser de protecteurs auditifs lorsqu'ils sont exposés au bruit (Verbsky, 2002), de peur que cette protection contre le bruit les empêche d'entendre les signaux sonores qu'ils jugent utiles à leur sécurité.

La nécessité de déterminer si les prothèses auditives peuvent être utilisées en milieu de travail bruyant et, à cette fin, de mettre au point des protocoles d'évaluation, revêt un caractère urgent si on considère que les travailleurs âgés de 65 ans ou plus constituent une proportion de plus en plus importante de la main-d'œuvre active (Fok *et coll.*, 2009; Williams *et coll.*, 2006). En 2012, on évalue qu'aux États-Unis, 40 millions de travailleurs ont atteint cet âge et que parmi eux, 33,4 % ont une perte auditive, 10,2 % ont une perte visuelle et que 38 % présentent les deux pertes sensorielles (Davila *et coll.*, 2009). Au Canada, on prévoit que la proportion des travailleurs âgés de 65 ans ou plus atteindra 22,6 % en 2022 comparativement à 17,7 % en 2012³. On estime aussi que plus de 50 % des Canadiens de 65 ans ou plus ont une perte auditive (Agence de la santé publique du Canada, 2010).

³ Système de projection des professions au Canada : <http://professions.edsc.gc.ca/sppc-cops/c.4nt.2nt@-fra.jsp?cid=51>

Comme on peut le constater, la littérature scientifique contribue peu à documenter le phénomène du port des prothèses auditives par des travailleurs qui évoluent dans des milieux bruyants. Pour tenter d'en apprendre davantage sur cette pratique, l'équipe s'est adressée à des professionnels en santé auditive qui pratiquent au Québec et leur a demandé de remplir un questionnaire sur cette question.

3.3.2 Questionnaire en ligne

En tout, 218 personnes ont participé au sondage et 198 ont rempli le questionnaire. Parmi les répondants, on compte une proportion plus importante d'audiologistes et de professionnels en santé au travail. Ces deux groupes représentent un peu plus des deux tiers des répondants. L'autre tiers est composé des audioprothésistes et des médecins ORL. La figure 1 montre la proportion des répondants en fonction de leur profession.

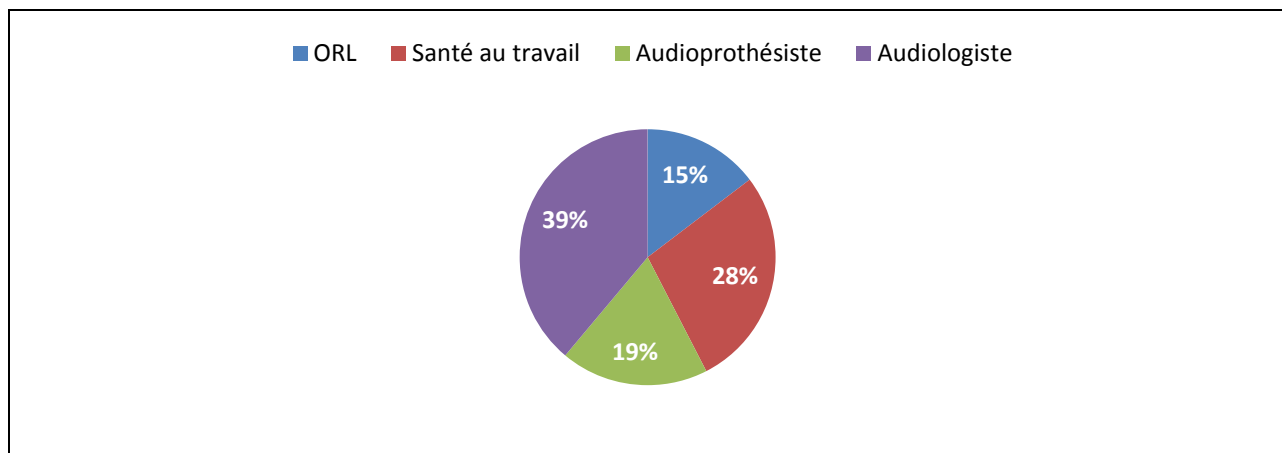


Figure 1 – Proportion des répondants en fonction de leur profession (N=198)

Le tableau 2 contient le détail de cette distribution et affiche l'effectif total de ces professions au Québec. Cette information est fournie à titre informatif seulement, car n'y ont pas été retranchés les professionnels qui ne comptent pas d'adultes travailleurs parmi leur clientèle et qui ne se sont pas sentis concernés par le questionnaire. Ce n'est pas le cas des professionnels en santé au travail pour qui ces travailleurs constituent la clientèle cible. Mentionnons que la majorité des répondants de cette catégorie sont des infirmières : 46/55 répondants. La dernière colonne du tableau indique le nombre de professionnels qui comptent au moins deux ans d'expérience auprès de travailleurs parmi ceux qui se sont dits intéressés à une discussion de groupe. L'application de ce critère d'inclusion pour la participation aux groupes de discussion a fait chuter le nombre de participants potentiels de 59 à 48.

Tableau 2 – Distribution des répondants par profession. L’effectif total au Québec, pour chacune des professions, est indiqué entre parenthèses

Participant potentiel (effectifs au Québec, avril 2014)	Nombre	A accepté de participer à un groupe de discussion	A laissé ses coordonnées	Expérience professionnelle ≥ 2 ans
ORL (209)	29	7	4	4
Santé au travail (255)**	55	15	15 + 2 *	15
Audioprothésiste (327)	37	13	11 + 1 *	10
Audiologiste (393)	77	31	25 + 1 *	19
Total	198	66	55 + 4 *	48

*Personnes ayant fait parvenir leurs coordonnées par courriel. **Dénombré à la fin de 2012.

Les répondants au questionnaire proviennent de l’ensemble des régions du Québec. Ce sont les régions de la Montérégie, de Montréal et de l’Estrie qui sont les plus représentées. Seule la région 10, Nord-du-Québec, ne compte aucun répondant. Le tableau 3 montre les régions où travaillent ces professionnels. Un répondant peut être actif dans plus d’une région, d’où le nombre plus élevé recensé pour l’ensemble des régions que le nombre total de participants (224 par rapport à 198). Ce sont les professions de la santé au travail qui comptent le moins de répondants œuvrant dans plusieurs régions. Le nombre de personnes qui se sont dites intéressées à participer à des discussions de groupe et leur provenance sont indiqués entre crochets dans chacune des colonnes. Pour refléter la quantité exacte de ces personnes intéressées, leur provenance est indiquée seulement à la ligne correspondant à la région associée à leur courriel professionnel ou à leur numéro de téléphone, ou encore à leur adresse principale tel qu’indiqué dans les bottins disponibles.

Ce sont les réponses aux questions portant sur les scénarios qui permettent de dégager si le port des prothèses auditives en milieu de travail bruyant est une pratique fréquente ou marginale.

Question 8 (scénario 1) : Avez-vous déjà été confronté(e) à la situation suivante : Un travailleur présentant une surdité, peu importe sa nature, son degré et son origine qui **a l’intention de porter ou se questionne sur la pertinence de porter ses prothèses auditives en milieu de travail bruyant** ? 84 % des répondants ont indiqué avoir fait face au moins une fois à cette situation au cours des cinq dernières années. La figure 2 montre la distribution des réponses par profession. Ces résultats illustrent qu’une grande majorité des professionnels qui a répondu au questionnaire a été en contact, au moins une fois, avec un travailleur qui se questionne sur le port de ses prothèses auditives en milieu de travail bruyant. Si la moitié de ces professionnels rapporte avoir été confrontés à cette situation, entre une et 10 fois au cours des cinq dernières années, le tiers rapporte l’avoir été plus de 10 fois au cours de la même période. Les audioprothésistes sont ceux qui mentionnent avoir fait face le plus souvent à cette situation.

Tableau 3 – Provenance des répondants au questionnaire et de ceux qui ont accepté de participer au groupe de discussion et qui ont laissé leurs coordonnées, par profession

Région	ORL	Santé au travail	Audiopro-thésiste	Audiologiste	Total	A accepté de participer aux groupes de discussion
Bas-Saint-Laurent (01)	1		1	5 [2]	7	2
Saguenay-Lac-Saint-Jean (02)	1	3	2 [1]	3 [1]	9	2
Capitale-Nationale (03)	3	5 [1]	4 [2]	4 [4]	16	7
Mauricie (04)	1			2	3	0
Estrie (05)	2	7 [4]	3 [2]	8 [1]	20	7
Montréal (06)	7 [1]	3 [1]	9 [3]	19 [4]	38	9
Outaouais (07)	1 [1]		3 [1]	5 [2]	9	4
Abitibi-Témiscamingue (08)	2	4	4 [2]	3	13	2
Côte-Nord (09)			1	3 [2]	4	2
Nord-du-Québec (10)					0	0
Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine (11)	1		1	3 [1]	5	1
Chaudière-Appalaches (12)	2	6 [1]	1	3 [2]	12	3
Laval (13)	2		2	3	7	0
Lanaudière (14)	3 [1]			4	7	1
Laurentides (15)	2	3	7 [1]	8 [3]	20	4
Montréal (16)	2 [1]	23 [9]	4	18 [2]	47	12
Centre-du-Québec (17)		2 [1]	2	3 [2]	7	3
Totaux par profession	30* [4]	56 [17]	44 [12]	94 [36]	224	59

*Un répondant peut travailler dans plusieurs régions administratives d'où le nombre total (224) plus élevé que le nombre de participants (198).

[] Nombre de répondants qui ont accepté de participer à des discussions de groupe et qui ont laissé leurs coordonnées.

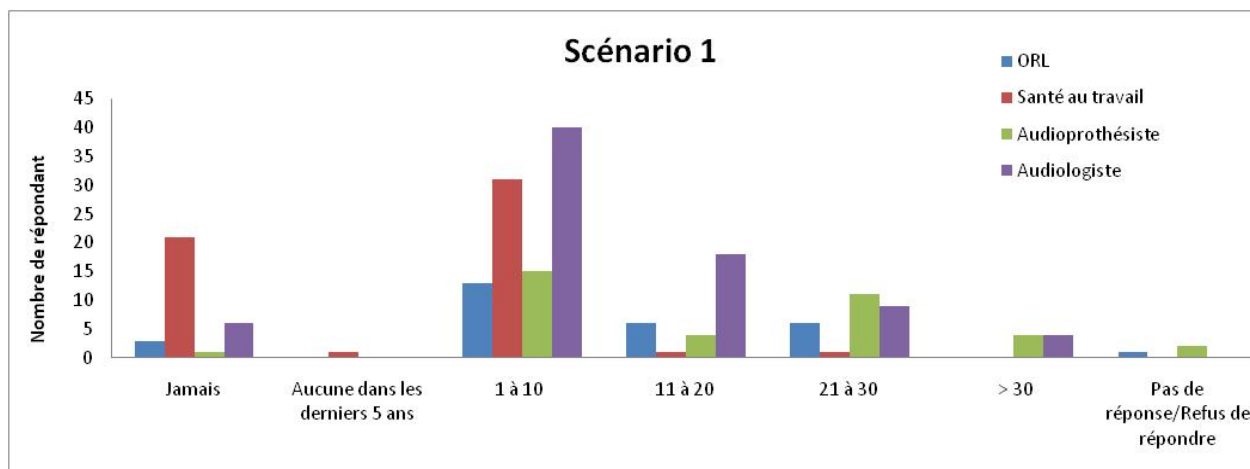


Figure 2 – Nombre de répondants qui, au cours des cinq dernières années, ont été témoins qu'un travailleur avait l'intention ou se questionnait sur la pertinence d'utiliser ses prothèses auditives en milieu de travail bruyant

Question 11 (scénario 2) : Avez-vous déjà été confronté(e) à la situation suivante : Un travailleur présentant une surdité, peu importe sa nature, son degré et son origine **qui utilise ses prothèses auditives en milieu de travail bruyant** ? Près des deux tiers (63 %) des répondants ont précisé avoir fait face au moins une fois à cette situation. La figure 3 montre la distribution des réponses par profession. La majorité des professionnels interrogés, soit les deux tiers, rapporte avoir déjà rencontré un travailleur qui utilise ses prothèses auditives en milieu de travail bruyant. Près de la moitié de ces répondants relate avoir fait face à cette situation entre une et 10 fois au cours des cinq dernières années, et 12 % l'ont été plus de 10 fois au cours de la même période. Ce sont les audioprothésistes qui disent avoir vu le plus fréquemment cette situation, suivis des médecins ORL.

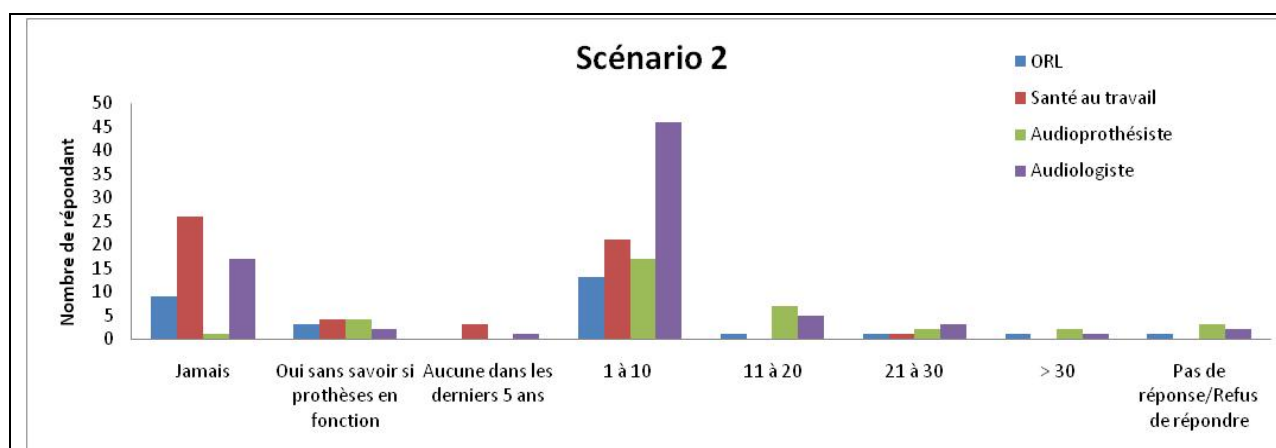


Figure 3 – Nombre de répondants qui, au cours des cinq dernières années, ont été témoins qu'un travailleur utilisait ses prothèses auditives en milieu de travail bruyant

Question 14 (question de précision) : *Parmi les travailleurs **utilisateurs** de prothèses auditives en milieu de travail bruyant, y en a-t-il qui, à votre connaissance, **se voient imposer** ce port par leur employeur ?* Cette question vise à apporter une précision à la réponse précédente portant sur le scénario des travailleurs-utilisateurs de prothèses auditives. Elle a été soumise uniquement aux répondants ayant rapporté avoir fait face à la situation, soit 132 répondants. La moitié d'entre eux (50 %) a indiqué que le port des prothèses auditives n'est pas imposé par l'employeur. Parmi l'autre moitié, une bonne proportion, soit 40 %, déclare ignorer si le port est imposé ou non par l'employeur. Le tableau 4 illustre la distribution des réponses en fonction des professions.

Tableau 4 – Distribution des réponses des répondants qui ont été témoins que des travailleurs portent des prothèses auditives en milieu de travail bruyant en regard de l'imposition ou non de ce port par l'employeur

Participants	OUI	NON	Ne sais pas
ORL (17/29)	1	10	6
Santé au travail (28/55)	4	13	11
Audioprothésiste (31/37)	1	19	11
Audiologiste (56/77)	7	24	25
Total (132/198)	13 (10 %)	66 (50 %)	53 (40 %)

Question 16 (scénario 3) : *Avez-vous déjà été confronté(e) à la situation suivante : Un travailleur présentant une surdité, peu importe sa nature, son degré et son origine qui **n'utilise pas** ses prothèses auditives **même si leur port est recommandé** en milieu de travail bruyant par un professionnel de la santé ou imposé par l'employeur ?* Près du quart des répondants (22 %) a précisé avoir fait face au moins une fois à cette situation. Le tableau 5 présente la distribution des réponses. Ce sont les médecins ORL qui rapportent le plus souvent avoir fait face à cette situation, suivis des audiologistes. Ces résultats ne révèlent toutefois pas l'origine de la recommandation de porter les prothèses auditives.

Tableau 5 – Nombre de fois, au cours des cinq dernières années, où les répondants ont été témoins qu'un travailleur n'utilisait pas ses prothèses auditives en milieu de travail bruyant en dépit d'une recommandation de le faire (scénario 3)

Participants	Jamais	Aucune au cours des derniers 5 ans	1 à 10	11 à 20	21 à 30	+ de 30	Pas de réponse/ Refus de répondre
ORL (29)	18		6	1	1	1	2
Santé au travail (55)	43	1	8	1	1		1
Audioprothésiste (37)	27		4				6
Audiologiste (77)	56		9	5	3		4

Question 19 (scénario 4) : Avez-vous déjà été confronté(e) à la situation suivante : Un travailleur présentant une surdité, peu importe sa nature, son degré et son origine **qui n'utilise pas ses prothèses auditives, mais a recours à un autre dispositif d'amplification électronique** (système MF, protecteur auditif avec système de communication intégré ou autre protecteur électronique)? Plus du quart des répondants (27 %) a précisé avoir fait face au moins une fois à cette situation. Le tableau 6 montre la distribution des fréquences rapportées. Proportionnellement, ce sont les audiologistes qui sont les plus nombreux à rapporter avoir fait face à cette situation, suivis des audioprothésistes.

Tableau 6 – Nombre de fois, au cours des cinq dernières années, où les répondants ont été témoins qu'un travailleur n'utilisait pas ses prothèses auditives en milieu de travail, mais avait recours à un autre dispositif d'amplification (scénario 4)

Participants	Jamais	Aucune au cours des 5 dernières années	1 à 10	11 à 20	21 à 30	+ de 30	Pas de réponse/ Refus de répondre
ORL (29)	19	0	6	1	0	0	3
Santé au travail (55)	46	1	7	0	0	0	1
Audioprothésiste (37)	25	0	8	0	0	0	4
Audiologiste (77)	46	2	22	2	2	0	3

À la toute fin du questionnaire, les répondants ont été invités à émettre des commentaires. Entre 22 % (audioprothésistes) et 31 % (audiologistes) des répondants l'ont fait. Dans leurs commentaires, les audiologistes traitent : 1) du risque d'aggravation de la surdité que pourrait entraîner l'utilisation des prothèses auditives en milieu de travail bruyant (et, en corollaire, de la capacité technique réelle des prothèses auditives à limiter l'exposition à des niveaux ne présentant pas de danger pour l'audition); 2) des autres facteurs propres au milieu de travail ou au travailleur lui-même qui pourraient entraver le fonctionnement ou l'utilisation des prothèses auditives (poussières, substances chimiques, sueur, etc.); 3) de la sécurité physique des travailleurs; 4) des exigences du milieu de travail et des tâches requérant une bonne audition; 5) des adaptations pouvant être apportées au milieu de travail, de l'utilisation d'autres aides de suppléance de l'audition ou de protecteurs auditifs électroniques; 6) de la collaboration entre les différents professionnels de la santé et 7) de l'importance pour le travailleur de disposer de toutes les informations pour prendre une décision éclairée à cet égard. Certains audiologistes se disent intéressés à être informés des résultats de l'étude et d'autres réclament des lignes directrices claires basées sur des données probantes.

Pour leur part, les audioprothésistes commentent à propos : 1) des moyens d'assurer la détection des signaux sonores et de maintenir les capacités de communication tout en protégeant l'audition (notamment par le biais de divers algorithmes disponibles dans les prothèses auditives); 2) de l'interaction entre la prothèse auditive et le protecteur auditif et 3) de l'importance pour le travailleur de disposer de toutes les informations afin de prendre une décision éclairée à cet égard. Ils se disent également intéressés à être informés des résultats de l'étude.

Les médecins à charge, qu'ils soient spécialistes (ORL) ou omnipraticiens, se questionnent sur : 1) le risque d'aggravation de la surdité que pourrait entraîner l'utilisation des prothèses auditives en milieu de travail bruyant; 2) la sécurité physique des travailleurs; 3) l'utilisation d'autres aides de suppléance de l'audition ou de protecteurs auditifs et 4) la collaboration et les divergences d'opinion entre les différents professionnels de la santé. Certains médecins à charge souhaitent que les résultats de l'étude soient communiqués aux différents professionnels et notamment aux médecins.

Les infirmières en santé au travail et les médecins responsables commentent à propos : 1) du risque d'aggravation de la surdité que pourrait entraîner l'utilisation des prothèses auditives en milieu de travail bruyant; 2) des exigences du milieu de travail et les tâches requérant l'audition; 3) de l'utilisation des protecteurs auditifs et de protecteurs auditifs avec système de communication ou de l'écoute de la musique en milieu de travail et, plus généralement, des nouvelles technologies dans ce domaine; 4) de la collaboration entre les différents professionnels de la santé et 5) des autres facteurs du milieu de travail pouvant entraver le fonctionnement ou l'utilisation des prothèses auditives (poussière). Certains de ces professionnels ont mentionné ressentir le besoin d'obtenir des informations et des directives plus claires à transmettre aux travailleurs.

3.3.3 Groupes de discussion

3.3.3.1 Groupes de discussion avec les professionnels de la santé auditive

Pour chacun des groupes de discussion (audiologistes, audioprothésistes, professionnels en santé du travail), une grille d'analyse des propos recueillis a été complétée. La grille était composée des thèmes suivants : 1) origine de la demande ou contexte d'expression du besoin du travailleur; 2) motivations des travailleurs au port de prothèses auditives; 3) outils, protocoles utilisés ou intervention; 4) recommandations faites aux travailleurs; 5) obstacles; 6) outils ou ressources souhaités et 7) sentiment d'efficacité professionnelle.

Un exemple de grille contenant un extrait des informations tirées des groupes de discussion avec les audiologistes est présenté à l'annexe B. En voici un résumé, par thème :

- Les professionnels ont rappelé les contextes dans lesquels ils rencontrent des travailleurs malentendants. Sans surprise, ces contextes varient en fonction de la profession. S'il est parfois évident qu'un travailleur exposé au bruit consulte entre autres parce qu'il a obtenu des résultats de dépistage auditif réalisé en usine, il en va tout autrement quand un travailleur initie une démarche personnelle de consultation en santé auditive. Si le professionnel ne pose pas de questions précises sur ce risque, il se peut que l'exposition au bruit demeure peu documentée. Il est aussi possible qu'un travailleur soit traité depuis longtemps par certains professionnels en raison d'une surdité diagnostiquée antérieurement et qu'on ne songe pas à mettre à jour son dossier (changements d'emploi ou de postes de travail) et, de ce fait, à documenter son exposition au bruit.
- Sur le plan des motivations des travailleurs à utiliser leurs prothèses auditives au travail, telles que rapportées par les professionnels, les raisons évoquées sont : l'efficacité et

l'autonomie au travail, la sécurité, la communication avec les autres et le désir de ne pas être isolé de ce qui se passe autour d'eux.

- En matière d'intervention, l'ensemble des professionnels déplore un manque d'outils, de protocoles et de ressources. La plupart d'entre eux mentionnent le peu d'informations disponibles sur les exigences du poste de travail ainsi que sur les niveaux de bruit ou le spectre fréquentiel du bruit à un ou à des postes de travail spécifiques. De plus, les unités de mesure de l'exposition au bruit ne sont pas toujours compatibles avec celles utilisées pour mesurer la pression sonore au tympan, ni transférables. Les professionnels soulignent l'absence de données probantes sur le risque d'utilisation des prothèses auditives en milieu de travail bruyant, en fonction des caractéristiques du bruit et de la surdité, et sur l'efficacité réelle des prothèses auditives en regard des habiletés auditives requises au travail. Par ailleurs, les discussions ont révélé que des disparités régionales existent. Ainsi, un travailleur exposé au bruit qui consulte pour ses problèmes d'audition ne reçoit pas nécessairement les mêmes informations, les mêmes consignes, ni le même suivi en fonction du parcours emprunté, de l'état de son système auditif, des équipes et des ressources en place, de l'expérience du professionnel consulté en lien avec la surdité professionnelle et de celle des conseillers en réadaptation et des agents des différents bureaux régionaux de la CSST.
- La recommandation principale formulée au travailleur et qui semble rallier l'ensemble des professionnels consultés consiste à ne pas utiliser les prothèses auditives en milieu de travail bruyant afin de protéger l'audition résiduelle des travailleurs. Quand les niveaux de bruit sont moins élevés, la directive de ne pas recommander le port des prothèses auditives n'est pas aussi tranchée. Beaucoup de professionnels souhaitent pouvoir évaluer le danger réel du port de prothèses auditives sur l'audition résiduelle ainsi que son bénéfice potentiel afin de prendre une décision éclairée. Les données à ce sujet demeurent incomplètes. Dans le doute, on convient de miser d'abord sur l'adaptation du poste de travail tout en étant conscient que peu de travailleurs peuvent bénéficier de cette démarche. Le maintien en emploi du travailleur malentendant est aussi un enjeu pour les professionnels rencontrés.
- Hormis le manque de lignes de conduite, de protocoles clairs et de discours uniformes, les différents professionnels admettent qu'ils se consultent et se concertent peu, et qu'ils connaissent mal l'étendue des responsabilités de leurs collègues. Pourtant, plusieurs d'entre eux sont en mesure de rapporter des exemples d'expérience où la collaboration a fait la différence. Le manque de ressources humaines et de formation est aussi considéré comme un obstacle à la réussite de leurs interventions.
- Les professionnels souhaitent être davantage informés sur les nouvelles technologies dont les prothèses auditives de dernière génération, les protecteurs auditifs actifs, les systèmes de communication et autres produits qui pourraient être pris en compte au moment d'adapter un poste de travail ou encore de répondre aux demandes d'un travailleur. Ils aimeraient disposer d'un inventaire de ces dispositifs, de leur contexte d'utilisation, de la liste des fournisseurs et de leur coût.

- Le sentiment d’efficacité personnelle par rapport à l’usage de l’amplification en milieu de travail bruyant varie d’une profession à l’autre. Certains professionnels du réseau de santé publique en santé au travail rapportent se sentir pris entre l’arbre et l’écorce en raison, entre autres, des discours divergents que peuvent recevoir les travailleurs. Pour leur part, en l’absence d’un protocole de mesure valide et du peu de communication, de coordination et de concertation entre les différents professionnels concernés par la santé auditive, les audiologistes se sentent démunis pour intervenir de façon éclairée. Enfin, bien qu’ils aient davantage confiance en la technologie des prothèses auditives, les audioprothésistes constatent que beaucoup d’informations, surtout celles entourant les postes de travail (p. ex. : niveau de bruit) et leurs exigences (p. ex. : habiletés auditives requises pour accomplir la tâche) leur échappent.

3.3.3.2 Groupes de discussion avec les travailleurs

Une grille d’analyse a aussi permis d’analyser les propos recueillis lors des rencontres avec des travailleurs qui utilisent ou non leur prothèse auditive en milieu de travail bruyant. Les thèmes suivants ont composé la grille d’analyse des discussions réalisées avec ces deux groupes : 1) renseignements demandés par les professionnels en santé auditive; 2) consignes reçues en lien avec le port de prothèses auditives au travail; 3) raisons motivant le port (ou non) des prothèses auditives au travail; 4) bénéfices ou inconvénients du port des prothèses; 5) préoccupations par rapport à la sécurité et 6) pistes d’amélioration.

Un exemple contenant des extraits des informations tirées de ces discussions de groupe est présenté à l’annexe B. En voici un résumé, par thème :

- La plupart des travailleurs ont affirmé que peu de questions leur ont été posées en lien avec leurs tâches au travail et les exigences de leurs postes au plan de l’écoute, de la communication ou de la localisation de signaux sonores, par les professionnels en santé auditive (toutes professions confondues). Généralement, les professionnels leur demandent quel métier ils exercent et pour quelle entreprise ils travaillent, mais sans creuser davantage. Un travailleur a mentionné qu’on lui a demandé s’il avait, en général, des difficultés à entendre au téléphone, mais on ne lui a pas fait préciser s’il devait utiliser le téléphone au travail.
- Les consignes reçues quant au port des prothèses auditives en milieu de travail bruyant varient d’un travailleur à l’autre. Certains ont rapporté avoir reçu une consigne claire de ne pas les porter au travail alors que d’autres ont déjà discuté avec leur professionnel de la possibilité de les porter sous des protecteurs auditifs de type serre-tête (coquilles). D’autres ont mentionné avoir posé la question et avoir reçu la réponse de juger par eux-mêmes des bénéfices, le cas échéant. Enfin, certains ne se rappellent pas que ce sujet ait été abordé lors des rencontres avec les différents professionnels.
- Les principales raisons évoquées par les travailleurs pour utiliser leurs prothèses auditives au travail sont : l’efficacité, l’autonomie, la sécurité, la capacité d’entendre différents types de signaux (parole, alarmes, bruits de défectuosité, entendre l’approche de quelqu’un, etc.) et les capacités variées (détection, discrimination, localisation, etc.). Un

travailleur souhaite mieux entendre au cours des réunions, un autre se trouve démuni quand il n'a pas ses appareils, un autre, enfin, utilise ses prothèses d'abord pour masquer un acouphène dérangeant.

- Les bénéfices rapportés ne sont pas directement reliés au travail (écoute de la musique, écoute de la télévision à volume moindre, etc.), mais peuvent, de façon indirecte, avoir un impact sur leurs activités professionnelles. Par exemple, dans le cas du travailleur souffrant d'un acouphène, le fait de masquer cette sensation anormale lui permet de mieux faire son travail; dans le cas de celui qui se sent démuni sans ses prothèses auditives, le fait de les porter peut influencer son état d'esprit envers le travail. Ceux qui ne portent pas leurs prothèses au travail mentionnent que le niveau de bruit ambiant ne permet pas leur utilisation. Certains ont essayé sans pouvoir les tolérer. Ces travailleurs sont aussi préoccupés des dommages éventuels à leur audition que pourrait occasionner le port des prothèses auditives.
- Tous les travailleurs rencontrés sont préoccupés par la sécurité. Ils sont conscients des dangers liés au fait de ne pas entendre, autant pour eux, qui sont malentendants, que pour ceux qui ont une bonne audition, mais qui n'entendent pas en raison du bruit. Ils rapportent devoir redoubler de vigilance.
- En raison de leurs difficultés auditives autant au travail que dans leur vie personnelle, ces travailleurs malentendants constituent un groupe de personnes qui ont un certain recul face aux différentes étapes ou événements qui les ont conduits à faire des démarches pour se munir d'un appareillage auditif. À la question « Avec ce que vous savez maintenant de la perte d'audition et de l'appareillage, comment pourrait-on améliorer le processus? », certains travailleurs ont spontanément mentionné le recours à des stratégies non auditives pour favoriser la détection et la communication (p. ex. : un signal visuel pour remplacer un signal sonore, déplacer le téléphone dans un milieu non bruyant). Ils ont aussi formulé des questions pour lesquelles ils aimeraient maintenant connaître les réponses : « Est-ce que toutes les prothèses auditives fonctionnent de la même façon ? », « Est-ce dangereux de les utiliser sous les coquilles ? », « Est-ce que le système MF qu'on m'a proposé d'utiliser à la maison fonctionnerait aussi au travail ? » Un travailleur se rappelle que le seul message retenu à l'issue des dépistages auditifs répétés réalisés en usine est qu'il fallait attendre, qu'il était « sous barème ». Il se demande aujourd'hui s'il aurait pu agir au lieu d'attendre de devenir admissible aux indemnités versées par la CSST en raison d'une surdité professionnelle. D'autres se demandent s'il n'y aurait pas moyen de faire les ajustements des prothèses auditives en milieu de travail, dans les conditions réelles de bruit. Ils proposent même de pouvoir utiliser un dispositif qui leur permettrait d'ajuster leurs appareils selon leur convenance, de garder en mémoire ces paramètres et de les rapporter ensuite à leur audioprothésiste. Les travailleurs souhaiteraient aussi mieux comprendre l'étendue d'utilisation et les limites de leurs prothèses auditives.

3.4 Discussion

La réalisation du volet 1 de cette étude a permis de constater que la problématique du port de prothèses auditives en milieu de travail bruyant n'a pas retenu l'attention de la communauté

scientifique, comme le démontrent les résultats de la recension des écrits publiés jusqu'en 2012. Elle n'a également pas permis de documenter la fréquence de cette problématique.

La consultation de professionnels de la santé permet toutefois d'établir qu'il s'agit d'une réalité relativement fréquente au Québec. En effet, presque toutes les personnes consultées ont rapporté avoir été témoins, au moins une fois au cours des cinq dernières années, d'une personne s'interrogeant sur la possibilité d'utiliser ses prothèses auditives au travail ou encore d'une personne qui les utilisait dans son milieu professionnel bruyant.

Ces rencontres avec les professionnels de la santé ainsi qu'avec des travailleurs appareillés ou non ont mis en lumière une recherche souvent isolée de solutions qui échouent à réconcilier l'ensemble des besoins rapportés par les travailleurs. On tente de protéger l'audition résiduelle des travailleurs en décourageant le port de prothèses auditives en milieu de travail très bruyant, mais ce faisant, on pourrait, dans certains cas, sous-estimer le besoin d'entendre de ces travailleurs pour des questions d'efficacité, de sécurité et de communication. En milieu moins bruyant, les points de vue quant au danger réel de suramplification relié à l'utilisation de prothèses auditives varient, tout comme les recommandations faites aux travailleurs quant au port de leurs prothèses.

Les professionnels déplorent l'absence de méthodes de mesure du risque de suramplification valides associé au port de prothèses auditives en milieu de travail bruyant et de protocoles clairs pour ajuster et évaluer leur efficacité en fonction des besoins d'écoute, de communication et de localisation sonore du travailleur. De plus, chacun reconnaît ne pas détenir toutes les informations requises pour bien documenter l'ensemble des contextes sonores et les exigences auditives des postes de travail des travailleurs concernés et pour lesquels des décisions doivent être prises. L'étendue des responsabilités professionnelles des uns et des autres est méconnue et pourrait aussi être mieux définie.

4. LE RISQUE D'AGGRAVATION DE LA SURDITÉ (VOLET 2)

4.1 Objectif

Le second volet vise à examiner le risque d'aggravation de la surdité des travailleurs lors de l'utilisation de prothèses auditives en milieu de travail bruyant. Il a aussi comme objectif d'établir des méthodes de mesure valides pour apprécier le risque d'aggravation de la surdité des travailleurs concernés.

4.2 Méthodologie

Une revue de la littérature scientifique sur le risque d'aggravation de la surdité lors du port de prothèses auditives, effectuée à partir de diverses bases de données (Scopus, CINAHL, Pubmed, Medline, Google Scholar, Web of Science et Google), a permis d'identifier, pour la période 1957 à 2014, 84 documents jugés pertinents, disponibles en français ou en anglais. Le mot-clé « hearing aid » a été combiné à chacun des termes suivants lors de la recherche bibliographique: « hearing deterioration » et « loss » et « aggravation » et « worsening » et « damage »; « auditory fatigue »; « threshold shift »; « permanent threshold shift »; « temporary threshold shift »; « noise exposure »; « over-amplification » et « excessive amplification »; « work » et « workplace » et « occupation » et « occupational » et « worker »; « occupational » et « workplace noise »; « otoacoustic emissions ». L'examen de la section « méthodologie » des articles répertoriés a permis de recenser les méthodes de mesure du risque d'aggravation utilisées et d'en apprécier la validité.

4.3 Résultats

Les pages suivantes résument l'état des connaissances sur le risque d'aggravation de la surdité lors du port de prothèses auditives et, ensuite, sur celui des méthodes d'évaluation de ce risque, et listent quelques recommandations proposées dans la littérature quant au port de prothèses en milieu de travail bruyant. Une description plus détaillée de ces données est fournie à l'annexe C. En raison de la rareté des articles visant spécifiquement les travailleurs en milieu bruyant, la recherche a été étendue au risque d'aggravation chez tous les utilisateurs.

4.3.1 Évidence de risque d'aggravation de la surdité lors du port de prothèses auditives

La détérioration notable de l'audition résiduelle en raison du port de prothèses auditives ne fait pas l'unanimité dans les articles scientifiques. Quoique plusieurs auteurs rapportent une détérioration des seuils auditifs dans le temps significativement plus élevée de l'oreille appareillée par rapport à celle qui ne l'est pas, les résultats d'autres études n'appuient pas cette ou sont moins concluants.

Il est également difficile de tirer des conclusions claires et généralisables quant à la problématique en question puisque la population à l'étude dans la majorité des articles répertoriés (c.-à-d. enfants avec perte auditive importante et appareillés en monaural avec des prothèses analogiques linéaires) est vraisemblablement différente à plusieurs égards de celle des

travailleurs actifs dans des milieux de travail bruyants (p. ex. : degré de la perte, niveaux d'exposition sonore, appareillage binaural avec technologies plus avancées).

4.3.2 Méthodes d'évaluation du risque d'aggravation de la surdité lors du port de prothèses auditives

4.3.2.1 Méthodes d'évaluation du risque applicables à des groupes

La méthode d'évaluation du risque la plus fréquemment utilisée pour quantifier le risque d'aggravation de la surdité dans des groupes d'individus est la surveillance audiométrique. Malgré sa simplicité, plusieurs lacunes y sont associées. On note tout d'abord qu'une analyse sur des données de groupe peut facilement noyer des différences individuelles importantes, tout comme des seuils moyennés sur une étendue de fréquences ne permettent pas de mettre en évidence une détérioration à des fréquences particulières qui sont potentiellement plus sensibles à une exposition au bruit. L'absence d'une évaluation de l'audition préamplification et l'intervalle non spécifié entre l'appareillage et le dernier audiogramme sont également des lacunes méthodologiques parfois notées. Par ailleurs, d'autres facteurs importants susceptibles d'avoir un effet significatif, notamment la sortie maximale de la prothèse auditive, son gain, le réglage de son volume, la présence d'un algorithme de réduction de bruit (et d'autres paramètres), la durée et la fréquence d'utilisation, ainsi que la nature et le degré initial de la perte auditive, sont peu documentés ou contrôlés dans les études de groupe.

Malgré de telles limites, certains auteurs ont démontré une corrélation positive entre le degré de détérioration de l'audition de l'oreille appareillée et la sortie maximale et/ou le gain de la prothèse, ainsi que le volume utilisé, et une corrélation négative avec les seuils auditifs au moment de l'appareillage (une perte auditive initiale plus prononcée étant associée à une détérioration moins importante).

4.3.2.2 Méthodes d'évaluation du risque applicables à des individus

Sur le plan individuel, plusieurs méthodes d'évaluation du risque d'aggravation applicables aux porteurs de prothèses auditives sont répertoriées dans la littérature, soit : 1) la surveillance audiométrique individuelle (décalage permanent des seuils, décalage temporaire des seuils et mesure des émissions otoacoustiques); 2) l'estimation des niveaux d'exposition au bruit ($L_{ex, 8h}$) par dosimétrie, par des mesures avec un coupleur ou un mannequin acoustique et par des mesures étymotiques et 3) les modèles prédictifs.

4.3.2.2.1 Surveillance audiométrique individuelle

Les seuils auditifs mesurés à divers moments peuvent être comparés afin de déterminer si une baisse d'audition de l'oreille appareillée peut être attribuée, du moins en partie, à une suramplification. Cette approche semble toutefois comporter plusieurs faiblesses. Par exemple, en raison de l'erreur de mesure, un certain dommage auditif irréversible peut survenir avant même qu'une différence significative n'apparaisse quand sont comparés les seuils auditifs mesurés. De plus, l'appareillage bilatéral étant de nos jours privilégié, l'oreille non appareillée ne peut plus servir de contrôle pour départager l'effet de l'amplification sur l'audition de celui d'autres facteurs. Enfin, le recours aux mesures audiométriques répétées dans le temps pour

déterminer le risque de suramplification exige un contrôle très rigoureux de plusieurs paramètres (p. ex. : la conformité aux normes en vigueur, la préparation de l'individu à l'évaluation, les conditions acoustiques lors de l'examen, etc.).

La mesure du décalage temporaire des seuils auditifs peut permettre d'établir un lien causal entre la détérioration des seuils et l'utilisation de prothèses auditives, particulièrement lorsqu'une récupération des seuils est notée à la suite d'une période de non-utilisation. De plus, cette méthode pourrait convenir aux situations d'appareillage bilatéral puisque la comparaison repose sur l'audition mesurée avant et après de courtes périodes d'utilisation de prothèses auditives plutôt que sur l'audition de l'oreille appareillée par rapport à celle de l'oreille non appareillée. Des difficultés d'utilisation d'une telle approche en milieu de travail bruyant peuvent par contre être évoquées, en plus de certains facteurs énumérés plus haut. Il pourrait, entre autres, s'avérer difficile, voire impossible, de mesurer les seuils à des moments précis, tout en assurant des conditions de mesure adéquates et reproductibles, d'autant plus que des mesures préexposition (avant le quart de travail) doivent être faites.

La disparition ou la modification des émissions otoacoustiques peuvent également signaler l'apparition d'un dommage auditif. La présence de ces émissions dépend de l'intégrité des cellules ciliées externes et elles sont généralement réduites ou absentes pour les pertes auditives cochléaires supérieures à 40-60 dB HL. L'utilisation des émissions otoacoustiques est toutefois limitée aux individus montrant une audition normale ou une perte auditive neurosensorielle de degré léger ou modéré, ce qui exclut probablement des travailleurs qui doivent ou choisissent de porter des prothèses en milieu de travail bruyant. Son potentiel d'utilisation pour la surveillance d'individus à risque est aussi réduit en raison d'une corrélation non clairement établie entre un décalage des seuils et les modifications des émissions otoacoustiques, à la suite d'une exposition au bruit. Ces limites ne font pas de la mesure des émissions otoacoustiques un outil optimal pour quantifier le risque de suramplification chez les travailleurs qui portent des prothèses auditives au travail.

4.3.2.2 Estimation des niveaux d'exposition au bruit (Lex, 8h) par dosimétrie, par des mesures avec un coupleur ou un mannequin acoustique et par des mesures étymotiques

Les méthodes typiquement utilisées pour estimer l'exposition au bruit en milieu de travail bruyant, par l'entremise d'un sonomètre ou d'un dosimètre, ne s'appliquent pas directement aux situations où le travailleur porte une prothèse auditive ou tout autre appareil recouvrant l'oreille ou bloquant le conduit auditif. Dans de tels cas, la pression sonore dans l'oreille, sous l'appareil, doit être mesurée ou estimée et ensuite ramenée à un équivalent champ libre ou diffus à la position du travailleur absent afin d'être comparée aux limites réglementaires. Cette approche permettrait ainsi d'évaluer le risque d'aggravation de l'audition comme pour toutes autres sources de bruit à distance du travailleur.

Les méthodes de mesure des niveaux sonores en situation d'oreille occluse les plus directement applicables à la problématique des prothèses auditives sont l'utilisation d'un microphone dans l'oreille, d'un mannequin acoustique et d'une oreille artificielle. Par extension, les coupleurs de type HA-1 et HA-2, souvent utilisés pour l'analyse des prothèses auditives, peuvent également être considérés. Dans chaque cas, les niveaux d'exposition doivent être corrigés pour obtenir leur

équivalent en champ sonore, exprimés en dBA. Ces différentes méthodes présument que le niveau de pression sonore au tympan est directement relié au risque d'atteinte à l'audition, que la source soit située en champ sonore à distance du travailleur (p. ex. : machine) ou placée dans l'oreille (p. ex. : écouteur).

Dans toutes les approches, des mesures en tiers d'octave sont effectuées pendant toute la durée de l'exposition, transformées en décibels SPL dans le champ sonore et finalement converties en dBA. On présume alors qu'un niveau de pression sonore mesuré au tympan dans un conduit auditif occlus et transformé en son équivalent champ sonore est aussi nocif qu'un niveau sonore identique mesuré directement dans le champ sonore. Certaines études mettent en doute cette hypothèse et semblent indiquer que la mesure des niveaux de pression sonore au tympan, en présence d'une source sonore dans le conduit auditif, résulterait en une surestimation de l'exposition au bruit. Dans le cas des prothèses auditives portées par des travailleurs, une telle approche serait donc davantage conservatrice, en surestimant le niveau réel d'exposition au bruit.

4.3.2.2.3 Modèles prédictifs

Pour évaluer le risque d'aggravation de la surdité chez des utilisateurs de prothèses auditives, certains auteurs ont eu recours à des modèles mathématiques pour prédire soit les niveaux d'exposition sonore, soit la détérioration des seuils auditifs.

Un modèle quantitatif basé sur la méthode par bande d'octaves utilisée pour prédire le niveau sonore sous les protecteurs auditifs a été utilisé pour prédire les niveaux de gain de la prothèse qui sont considérés sécuritaires, en prenant en considération les niveaux d'exposition sonore et l'atténuation fournie par le protecteur auditif (si applicable). Le modèle quantitatif permet de faire une prédiction pour chaque fréquence entre 125 et 8000 Hz, sur la base des niveaux de bruit (dB SPL), de l'atténuation de la coquille et du gain de la prothèse auditive mesuré ou calculé selon la méthode révisée du National Acoustic Laboratories (NAL-R). Des facteurs de correction pour la réponse en fréquences du microphone et pour la résonance de la conque sont également pris en considération. Les valeurs d'atténuation des protecteurs sont d'abord soustraites des niveaux de bruit auxquels le travailleur est exposé. La résultante de cette étape se traduit par les niveaux de pression sonores sous le protecteur sans l'influence de la prothèse auditive. À ces niveaux sont additionnées les valeurs de gain mesurées ou calculées afin d'obtenir les niveaux sonores avec le port de la prothèse sous le protecteur auditif. Finalement, ces dernières valeurs sont corrigées pour prendre en compte: 1) les différences entre le microphone de type sonde utilisé lors des mesures de gain et celui utilisé dans le champ sonore et 2) les effets de résonance de la conque. À l'aide du modèle, les niveaux de gain maxima de la prothèse auditive considérés sécuritaires peuvent également être calculés en soustrayant les niveaux de pression sonore avec la prothèse sous le protecteur auditif des niveaux d'exposition sonore maxima permis.

L'estimation des niveaux d'exposition sonore est une approche intéressante pour étudier le risque de suramplification. Il semble, par contre, que l'utilité d'une telle approche soit limitée par deux facteurs interreliés, soit : 1) le besoin de transformer en équivalent champ sonore les valeurs mesurées au tympan avec la prothèse auditive activée et 2) le fait que les critères de risque couramment utilisés soient typiquement basés sur l'effet d'une exposition sonore sur des individus avec audition normale. Des corrections additionnelles s'imposent probablement en présence d'une perte auditive.

Certains auteurs ont plutôt utilisé des modèles mathématiques pour prédire l'ampleur du décalage temporaire ou permanent des seuils associés à l'utilisation de prothèses auditives. Ces modèles prennent généralement en considération l'effet combiné de l'âge et de l'exposition au bruit pour prédire la quantité de décalage des seuils (temporaire ou permanent) attendu chez des adultes avec audition normale en appliquant par la suite une correction pour les personnes avec perte auditive neurosensorielle. Toutefois, dans une telle approche, le niveau continu équivalent de l'exposition sonore lors de l'utilisation des prothèses auditives doit d'abord être établi. La validité des méthodes prédictives semble, par contre, se limiter aux appareils linéaires, puisque les niveaux d'exposition amplifiés sont généralement établis sur la base des valeurs de gain des prothèses. Il est important de noter que la majorité des prothèses auditives disponibles sur le marché et prescrites de nos jours ne sont plus de type linéaire.

4.3.3 Recommandations répertoriées concernant le port de prothèses auditives en milieu de travail bruyant et le risque d'aggravation de l'audition

Les recommandations destinées aux travailleurs qui désirent ou qui devraient porter des prothèses auditives en milieu de travail ne sont pas clairement établies et demeurent assez rudimentaires. En général, les professionnels recommandent que les prothèses ne soient jamais portées dans des milieux bruyants caractérisés par un niveau d'exposition au bruit supérieur à 90 dBA (des protecteurs auditifs devraient plutôt être utilisés) et que les travailleurs qui portent des prothèses aient obligatoirement un suivi clinique, même si les niveaux sonores dans le milieu de travail ne dépassent pas le critère d'action établi.

Bien que les prothèses auditives puissent générer des niveaux sonores dangereux pour l'audition, même si elles sont munies de circuits limitant les sons forts, certains croient qu'un ajustement personnalisé, selon des méthodes prescriptives établies, est sécuritaire dans la majorité des cas. Pour limiter le risque d'aggravation, on recommande alors : 1) d'ajuster les prothèses selon des formules prescriptives établies; 2) de s'assurer que les valeurs au tympan soient inférieures aux valeurs maximales proposées par les organismes réglementaires; 3) de déterminer le niveau d'entrée nécessaire pour produire de telles valeurs et 4) d'estimer la dose réelle d'amplification sur la base des activités quotidiennes, leur durée et leur fréquence.

En présence d'un risque de suramplification, on recommande diverses solutions techniques (compression de la gamme dynamique, prothèses à multiples mémoires, microphones directionnels, algorithme de réduction du bruit, système MF, présence d'un contrôle de volume, utilisation sous un protecteur de type coquille, utilisation d'un casque de communication au lieu des prothèses auditives, etc.), une amplification binaurale afin de réduire le gain requis dans chaque prothèse, ainsi que des options environnementales telles que le retrait temporaire des prothèses.

Enfin, un ajustement et une vérification appropriés des prothèses ne peuvent pas garantir qu'il n'y aura pas de dégradation de l'audition. Un suivi clinique régulier des travailleurs qui utilisent une forme ou l'autre d'amplification en milieu de travail bruyant pourrait permettre de déterminer de façon précoce une détérioration de l'audition, tout en prenant en compte les limites associées à une telle approche (p. ex. : l'erreur de mesure audiométrique).

4.4 Discussion

Sur la base d'une revue de la littérature présentée à l'Annexe C on ne peut tirer de conclusion claire quant au risque d'aggravation de la surdité associé au port de prothèses auditives. En fait, la majorité des études sur le sujet datent de plusieurs années et portent sur des technologies désuètes ou encore ne cernent pas spécifiquement la problématique des travailleurs œuvrant en milieu de travail bruyant.

Par ailleurs, malgré la diversité des méthodologies proposées dans les différents articles répertoriés (c.-à-d. surveillance audiométrique, estimation des niveaux d'exposition au bruit et modèles prédictifs), aucune de ces méthodes ne semble suffisamment valide et fiable pour estimer ou prédire de façon précise le risque d'aggravation de la surdité lors du port de prothèses auditives. Face à une pénurie d'outils et de méthodes de mesure standardisées, les professionnels semblent privilégier la mesure des niveaux sonores au tympan qui sont ensuite transformés en équivalent champ libre et comparés aux niveaux sonores admissibles déterminés par les différentes juridictions. La valeur de 85 dBA pendant huit heures d'exposition est souvent citée dans la littérature comme limite d'exposition admissible, même si l'Organisation mondiale de la santé préconise 75 dBA pendant 8 h comme valeur guide limitant tout décalage des seuils d'audition.

Enfin, les recommandations destinées aux travailleurs qui désirent ou qui devraient porter des prothèses auditives en milieu de travail ne sont pas clairement établies et demeurent assez limitées. Sur le plan de la recherche, une revue des options alternatives ou supplétives au port de prothèses auditives semble de mise, tout comme l'établissement de protocoles clairs destinés aux professionnels du domaine de la santé auditive afin de gérer adéquatement cette problématique.

5. L'EFFET DE L'AMPLIFICATION AUDITIVE SUR LA PERCEPTION DE LA PAROLE DANS LE BRUIT ET SUR LA LOCALISATION SONORE (VOLET 3)

5.1 Objectif

Le troisième volet a pour objectif de documenter l'efficacité des prothèses auditives à soutenir des capacités auditives nécessaires à l'exécution autonome et sécuritaire des tâches en milieu de travail, soit la perception de la parole dans le bruit et la localisation sonore. De façon plus spécifique, les effets des réducteurs de bruit et des microphones directionnels sur la perception de la parole et ceux des diverses technologies sur la localisation sonore ont été explorés.

5.2 Méthodologie

Une revue de la littérature a été réalisée en consultant des bases de données (Medline, Scopus, CINAHL, PubMed, IEEE Xplore Digital Library, Google Scholar), desquelles ont été extraites 57 références spécialisées en audiologie ou en santé et en sécurité du travail. Les références obtenues valent pour la période 1998-2012. Plusieurs mots-clés ont été utilisés lors de cette recherche, tels que présentés au tableau 7. De plus, une consultation de la liste de références des articles retenus a permis de recenser des articles pertinents supplémentaires.

Tableau 7 – Liste de mots-clés pour chacun des thèmes abordés dans le volet 3

Réducteurs de bruit et perception de la parole	Microphones directionnels et perception de la parole	Technologies diverses et localisation sonore
hearing aid, noise, speech perception, noisy environment, noise reduction	hearing aid, noise, speech perception, noisy environments, workplace, directional microphone, industry	hearing aid, localization, CIC, noise, sound localization, hearing loss, amplification, directional microphone, noise reduction

5.3 Résultats

Les sections suivantes résument très succinctement l'état des connaissances. Des tableaux descriptifs exhaustifs ⁴ ont été préparés pour chacun des thèmes du tableau 7. Il est à noter que les travaux recensés dans la littérature portent sur des environnements sonores souvent peu représentatifs des conditions acoustiques du milieu de travail (p. ex. : niveau, contenu fréquentiel, durée de réverbération), ce qui ajoute des limites à l'interprétation et à la généralisation des résultats à la population visée, soit les travailleurs exposés au bruit.

⁴ Les tableaux peuvent être transmis au besoin en contactant le premier auteur à l'adresse courriel suivante : tony.leroux@umontreal.ca.

5.3.1 Effet des réducteurs de bruit sur la perception de la parole

Malgré l'utilisation de méthodologies différentes d'une étude à l'autre, une amélioration significative de la perception de la parole associée à l'utilisation d'un réducteur de bruit est rapportée dans seulement quatre des 18 articles retenus; les autres n'établissent aucune amélioration ou détérioration significative en lien avec cette technologie. Quoique le réducteur de bruit ne semble pas aussi avantageux qu'un microphone directionnel pour améliorer les performances aux épreuves de perception de la parole, son utilisation est quand même recommandée en raison des nombreux bénéfices subjectifs rapportés par les utilisateurs, soit l'amélioration du confort d'écoute, de l'effort d'écoute et de la qualité sonore. De plus, les réducteurs de bruit pourraient contribuer à réduire les niveaux d'exposition sonore, du moins si on les compare avec des prothèses de même modèle utilisées sans réducteur de bruit. Il importe, par contre, lors du processus d'intervention, d'inculquer des attentes réalistes aux utilisateurs quant aux bienfaits des réducteurs de bruit, et cela, en dépit du peu d'informations accessibles aux professionnels de la santé sur les algorithmes utilisés dans les prothèses auditives des divers manufacturiers.

5.3.2 Effet des microphones directionnels sur la perception de la parole

Sur un échantillon de 21 articles analysés, on note une grande variabilité des résultats non seulement dans les avantages documentés d'un microphone directionnel pour la reconnaissance de la parole dans le bruit comparativement à la performance en mode omnidirectionnel, mais aussi dans la méthodologie utilisée. En général, l'avantage du directionnel par rapport à l'omnidirectionnel sur le seuil de réception de phrases dans du bruit pourrait atteindre 15 dB, mais la grande majorité des articles rapportent un avantage moyen qui se situe davantage entre 2 et 5 dB. Il semblerait que cet avantage dépend beaucoup de la méthodologie utilisée pour le quantifier et, aussi, du type de bruit, du nombre de sources de bruit, de l'emplacement des sources de bruit par rapport à celui de la parole, du nombre de microphones sur chaque prothèse, du type de patron de directivité et de son mode de fonctionnement (cardioïde/hyper-cardioïde, adaptatif/fixe) et du type d'embout utilisé (fermé/ouvert). On note un avantage additionnel d'environ 2 dB pour le microphone directionnel adaptatif comparativement au microphone directionnel fixe, sauf en présence d'un bruit diffus alors que les performances sont similaires. Par ailleurs, le port d'un embout ouvert semble réduire l'avantage fourni par un microphone directionnel comparativement au port d'un embout fermé.

Enfin, en ce qui a trait à l'évaluation subjective des microphones directionnels comparativement aux microphones omnidirectionnels, il semble que le tiers des utilisateurs ne fait pas la différence entre les différentes modalités utilisées (omnidirectionnel ou directionnel, adaptatif ou fixe), qu'un autre tiers utilise plus souvent le mode omni et que le dernier tiers privilégie le mode directionnel. Les utilisateurs préféreraient le microphone directionnel lorsqu'ils font face à des situations sonores variées ou lorsqu'ils sont en présence de bruit, alors que le mode omnidirectionnel serait privilégié pour la localisation sonore.

5.4 Effet de diverses technologies sur la localisation sonore

En ce qui concerne la capacité de localisation sonore, les 18 articles recensés et analysés explorent différentes conditions d'utilisation des prothèses auditives incluant les performances appareillées par rapport aux performances non appareillées, l'amplification unilatérale par rapport à bilatérale, la position des microphones, le patron de directivité des microphones, différentes stratégies de traitement du signal (tel que les réducteurs de bruit, la communication binaurale, la préservation de la phase interaurale, l'impact des embouts ouverts par rapport aux embouts fermés, la compression fréquentielle et différentes combinaisons de ces stratégies de traitement du signal) et la période d'acclimatation.

En général, les performances de localisation sonore sont meilleures en condition d'oreille ouverte (sans prothèses) qu'avec des prothèses auditives, surtout en ce qui concerne la proportion des confusions de position avant/arrière. L'amplification bilatérale est habituellement supérieure à l'amplification unilatérale pour soutenir cette tâche auditive.

L'effet du positionnement des microphones demeure peu concluant puisque les résultats de diverses études sont contradictoires. Quoique certaines études accordent un avantage aux appareils de type CIC sur ceux de type BTE pour ce qui est des confusions avant/arrière, d'autres études semblent suggérer que la position des microphones n'aurait qu'un faible impact sur la localisation sonore. Contrairement à la croyance répandue parmi les professionnels en santé auditive, les microphones directionnels pourraient améliorer la localisation sonore comparativement aux microphones omnidirectionnels, particulièrement pour les confusions avant/arrière. Le patron de directivité et les signaux sonores utilisés seraient, du moins en partie, responsables de cette amélioration.

Les différentes stratégies de traitement de signal peuvent également avoir un impact sur la localisation auditive, en modifiant les indices essentiels à cette tâche. Par exemple, certaines études ont démontré que la compression dynamique opère différemment dans chaque oreille, ce qui peut nuire à la perception spatiale; les sons étant perçus comme étant diffus et en mouvement. Alors que certaines études avancent que la localisation sonore peut être maintenue même en présence d'un réducteur de bruit actif, d'autres études rapportent plutôt une détérioration de cette tâche auditive. Il est difficile de tirer des conclusions claires quant à l'effet de divers paramètres des prothèses auditives sur la localisation sonore étant donné le petit nombre d'études concernant spécifiquement un paramètre, l'interaction complexe entre divers paramètres et la grande diversité de méthodologies utilisées pour étudier leurs effets.

Finalement, après l'ajustement des prothèses auditives, les performances de localisation sonore, en fonction de diverses stratégies de traitement du signal, peuvent changer à la suite d'une période d'acclimatation au cours de laquelle l'utilisateur s'habitue aux prothèses avant d'en tirer les meilleurs bénéfices. Cette période peut durer quelques mois; sa durée varie en fonction de l'âge de l'utilisateur et de l'état de ses fonctions cognitives.

5.5 Discussion

Le port de prothèses auditives peut contribuer à améliorer ou, au contraire, à détériorer les capacités auditives nécessaires à l'exécution autonome et sécuritaire de tâches en milieu de travail. Elles peuvent parfois réduire la perception de la parole dans le bruit comparativement à une condition non appareillée, particulièrement lorsqu'elles sont utilisées en mode omnidirectionnel. Pour leur part, les microphones directionnels semblent améliorer cette capacité, avec un avantage directionnel moyen (par rapport à omni) d'environ 2 à 5 dB rapporté dans la majorité des études; cet avantage étant par contre plus limité lors du port d'un embout ouvert comparativement à un embout fermé. Par ailleurs, les microphones directionnels adaptatifs offriraient un avantage additionnel d'environ 2 dB comparativement aux microphones directionnels fixes dans des conditions de bruit non diffus où la parole et le bruit sont spatialement séparés.

Contrairement aux microphones directionnels, il y a peu d'évidences que les réducteurs de bruit pour la perception de la parole dans le bruit apportent un bénéfice. Par contre, l'impression subjective semble favorable en ce qui a trait à l'amélioration du confort d'écoute, de l'effort d'écoute et de la qualité sonore. Les réducteurs de bruit pourraient aussi contribuer à réduire les niveaux d'exposition sonore, mais on ne semble pas disposer de méthodes ou de protocoles d'évaluation standardisés permettant de mesurer le niveau d'exposition sonore résiduel.

Quant à l'effet des prothèses auditives sur les capacités de localisation sonore, les résultats sont moins concluants en ce qui a trait à la sécurité des travailleurs. En général, la localisation sonore est meilleure en situation non appareillée qu'appareillée, surtout pour la dimension avant/arrière comparativement à la dimension gauche/droite qui semble moins affectée. En fait, différents ajustements des prothèses auditives peuvent modifier les indices essentiels à la localisation sonore. Quoiqu'il soit difficile de tirer des conclusions claires en raison de la grande diversité de paramètres à étudier et des méthodologies utilisées dans les diverses études, il semble que les microphones directionnels puissent potentiellement améliorer les capacités de localisation sur le plan avant/arrière comparativement aux microphones omnidirectionnels et qu'une période d'acclimatation pourrait également s'avérer bénéfique. Toutefois, ce délai n'est peut-être pas réaliste, ce qui pourrait compromettre la sécurité des travailleurs malentendants en milieu bruyant.

Bref, les résultats des travaux recensés dans la littérature sont, pour la plupart, difficilement généralisables à la population visée dans la présente étude. Les stimuli, les environnements, l'organisation, les exigences d'écoute et de communication propres au milieu de travail ainsi que les caractéristiques auditives individuelles peuvent s'avérer très différents des contextes méthodologiques répertoriés dans ces études.

6. LES NOUVELLES TECHNOLOGIES D'AMPLIFICATION ET DE PROTECTION (VOLET 4)

Rappelons que dans les milieux bruyants, plusieurs travailleurs ayant une perte auditive font face à une problématique qui oppose très souvent leurs besoins de communication à leurs besoins de protection auditive et physique. Pour accomplir leurs tâches de façon efficace, tout en assurant leur sécurité et celle des autres, ces travailleurs doivent être en mesure de bien entendre des signaux importants tels que la parole et les avertisseurs sonores, malgré l'atténuation des protecteurs. Afin de combler ces besoins de communication et de protection auditive, les travailleurs peuvent opter soit pour l'utilisation de prothèses auditives en fonction ou hors fonction, le port de prothèses auditives sous un serre-tête protecteur (coquille) ou l'utilisation de protecteurs auditifs passifs conventionnels ou actifs (électroniques). Certaines de ces options sont traitées dans les volets 2 et 3 du présent rapport. Le volet 4 porte plus particulièrement sur les protecteurs auditifs actifs. Les protecteurs auditifs à rétablissement du son, les protecteurs auditifs avec système de communication intégré et ceux à réduction active du bruit (*active noise réduction-ANR*) sont des protecteurs auditifs actifs.

Les applications industrielles, militaires et policières de ces produits ont connu une croissance rapide sur le marché (Casali, 2010a; Giguère et coll., 2011a) et représentent une option à envisager pour atteindre le double objectif d'une protection auditive adéquate et d'une préservation de la conscience de son environnement sonore, particulièrement pour les individus avec une perte auditive (Dolan et O'Loughlin, 2005; Giguère et coll., 2011b). Comparativement aux protecteurs passifs, ils offrent une certaine flexibilité d'ajustement en fonction des conditions d'écoute dans lesquelles ils sont utilisés. Cependant, il n'existe aucune méthode détaillée pour la sélection d'un produit, ni de lignes directrices standardisées guidant leur ajustement pour assurer une protection et une conscience environnementale adéquates. Certains produits disposent de fonctions radio intégrées permettant les communications à distance. Des efforts de recherche actuels visent à étudier l'effet des protecteurs auditifs actifs sur la perception des avertisseurs sonores, la localisation sonore et la perception de la parole à proximité et sur de longues distances (p. ex. : Abel et coll., 2007, 2009, 2011, 2012; Casali et coll., 2007; 2009; Nakashima & Abel, 2009; Alali & Casali, 2011, 2012; Giguère et coll., 2011b, 2012a; Casto & Casali, 2012).

6.1 Objectif

Ce quatrième volet vise à faire l'état des connaissances sur les nouvelles technologies de protecteurs auditifs actifs, et plus particulièrement les protecteurs à rétablissement du son, pouvant faciliter l'écoute, la communication et la localisation, tout en limitant l'exposition au bruit.

6.2 Méthodologie

Une revue de littérature portant sur les protecteurs auditifs actifs et leurs effets sur diverses capacités auditives a été complétée à partir d'une banque d'articles accumulés par les chercheurs au cours de la réalisation de projets antérieurs. Une recherche sur internet a aussi été réalisée. Plusieurs mots-clés ont été utilisés dans le moteur de recherche Google, incluant « level dependent hearing protector »; « hearing protection for people with hearing loss »; « intelligent

hearing protection » et « dynamic hearing protection for people with hearing loss », afin d'identifier des fabricants de protecteurs auditifs à rétablissement du son moins connus. Une consultation des sites internet des divers fabricants ou de leurs représentants ainsi que des discussions lors de rencontres de comités techniques de normalisation avec des membres de la CSA, ANSI et ISO ont également été utiles.

6.3 Résultats

6.3.1 Description des protecteurs auditifs actifs

Dans les environnements sonores et les situations de travail les plus complexes, les protecteurs auditifs actifs doivent protéger l'audition contre les bruits continus et impulsifs nocifs tout en permettant une conscience de l'environnement sonore (p. ex. : perception de signaux sonores avertisseurs, localisation sonore, communication verbale et détection de signaux sonores à distance), tant dans l'environnement immédiat que lors de communications radio. Les paragraphes ci-dessous, s'appuyant sur des revues de la littérature réalisées par Brammer et coll. (2008) et Casali (2010b), portent sur les récents développements et les enjeux actuels dans le domaine des protecteurs auditifs actifs et des systèmes de communication de pointe.

Les progrès technologiques rapides dans le domaine de l'électronique et du traitement de signal numérique au cours des dernières années ont entraîné un regain d'intérêt pour les protecteurs auditifs munis de microphones, d'écouteurs et d'autres composantes électroniques. En général, ces dispositifs visent à atteindre un ou plusieurs des objectifs suivants : 1) offrir une atténuation plus importante que l'atténuation passive caractéristique du dispositif, par l'entremise d'un algorithme de réduction active du bruit ou d'une technologie d'annulation de phase; 2) rehausser la conscience de l'environnement sonore par le biais d'une atténuation variable en fonction des niveaux sonores présents dans l'environnement et 3) incorporer des fonctions de communication radio afin de permettre les communications à distance. Le second objectif, qui est directement en lien avec la problématique visée, est davantage décrit dans les paragraphes suivants.

Les protecteurs auditifs à rétablissement du son, représentés schématiquement à la figure 4, sont spécifiquement conçus pour amplifier les sons atteignant l'oreille d'une valeur qui dépend du niveau sonore présent dans l'environnement. Ils sont munis de plusieurs composantes électroacoustiques, incluant des microphones (E et R) et un écouteur (S). Dans certains modèles, lorsque que le niveau sonore au microphone E ne dépasse pas la limite établie par les normes d'exposition au bruit en milieu de travail, les sons de l'environnement qui sont captés par le microphone R sont amplifiés et, par la suite, acheminés à l'écouteur S pour améliorer leur audibilité. Ce processus de traitement du signal peut nécessiter des circuits électroniques analogiques ou numériques. Dans les systèmes les plus simples, la parole et le bruit environnemental sont amplifiés, habituellement de façon préférentielle pour les fréquences correspondant aux sons de la parole (p. ex. : les fréquences supérieures à 125 Hz).

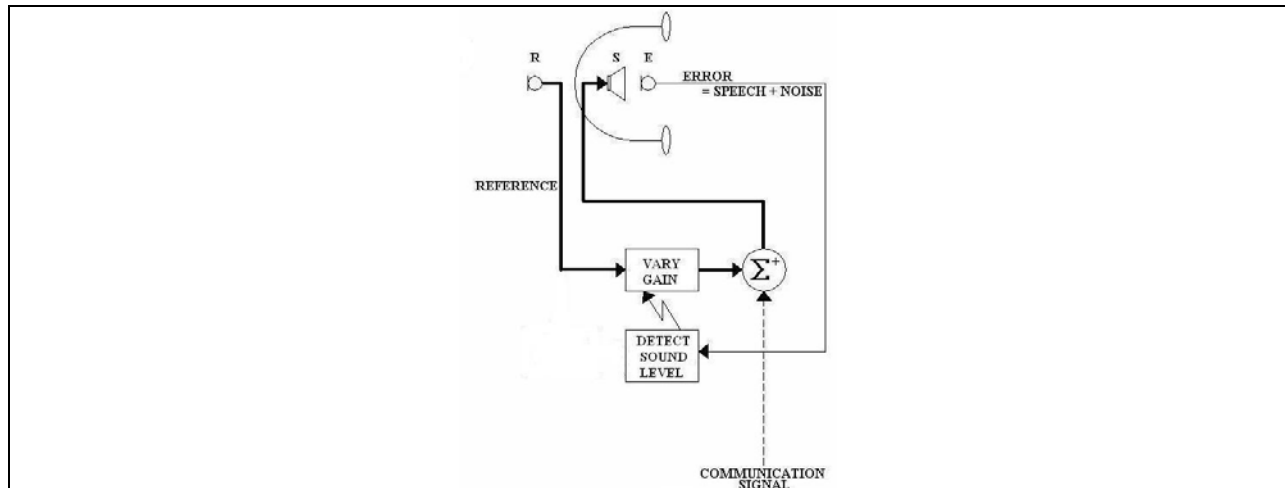


Figure 4 – Représentation schématique d'un protecteur auditif à rétablissement du son
(Tirée de Giguère et coll., 2011a)

Comme illustré à la figure 4, un détecteur surveille continuellement le niveau sonore sous la coquille (en E). Lorsque le niveau sonore dépasse une valeur prédéterminée, le gain entre S et E est immédiatement réduit. Dans les systèmes les plus simples, le gain est maintenu constant et le dispositif agit comme un amplificateur linéaire lorsque le niveau sonore sous la coquille est inférieur à la limite supérieure établie. D'autres systèmes sont munis d'un contrôle automatique du gain (*automatic gain control – AGC*) afin de permettre une réduction de gain plus graduelle. Des systèmes encore plus sophistiqués utilisent des algorithmes complexes qui visent à amplifier préférentiellement la parole émise par un locuteur situé en face de l'utilisateur. Il est important de noter qu'à la figure 4, l'ajustement du gain est non seulement sous le contrôle direct du détecteur, mais que l'utilisateur peut également varier manuellement le gain de base par l'entremise d'un contrôle de volume, typiquement sur une plage de 12 à 18 dB (mais parfois plus), ou éteindre l'amplificateur afin d'obtenir uniquement une atténuation passive. Selon l'emplacement du contrôle de volume dans le circuit AGC, une compression de sortie (*output compression – AGCo*) ou d'entrée (*input compression – AGCi*) peut être réalisée; il s'agit de fonctions compressives qui s'apparentent à celles retrouvées dans les prothèses auditives. Un exemple de produit opérant selon chaque mode de compression est présenté dans la section suivante.

6.3.2 Exemples de produits à compression de sortie (AGCo) et à compression d'entrée (AGCi)

Le Threat4 X-62000 est un protecteur auditif de type bouchon avec système de communication intégré spécialement conçu pour les applications militaires. Il est muni de fonctions permettant, d'une part, la communication de vive voix en face à face (*talk-through*) par le principe de rétablissement du son, soit cinq réglages de gain disponibles variant de 0 à +12 dB en plus du mode OFF, et, d'autre part, la communication par radio (le volume doit alors être ajusté sur l'unité radio externe). Le Threat4 X-62000 est compatible avec une vaste gamme de radios

commerciales et militaires, et est généralement utilisé avec des bouchons en mousse Comply™ (Oakdale, Minnesota). L'atténuation certifiée des bouchons en mousse s'insérant dans le conduit auditif correspond à une valeur de réduction du bruit en pondération A (*Noise Reduction Statistics for A-weighting – NRSA*) de 32-39 dB (ANSI/ASA S12.68-2007 R2012).

Des estimations du gain à différents réglages du volume en mode communication de vive voix peuvent être obtenues par l'entremise de mesures objectives effectuées avec un mannequin standardisé (ANSI S3.36-1985 R2006). La figure 5 illustre les niveaux sonores à l'oreille du mannequin en fonction des niveaux sonores en champ libre pour les cinq réglages de gain disponibles en mode communication de vive voix du Threat4 X-62000, en plus de la condition d'oreille non occluse. On note une augmentation des niveaux sonores à l'oreille du mannequin (sortie) si on augmente le niveau sonore des stimuli (entrée), à tous les réglages du gain, jusqu'à un niveau maximal de 87 dBA à l'oreille du mannequin. La forme des courbes entrée/sortie indique clairement que le système de communication de vive voix du Threat4 X-62000 agit comme un circuit AGCo d'une prothèse auditive (Dillon, 2001; Volanthen & Arndt, 2007) avec un rapport de compression très élevé. Comme attendu, les niveaux au mannequin sont plus élevés pour des réglages de gain plus élevés pour les stimuli sonores de niveau faible à modéré (<70 dBA). En général, la limite de sortie du système est réglée à un niveau d'environ 87 dBA à l'oreille, ce qui correspond à un équivalent champ libre d'environ 80 dBA.

La figure 5 illustre également le gain d'insertion du Threat4 X-62000 pour des bandes d'octaves entre 125 et 8000 Hz en réponse à un bruit rose présenté à 60 dBA, niveau auquel le dispositif agit comme un système linéaire. Le gain maximal se situe à 2000 Hz. Les courbes représentant les différents réglages de gain du mode communication de vive voix sont essentiellement parallèles, ce qui indique que l'augmentation du gain d'un réglage à l'autre est égale à toutes les fréquences pour la gamme de 125 à 8000 Hz.

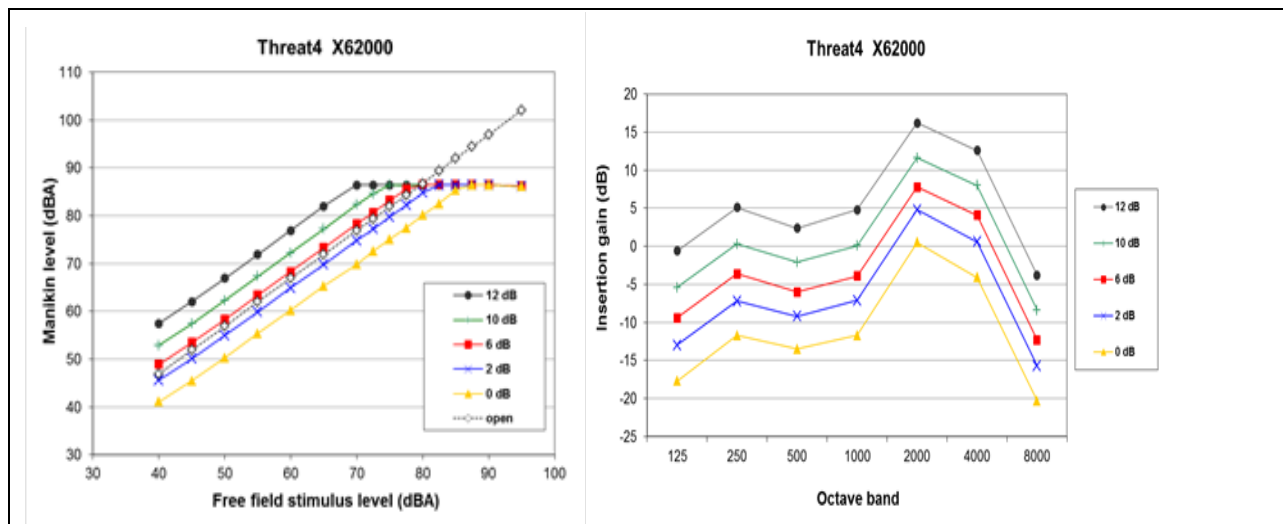


Figure 5 – Threat4 X-62000: courbes entrée/sortie dans un bruit spectre de parole (à gauche) et gain d'insertion en fonction de la fréquence en réponse à un bruit rose de 60 dBA (à droite)

Le casque de communication PELTOR PowerCom Plus est un dispositif de type coquille, muni d'un microphone perche, offrant des capacités de communication de vive voix (cinq réglages de gain disponibles numérotés de 1 à 5, en plus du mode OFF) afin de préserver la conscience de l'environnement sonore dans des niveaux de bruit faibles à modérés tout en protégeant l'audition pour des niveaux élevés de bruit. Le dispositif offre donc une protection auditive variable en fonction du niveau sonore (atténuation passive seulement) avec un indice de réduction du bruit (IRB ou NRR pour noise reduction rating) de 25 dB. Selon les données du fabricant, l'atténuation passive moyenne varie de 19 à 39 dB de 125 à 8000 Hz.

La figure 6 illustre les niveaux sonores à l'oreille du mannequin en fonction des niveaux sonores en champ libre pour les cinq réglages du gain (1 à 5) du PELTOR PowerCom Plus et la condition d'oreille non occluse. On note une augmentation linéaire (taux de 1,0 dB/dB) des niveaux sonores à l'oreille du mannequin (sortie) avec une augmentation du niveau sonore des stimuli (entrée), à tous les réglages du gain, jusqu'à un niveau d'entrée d'environ 60 dBA (le seuil de compression). Par la suite, l'appareil effectue une compression du signal (l'augmentation du niveau de sortie est moindre que celle du niveau d'entrée), avec un rapport de compression d'environ 4:1, c'est-à-dire que le niveau de sortie augmente de 1 dB pour chaque augmentation de 4 dB du niveau d'entrée. Comme attendu, pour un niveau donné du stimulus, les niveaux au mannequin sont plus élevés pour des réglages de gain plus élevés, et les courbes de gain sont toutes parallèles. Ces caractéristiques indiquent que le PELTOR PowerCom Plus agit comme un circuit AGCi d'une prothèse auditive (Dillon, 2001; Volanthen & Arndt, 2007). Par conséquent, la limite de sortie du PELTOR PowerCom Plus dépend du réglage du gain (figure 4), contrairement au Threat4 X-62000 (figure 5) qui fonctionne selon le principe de l'AGCo.

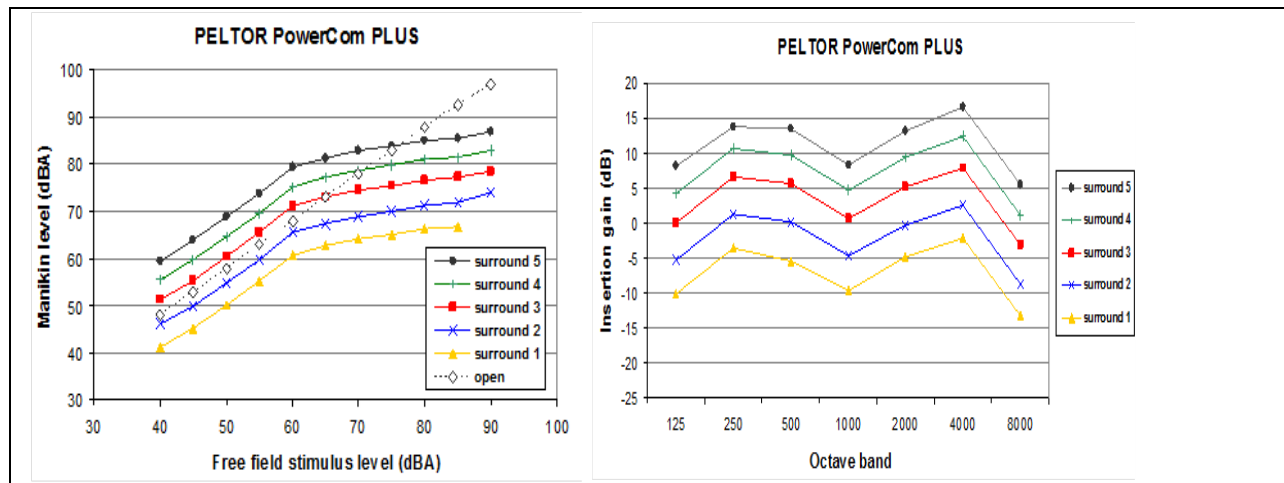


Figure 6 – PELTOR PowerCom Plus: courbes entrée/sortie dans un bruit spectre de parole (à gauche) et gain d'insertion en fonction de la fréquence en réponse à un bruit rose de 60 dBA (à droite)

La figure 6 montre également le gain d'insertion du PELTOR PowerCom Plus pour des bandes d'octaves entre 125 et 8000 Hz en réponse à un bruit spectre de parole présenté à 60 dBA. Tout comme pour le Threat4 X-62000, l'augmentation du réglage du gain est essentiellement

uniforme sur l'ensemble des fréquences. Le gain maximal se situe à 4000 Hz et on note un creux d'environ 5 dB à 1000 Hz. Le gain d'insertion de l'appareil, moyenné sur les quatre bandes de fréquences entre 500 et 4000 Hz, est de -5,6; -0,6; 4,8; 9,0 et 12,9 dB pour les réglages stéréo 1 à 5, respectivement. Quoique des données comparatives du fabricant ne soient pas disponibles, la fiche technique indique que l'appareil amplifie jusqu'à 18 dB. Cette valeur s'apparente à la différence de gain mesuré entre les réglages 1 et 5 du gain (18,5 dB).

6.3.3 Revue d'études récentes sur les protecteurs auditifs actifs

Relativement peu d'études indépendantes ont été menées sur le terrain et en laboratoire pour évaluer les avantages et limites en matière de tâches auditives et de performance opérationnelle des protecteurs actifs comparativement aux protecteurs passifs ou à une condition d'écoute non protégée (oreille non occluse). Les paragraphes suivants font état de quelques études récentes qui portent sur la détection sonore, la localisation sonore et la perception de la parole.

6.3.3.1 Détection sonore

Comme attendu, la détection sonore dans le silence est généralement supérieure avec des protecteurs auditifs à rétablissement du son qu'avec des protecteurs passifs conventionnels, en raison de leur plus faible atténuation à de faibles niveaux d'entrée. Lorsque des protecteurs actifs sont utilisés à des réglages de gain élevés, une amélioration des seuils auditifs peut même être notée comparativement à une condition d'oreille non occluse chez des individus ayant une perte auditive, cet avantage étant cependant quelque peu limité par le bourdonnement audible généré par les composantes électroniques de l'appareil chez les auditeurs normaux (Abel & Giguère, 1997). Comparativement au bénéfice potentiel d'une atténuation variable sur les seuils auditifs, un protecteur auditif à réduction active du bruit, sans rétablissement du son, peut avoir comme conséquence d'augmenter les seuils de détection dans le silence comparativement au même appareil utilisé en mode passif (Nakashima, 2007; Abel & Spencer, 1997).

Casali et coll. (2009) ont démontré que, du moins pour un bouchon actif avec système de communication intégré caractérisé par un gain de 36 dB en mode communication de vive voix, la distance de détection pouvait être améliorée de 80 % comparativement à la condition d'écoute non protégée, ce qui démontre les avantages potentiels, dans le silence, des systèmes de protection par rétablissement du son en milieu opérationnel. Dans une autre étude examinant plusieurs protecteurs passifs et actifs, Alali & Casali (2012) ont démontré que la distance de détection pouvait être diminuée lors de l'utilisation de protecteurs passifs conventionnels, comparativement à une condition d'écoute non protégée, alors qu'elle demeurerait relativement inchangée avec des protecteurs à rétablissement du son, du moins pour un niveau de bruit relativement faible (52 dBA).

Bien que l'avantage des protecteurs à rétablissement du son soit notable dans le silence et pour de faibles niveaux de bruit, des études n'ont démontré aucun avantage d'une coquille à rétablissement du son, comparativement à un protecteur passif, dans la détection d'une alarme de recul par des auditeurs normaux dans des bruits variant entre 75 et 95 dBA (Abel et coll., 1991, 1993; Casali & Wright, 1995).

Des résultats semblables ont été rapportés par Giguère et coll. (2012a) lors d'une évaluation multidimensionnelle de la performance d'une coquille à rétablissement du son. Les seuils de détection de deux types d'alarmes de recul (alarme à son pur et alarme à large bande) ont été mesurés à divers angles d'incidence, dans le silence et dans une usine émettant des bruits de 86 dBA. Dans le silence, les seuils de détection étaient significativement plus élevés (plus pauvres) pour l'appareil en mode OFF comparativement à la condition sans protection, un résultat attendu en raison de l'atténuation passive offerte par l'appareil. En mode communication de vive voix, offrant environ 2 dB de gain aux sons faibles, les seuils de détection étaient similaires à ceux de la condition sans protection, démontrant l'avantage de l'amplification à bas niveaux sonores. Par contre, dans le bruit, les seuils étaient similaires dans toutes les conditions d'écoute (sans protection, en mode OFF et en mode communication de vive voix). L'angle d'incidence de l'alarme semblait, quant à lui, avoir un effet sur les seuils de détection, avec une légère tendance pour des seuils plus faibles (meilleurs) aux angles de côté (45-135°), sauf pour l'alarme à large bande qui démontrait un meilleur seuil à 0° dans le mode communication de vive voix. Des données récentes obtenues dans un laboratoire de l'université du Connecticut avec une coquille à rétablissement du son indiquent également que la direction du signal relative à celle de l'utilisateur peut affecter la détection d'une alarme dans le bruit (Giguère et coll., 2011a). Dans certaines situations, une détection quasi parfaite de l'alarme pouvait être réalisée pour une incidence frontale alors qu'une performance attribuable à la chance était obtenue pour des signaux présentés directement à l'arrière dans le même bruit diffus. Un tel résultat pourrait être lié aux caractéristiques directionnelles ou à la position des microphones externes sur les oreillettes. Cette non-détection pourrait présenter un risque important pour la sécurité puisque ces alarmes situées à l'arrière sont hors du champ visuel du travailleur ou sont plus difficilement couplées de façon efficace avec un signal visuel.

Les données de Casali et coll. (2004) portant sur la détection sonore indiquent que les protecteurs auditifs tels que les dispositifs à réduction active du bruit, dont l'atténuation en basses fréquences est plus importante que celle des modèles passifs, pourraient être avantageux comparativement aux protecteurs auditifs conventionnels chez des auditeurs normaux dans certaines situations de bruit intense riche en basses fréquences. Un tel avantage semble lié à une réduction du phénomène de débordement de masque vers la plage fréquentielle du signal d'intérêt (Casali et coll., 2004; Brammer et coll., 2008).

En résumé, il semble que les protecteurs auditifs à rétablissement du son peuvent être avantageux comparativement aux protecteurs passifs pour la détection sonore et la distance de détection dans le silence et dans de faibles niveaux de bruit. Cela ne semble toutefois pas être le cas pour des niveaux élevés de bruit (supérieurs à environ 80 dBA) ou avec protecteurs auditifs passifs à réduction active du bruit qui fournissent une atténuation accrue. Dans des conditions de niveaux élevés de bruit, les protecteurs actifs à rétablissement du son génèrent typiquement des seuils de détection similaires à ceux mesurés sans protection ou avec des protecteurs passifs.

6.3.3.2 Localisation sonore

Les résultats d'études portant sur les avantages des protecteurs auditifs actifs pour la localisation sonore dans le silence diffèrent de façon importante. Abel et coll. (2007) ont constaté que deux protecteurs actifs à rétablissement du son avec système de communication intégré (un de type

coquille et l'autre de type bouchon) étaient moins nuisibles que des protecteurs passifs conventionnels dans une tâche d'identification dans le plan horizontal d'un stimulus à large bande présenté par l'entremise de huit haut-parleurs. La réduction de performance comparativement à la condition non protégée était largement due à des erreurs d'inversion avant/arrière. Dans une étude de suivi où l'on observait l'interaction entre le bouchon actif et diverses configurations d'un casque militaire (Abel et coll., 2009), la dégradation de la localisation sonore comparativement à la condition non protégée était relativement plus faible, particulièrement lors du port du casque. Cette dégradation était liée à de fines confusions avant/arrière entre des sources situées près de l'axe interaural qui sont moins susceptibles d'avoir un impact sur la performance opérationnelle. Cependant, dans l'étude de Brungart et coll. (2007), la performance des protecteurs actifs à rétablissement du son lors d'une tâche de localisation 3D pour des stimuli à large bande était inférieure à celle obtenue avec des protecteurs auditifs conventionnels et s'est avérée nettement plus faible que dans la condition non protégée. Les auteurs ont cependant noté que ces résultats étaient nettement inférieurs à ceux obtenus préalablement dans leur laboratoire avec un ensemble différent de protecteurs auditifs à rétablissement du son.

Dans une tâche de localisation sonore en présence d'un bruit de circulation, Carmichel et coll. (2007) ont évalué trois coquilles à rétablissement du son différentes. Les résultats indiquent que ces appareils ne préservent pas les capacités de localisation sonore dans la plupart des conditions et qu'un temps de réaction plus long était nécessaire pour des stimuli familiers à large bande, comparativement à une condition d'écoute non protégée. Alali & Casali (2011) ont, pour leur part, étudié la localisation d'alarmes de recul en présence d'un bruit rose avec une gamme de sept protecteurs actifs et passifs (coquilles et bouchons). En général, une coquille dichotique à rétablissement du son n'a démontré aucun avantage sur sa contrepartie passive et a donné des résultats légèrement plus faibles que certains bouchons passifs en présence de niveaux élevés de bruit. Cette différence était attribuable à un nombre plus élevé d'erreurs avant/arrière. Dans l'ensemble, les résultats n'ont pas démontré une supériorité des nouvelles technologies de protection auditive par rapport aux protecteurs conventionnels passifs. Cependant, dans une étude supplémentaire utilisant la même méthodologie, Casali & Alali (2010) ont démontré que, comparativement à la performance dans une condition non protégée, celle mesurée avec un bouchon à rétablissement du son n'était pas notablement réduite.

Dans une étude récente, Giguère et coll. (2012a) ont étudié l'effet des mouvements de la tête sur l'identification de la provenance de deux alarmes de recul (tonale et large bande) dans le plan horizontal gauche/droite et avant/arrière, en présence d'un bruit de 80 dBA, chez des auditeurs normaux utilisant un protecteur auditif à rétablissement du son. Des données ont été recueillies avec et sans mouvements de la tête pour trois conditions des protecteurs à rétablissement du son, soit en mode OFF (atténuation passive seulement), à un réglage communication de vive voix offrant un faible gain (environ -6 dB) et à un réglage communication de vive voix offrant un gain plus élevé (environ 9 dB). Les résultats ont démontré que les mouvements de la tête aident particulièrement à résoudre les confusions avant/arrière. Les performances étaient légèrement supérieures dans la condition non protégée alors qu'aucune différence statistiquement significative n'a été démontrée entre les trois conditions d'utilisation des protecteurs, ce qui indique que la coquille à rétablissement du son n'a ni amélioré, ni dégradé la localisation sonore comparativement à l'atténuation passive.

6.3.3.3 Perception de la parole

Dolan & O'Loughlin (2005) ont étudié l'effet d'un protecteur passif et de trois protecteurs à rétablissement du son sur la reconnaissance de phrases chez des auditeurs ayant une perte auditive neurosensorielle. Les seuils de reconnaissance de la parole dans un bruit industriel de 85 dBA (bruit et parole à incidence frontale) n'étaient ni améliorés ni dégradés par le protecteur passif ou par les protecteurs actifs réglés au gain préféré de l'utilisateur, comparativement à la condition sans protection, malgré d'importantes différences de gain entre les divers protecteurs auditifs.

L'impact des protecteurs auditifs, tant passifs qu'actifs, dépend des conditions expérimentales investiguées. L'étude de Giguère et coll. (2011b) appuie ce constat. Des pourcentages de reconnaissance de mots ont été obtenus chez des auditeurs normaux et avec perte auditive pour de la parole présentée à incidence frontale dans deux bruits générés par des activités militaires et présentés dans un champ diffus à 80-95 dBA. La figure 7 présente la différence entre les pourcentages obtenus avec et sans coquille à rétablissement du son ajustée à trois différents réglages de gain (mode OFF, à faible gain et à gain élevé), chez quatre groupes de participants présentant un profil auditif différent. Une différence positive indique un avantage par rapport à la condition sans protection. Lors du port du protecteur en mode OFF, on note que la reconnaissance de mots demeure relativement non altérée chez les auditeurs normaux, malgré une atténuation passive d'environ 30 dB, alors qu'elle est négativement affectée chez les participants qui ont une perte auditive, d'une ampleur qui dépend du degré de la perte. Cette observation est en accord avec les études précédentes sur l'impact de la protection passive. Lorsque l'appareil est réglé au mode communication de vive voix offrant un faible gain (environ -4 dB), un avantage significatif est noté comparativement au mode OFF, avec une amélioration d'environ 25-60 % sur l'ensemble des groupes de participants. En mode communication de vive voix à gain plus élevé (environ 10 dB), tous les groupes de participants ont montré une amélioration de l'ordre de 20-30 % par rapport à la condition sans protection, un résultat qui s'avère très encourageant.

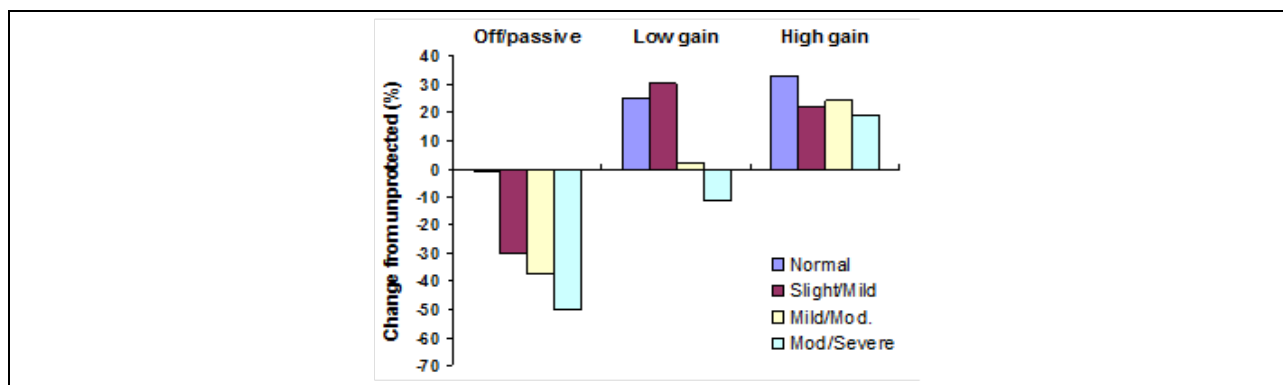


Figure 7 – Différence dans le pourcentage de reconnaissance de mots avec une coquille à rétablissement du son dans trois modes d'utilisation (OFF = atténuation passive, Low gain = faible gain $\approx$ -4 dB, High gain : gain élevé $\approx$ 10 dB) comparativement à une condition sans protection, chez quatre groupes de participants

(Tirée de Giguère et coll., 2011a)

Des données recueillies à l'université du Connecticut auprès d'auditeurs normaux dans un champ diffus de bruit rose passe-bas démontrent l'effet de la position du locuteur lors de l'utilisation de deux coquilles à rétablissement du son (figure 8) (Giguère et coll., 2011a). On note un avantage de 10-15 % dans le taux de reconnaissance de mots comparativement à l'atténuation passive lorsque la parole est présentée en incidence frontale, alors que l'inverse se produit lorsque la parole vient de l'arrière. Encore une fois, un tel résultat pourrait être lié aux caractéristiques directionnelles ou à la position des microphones externes sur les oreillettes.

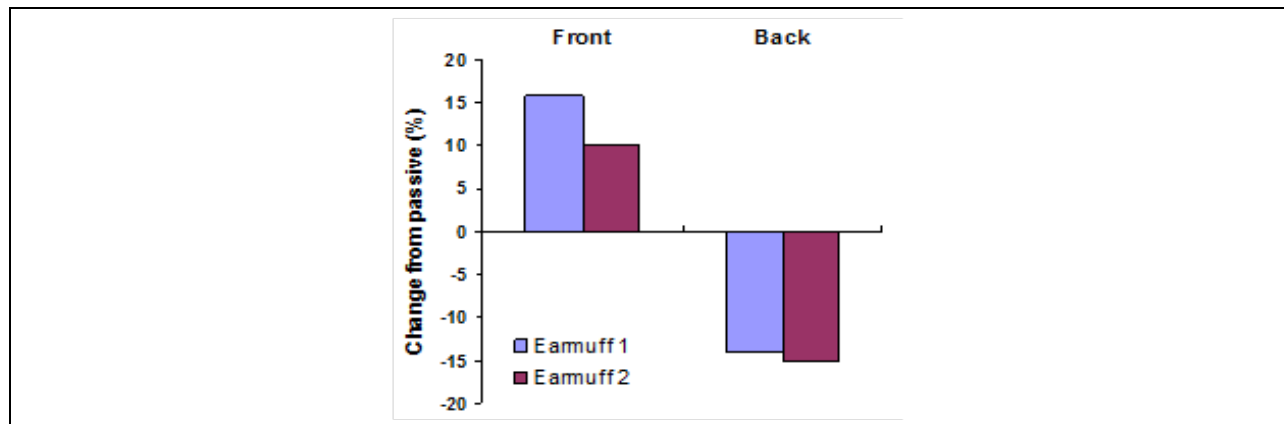


Figure 8 – Différence dans le pourcentage de reconnaissance de mots avec deux coquilles à rétablissement du son comparativement à une condition d'atténuation passive pour une parole à incidence frontale («front») ou provenant de l'arrière («back»)

(Tirée de Giguère et coll., 2011a)

Dans les études citées ci-haut, la communication à distance n'était pas considérée et tous les signaux (parole et bruit de fond) du milieu environnant atteignaient la position de l'auditeur par transmission acoustique. Par conséquent, le signal et le bruit étaient soumis aux mêmes effets d'atténuation des protecteurs auditifs, qu'ils soient passifs ou actifs. Le microphone intégré dans les dispositifs à réduction active du bruit (ANR) ou à rétablissement du son peut, par contre, être alimenté par un signal supplémentaire provenant d'une radio bidirectionnelle, d'un appareil Bluetooth ou par d'autres moyens de transmission électrique ou électromagnétique afin de permettre une communication verbale à distance. Dans ce cas, le signal de parole est transmis directement par le canal de communication du dispositif, sans être soumis aux caractéristiques d'atténuation de ce dernier, alors que le bruit de fond externe subit une atténuation passive, ANR, ou variable. Un des principaux objectifs de recherche dans ce domaine consiste à déterminer l'avantage potentiel des circuits de réduction du bruit (ANR) et la sélection optimale du réglage de volume sur les casques de communication afin d'atteindre une reconnaissance de la parole et une clarté supérieures, tout en limitant le niveau d'exposition sonore chez l'utilisateur. Par exemple, dans une simulation de vol, Casali et coll. (2007) ont étudié la reconnaissance de la parole et la performance opérationnelle lors du port de trois casques de communication avec ANR et d'un dispositif passif, alors que la parole était transmise par le canal de communication de l'appareil. Dans des conditions adverses, une reconnaissance supérieure (moins de répétitions des commandes) a été notée avec les trois casques actifs en comparaison avec le dispositif passif et, dans trois des quatre mesures de performance en vol, un

dispositif actif a donné de meilleurs résultats que les autres. De plus, la charge de travail mentale a été jugée par les pilotes comme étant plus faible avec les casques actifs qu'avec le dispositif passif.

Enfin, certaines études ont démontré que le circuit ANR d'un casque de communication pouvait effectivement réduire les niveaux d'exposition sonore de l'oreille d'environ 10 dB (5 à 14 dB selon les études et les bruits) (Rogers, 1997; Simpson & King, 1997; McKinley, 2000; James, 2005).

6.3.3.4 Appréciation subjective des utilisateurs

On peut supposer qu'en améliorant les communications et la conscience de l'environnement sonore, les protecteurs auditifs actifs seraient préférés aux protecteurs passifs par les utilisateurs. Cependant, la convivialité et le confort doivent être pris en considération lors de l'évaluation de leur degré d'appréciation; les études montrent des résultats contradictoires quant à ces deux aspects déterminants qui peuvent fortement influencer les comportements d'utilisation de tout protecteur auditif ou casque de communication.

Ong et coll. (2004) ont comparé deux protecteurs actifs (un à rétablissement du son et l'autre de type ANR) à des protecteurs passifs chez des militaires du service naval. Comparativement aux protecteurs passifs, les deux dispositifs actifs ont été jugés plus confortables, plus durables et plus efficaces à réduire l'exposition sonore en milieu de travail, tout en permettant une meilleure productivité et de meilleures communications entre collègues. L'étude comporte cependant une limite importante puisque les dispositifs ont été portés pendant seulement une heure.

Dans l'étude de Tufts et coll. (2011), des travailleurs d'une usine de fabrication de film plastique ont comparé le protecteur passif typiquement utilisé dans l'usine à deux protecteurs à rétablissement du son (un avec et l'autre sans communication radio intégrée), pendant des périodes d'essai de dix jours. Comparativement aux protecteurs passifs, les protecteurs actifs ont été jugés plus favorablement en matière de communication et de conscience de l'environnement sonore, mais moins favorablement lorsqu'il s'agissait d'évaluer la convivialité et le confort. Par ailleurs, le protecteur actif sans communication radio intégrée était préféré à celui muni d'une telle fonction, principalement en raison de problèmes pratiques liés à la communication radio.

Enfin, Williams (2011) a observé une plus grande appréciation subjective de la part d'instructeurs de tir expérimentés à l'égard de trois modèles de protecteurs à rétablissement du son (incluant un dispositif à amplification ajustable indépendant pour chaque oreille et un avec une connectivité Bluetooth), comparativement à des protecteurs passifs, après une période d'essai de trois mois. En général, les instructeurs ont rapporté que les protecteurs actifs permettaient une meilleure conversation face à -à-face sans interférer avec les pratiques de tir, étaient confortables à utiliser sur des périodes de temps normales (1,5 à 3,5 heures par jour), étaient faciles à ajuster, à porter et à utiliser, et qu'ils éliminaient le bruit indésirable tout en préservant la conscience de l'environnement sonore. Cependant, les instructeurs ont perçu que les protecteurs actifs pourraient s'avérer une nuisance et devenir inconfortables lorsqu'ils étaient utilisés toute la journée.

Il est donc clair que, même dans le cas des protecteurs actifs, les problèmes pratiques liés à l'utilisation dans le milieu de travail doivent être pris en considération, afin de pouvoir améliorer l'appréciation, l'acceptation et la satisfaction des utilisateurs.

6.3.4 Caractéristiques et limites des protecteurs auditifs

Les protecteurs actifs offrent une atténuation passive ou variable. L'atténuation passive est habituellement bien documentée à l'aide de l'IRB (ou NRR) ou d'autres statistiques. Une consultation des sites internet de divers manufacturiers de protecteurs auditifs à rétablissement du son a révélé une multitude de produits, de type coquilles et bouchons, pour lesquels une information détaillée et complète des caractéristiques n'est pas toujours disponible. Cette consultation a permis de constater le peu d'informations accessibles aux utilisateurs pour faire un choix éclairé.

Les protecteurs à rétablissement du son offrent souvent un gain jusqu'à environ 12-18 dB (selon le modèle) dans des conditions relativement silencieuses, et leur sortie maximale est ajustée de façon à garder les niveaux d'exposition sonore à l'oreille en deçà de 82-85 dBA. Ces protecteurs offrent un éventail d'options visant des communications améliorées, tant face à face (mode communication de vive voix) qu'à distance (connectivité avec une radio bidirectionnelle, avec un appareil Bluetooth, avec un cellulaire ou avec d'autres sources audio externes, en plus d'autres possibilités de transmission électrique ou électromagnétique). Certains modèles incluent également un circuit ANR pour une atténuation additionnelle des basses fréquences. Un contrôle de volume est typiquement retrouvé sur les produits actifs à rétablissement du son, quoique peu d'entre eux disposent d'un ajustement du gain par bandes de fréquences ou d'un ajustement indépendant du gain entre les deux oreilles.

Bien que l'utilisation de protecteurs actifs en milieu de travail bruyant puisse sembler une option prometteuse pour les travailleurs atteints d'une perte auditive, on peut soulever plusieurs lacunes dans les produits disponibles et les pratiques courantes qui limitent leur potentiel. La perte auditive des travailleurs n'est habituellement pas uniforme sur l'ensemble des fréquences audiométriques. Cependant, la plupart des produits disponibles ont une courbe de gain fixe ou relativement plate en fréquence. Malgré que quelques produits offrent la possibilité d'un ajustement du gain en fonction de la fréquence, la flexibilité dans l'ajustement demeure limitée et ne permet pas un jumelage fidèle à la perte de l'individu à l'audiogramme, comparativement à ce qui est possible d'obtenir dans le domaine des prothèses auditives. Toujours en lien avec la perte auditive, certains travailleurs ont une perte unilatérale (à une seule oreille) ou asymétrique (différente aux deux oreilles). Malgré cette réalité, très peu de produits permettent un ajustement indépendant du gain aux deux oreilles, comparativement aux prothèses auditives qui offrent cette possibilité.

Il semble alors souhaitable que certaines options disponibles dans les prothèses auditives fassent également partie intégrante des protecteurs auditifs actifs, incluant, entre autres, les microphones directionnels. Les options de microphones disponibles avec les protecteurs auditifs actifs demeurent limitées, et seuls quelques produits intègrent des microphones affichant certaines caractéristiques directionnelles.

Au regard des protecteurs actifs, les options de programmation par l'utilisateur ou une autre ressource du milieu de travail sont très limitées (voire pratiquement nulles), et il n'existe aucune plate-forme de programmation commune à tous les fabricants. Pourtant, une telle plate-forme de programmation serait utile afin de personnaliser le produit de protection auditive en fonction des besoins spécifiques et individuels du travailleur.

Enfin, l'industrie des protecteurs auditifs ne s'appuie pas sur des normes aussi élaborées que celles qui régissent les spécifications techniques des prothèses auditives comme ANSI/ASA S3.22-2009. Ainsi, les fabricants ne sont pas tenus de rapporter toutes les caractéristiques de leurs protecteurs auditifs. Par exemple, les caractéristiques de gain ne sont pas toujours indiquées et certains fabricants spécifient le temps de relâche en millisecondes, alors que d'autres le décrivent de façon qualitative (extra lent/lent/normal) ou ne le dévoilent simplement pas. Certains précisent le temps d'attaque, mais pas le temps de relâche. Devant tous ces constats, il serait utile qu'une norme similaire à la norme ANSI/ASA S3.22-2009 pour les prothèses auditives régisse l'industrie des protecteurs auditifs électroniques. Cela faciliterait largement la sélection de produits adaptés aux besoins des travailleurs, selon une approche personnalisée.

6.4 Discussion

Parmi les options disponibles aux travailleurs qui présentent une perte auditive, celle des protecteurs auditifs actifs, et tout particulièrement les systèmes à rétablissement du son, semble prometteuse afin d'assurer une protection adéquate tout en améliorant ou en préservant la conscience de l'environnement sonore et les capacités de communication verbale. À notre connaissance, il n'existe toujours pas de dispositif suffisamment bien conçu pour restaurer de manière fiable la conscience de l'environnement sonore à un niveau obtenu sans protection auditive, dans toutes les situations d'écoute, malgré qu'on note des avancées technologiques remarquables à certains égards. Par ailleurs, les protecteurs auditifs actifs ont souvent été étudiés dans des situations d'écoute ou dans des domaines de travail très spécifiques, ce qui rend les résultats de recherche difficilement généralisables.

Pour fins d'utilisation chez des travailleurs qui ont une perte auditive, les protecteurs auditifs actifs ne permettent pas un ajustement aussi flexible et personnalisé comme c'est le cas avec des prothèses auditives. En particulier, les options d'ajustement demeurent limitées (très peu de produits offrent un ajustement indépendant du gain aux deux oreilles, un ajustement du gain spécifique en fréquence ou la possibilité de microphones directionnels), il n'existe aucune plate-forme de programmation commune à tous les fabricants et les spécifications techniques ne sont que très rarement dévoilées.

L'impression subjective des utilisateurs à l'égard des protecteurs auditifs à rétablissement du son est généralement favorable comparativement aux protecteurs passifs (Casali et coll., 2007, Williams 2011, Tufts et coll., 2011), quoique certains problèmes pratiques liés à leur utilisation dans le milieu de travail doivent être pris en considération afin de pouvoir améliorer l'appréciation, l'acceptation et la satisfaction des utilisateurs qui doivent les porter. Ainsi, certains obstacles à l'utilisation des protecteurs actifs demeurent, par exemple, le confort et la compatibilité avec d'autres équipements de protection personnelle. On peut aussi se questionner sur la présence d'obstacles additionnels tels que le coût associé à ces systèmes, leur résistance au

choc, leur fiabilité dans le temps à la suite d'une utilisation quotidienne et leur convivialité (p. ex. : système rechargeable ou à piles).

Il ne faut également pas oublier que les systèmes à rétablissement du son se distinguent des protecteurs passifs uniquement dans des conditions de bruit ambiant qui ne dépasse pas un certain niveau de pression sonore, sinon la protection passive domine et les avantages des systèmes actifs s'estompent. Dans des environnements de travail où le bruit ambiant dépasse continuellement ce niveau limite, de tels systèmes offrent donc peu d'avantages comparativement aux protecteurs passifs.

Compte tenu de l'arrivée relativement récente de ces produits sur le marché et leur multiplication au cours des ans, on peut se questionner sur plusieurs applications pratiques. Par exemple, dans les systèmes de rétablissement du son qui intègrent des fonctions de communication à distance, est-ce que le signal qui vient de l'environnement (mode de communication de vive voix) a préséance sur le signal transmis par la radio?

Un obstacle important pour le développement futur et l'utilisation en milieu de travail des protecteurs auditifs actifs réside dans le peu de données électroacoustiques techniques fournies par les fabricants, ce qui contraste avec ce que l'on note chez les manufacturiers de prothèses auditives. Un certain progrès est attendu depuis la promulgation de la norme ANSI/ASA S12.42-2010. Toutefois, cette nouvelle norme vise uniquement les performances d'atténuation des protecteurs. Certains paramètres importants pour la conscience de l'environnement sonore, tels que les caractéristiques directionnelles des microphones, le gain par fréquence, les paramètres de compression, le bruit interne et la distorsion harmonique présente en mode communication de vive voix et en mode de communication radio bidirectionnelle n'y sont pas abordés. Il demeure alors difficile, et parfois même impossible d'associer certains résultats de recherche à des paramètres techniques spécifiques pour un modèle de protecteur donné. La connaissance de ces paramètres est cruciale pour développer des outils permettant de guider la sélection d'un protecteur auditif actif qui soit le mieux adapté à des situations spécifiques.

7. SYNTHÈSE RELATIVE À L'ENSEMBLE DES VOLETS

L'objectif général de cette étude était de déterminer si le port des prothèses auditives peut réduire les problèmes d'écoute, de communication et de localisation en milieu de travail bruyant, et ce, sans risque d'aggraver la surdité ni de compromettre la sécurité des travailleurs. Cette étude cherchait aussi à établir si d'autres technologies peuvent contribuer à maintenir ou à améliorer les performances auditives au travail en toute sécurité. Quatre volets distincts ont été réalisés pour atteindre ces objectifs. Le tableau 8 présente une synthèse des constats dressés, des besoins et des commentaires recueillis pour chacun des volets. Dans un souci d'établir un lien clair entre ces données et les recommandations formulées par l'équipe de recherche, le tableau 8 intègre ces dernières alors qu'elles sont formellement présentées dans la section suivante.

La synthèse permet de décrire le portrait contextuel suivant : Au Québec, des travailleurs malentendants actifs en milieu de travail bruyant se demandent s'ils peuvent utiliser leurs prothèses auditives au travail. La mise au point de logiciels de traitement du signal rend possible le port de prothèses numériques sous des coquilles de protection. Certains travailleurs ont opté pour cette pratique sans recevoir d'information quant à sa sécurité ou en recevant des avis discordants devant lesquels ils se sentent démunis. Ces travailleurs cherchent des moyens pour améliorer leurs capacités auditives à détecter des signaux, des alarmes, des avertisseurs, à comprendre les consignes verbales requises pour le bon déroulement de leurs tâches; ils souhaitent demeurer en contact avec leur environnement physique et social. Déjà plus ou moins aptes à détecter les sons en raison d'une perte auditive, les travailleurs malentendants se trouvent encore plus désavantagés sur ce plan quand ils portent la protection auditive obligatoire pour tous les travailleurs exposés à des niveaux de bruit élevés. Ils sont d'ailleurs plus à risque d'accidents que leurs pairs en raison de leurs incapacités auditives.

Le port de prothèses auditives en milieu professionnel bruyant soulève des inquiétudes chez les professionnels en santé auditive et en santé et en sécurité du travail, autant sur le plan de la préservation de l'audition que sur celui de la sécurité physique de l'ensemble des travailleurs (volet 1). Si la tendance générale a longtemps été de décourager le port des prothèses auditives en milieu professionnel bruyant afin de préserver l'audition résiduelle des travailleurs malentendants, aucune preuve scientifique ne soutient ni n'écarte actuellement cette crainte (volet 2). On ne dispose pas non plus d'outils techniques pour mesurer les niveaux d'exposition et le risque théorique de suramplification lors du port de prothèses auditives en milieu professionnel bruyant (volet 2). De même, aucune donnée scientifique ne permet d'établir la contribution des prothèses auditives à répondre aux besoins particuliers des travailleurs malentendants exposés au bruit (volet 3). Néanmoins, le port du protecteur auditif actif semble une avenue à explorer pour tenter de répondre à ces besoins dans certains milieux professionnels (volet 4).

Cette réalité, conjuguée à une quasi-absence de données scientifiques applicables et à une organisation de services qui ne favorise ni le partage de l'information, ni l'établissement d'une vision commune de l'intégration socioprofessionnelle des travailleurs malentendants, explique, en partie du moins, l'impasse devant laquelle se retrouvent ces professionnels. La problématique est complexe, les enjeux de santé et de sécurité sont réels. Les professionnels souhaitent être guidés par des lignes directrices claires basées sur des données probantes. Dans l'attente de

données probantes issues de la recherche, des lignes directrices intérimaires sont vivement attendues par les professionnels.

Tableau 8 – Synthèse des constats dressés, des besoins et commentaires exprimés et des recommandations élaborées

Volet	Constats, besoins, commentaires	Recommandations
Volet 1 Fréquence, Pratiques et outils, Besoins	• Fréquence indéterminée, mais indices d'une réalité non marginale au Québec. • Tendance à décourager le port des prothèses auditives en milieu très bruyant par crainte d'une aggravation de la perte auditive, mais conscience des besoins et des efforts supplémentaires d'attention et de concentration requis pour ces travailleurs. • Inquiétude quant à la sécurité physique des travailleurs malentendants et de leurs collègues. • Manque d'outils, de lignes directrices claires et de mécanismes de consultation et de collaboration. • Manque de constance de la part des professionnels concernés et d'une vision commune de la surdité et de ses exigences en termes d'intégration socioprofessionnelle des travailleurs malentendants actifs sur le marché du travail.	1. Établissement d'un consensus, sous forme de lignes directrices intérimaires, par les professionnels en santé auditive et les travailleurs concernés par cette problématique. Elles porteraient sur l'ensemble des facteurs à prendre en compte et les moyens à mettre en œuvre pour offrir le meilleur soutien aux travailleurs malentendants en milieu de travail bruyant.
	• Besoin des professionnels de la santé de mieux documenter les exigences auditives reliées aux tâches à accomplir par le travailleur malentendant. Être en mesure de faire l'inventaire de l'ensemble des facteurs présents dans l'environnement de travail qui interagissent avec l'appareillage, incluant la dimension sociale et l'obligation de recourir à la protection auditive. • Besoin des travailleurs de demeurer conscients de leur environnement sonore, de communiquer, de détecter des indicateurs sonores pour effectuer leurs tâches, de connaître les dispositifs permettant de rétablir la communication en toute sécurité, d'être conscients des dangers de ne pas entendre. • Importance que le travailleur dispose de toutes les informations afin de lui permettre de faire des choix éclairés.	
	• En fonction du parcours emprunté [CSST, Régie de l'assurance maladie du Québec (RAMQ)], Réseau de santé publique, consultation privée en audioprothèse, etc., les travailleurs malentendants exposés au bruit ne reçoivent pas tous les mêmes recommandations quant au port des prothèses auditives en milieu de travail, ni le même suivi. • Utilisation d'outils de mesure habituellement disponibles en cabinet au moment de l'appareillage : mesures d'insertion, ajustement du niveau de sortie maximale, programmation d'un ajustement pour utilisation en milieu bruyant. Ces protocoles ne sont pas adaptés pour le milieu de travail (niveaux de bruit ambiant, types de signaux, etc.) (voir recommandation n° 2). • Besoin de développer de nouveaux algorithmes permettant aux prothèses auditives d'assurer la détection des signaux, le maintien des capacités de communication sans menacer l'audition résiduelle (voir recommandations n°s 2,3).	

Volet	Constats, besoins, commentaires	Recommandations
Volet 2 Risques de sur-amplification	• Pas de données suffisantes ni de méthodes de mesure valides et fiables pour déterminer s'il y a un risque d'aggravation de la perte auditive relié au port des prothèses auditives en milieu de travail.	2. Réalisation d'une recherche visant le développement d'une méthode de mesure de l'exposition au bruit, qui soit valide et facilement applicable par les professionnels, en situation de port de prothèses auditives en milieu de travail.
Volet 3 Effet de l'amplification sur la perception de la parole et sur la localisation auditive	• Impossibilité de statuer sur la contribution de l'amplification en milieu de travail bruyant autant pour l'exécution des tâches que pour assurer la sécurité des travailleurs malentendants. Les données ne permettent pas non plus d'affirmer que le recours aux prothèses auditives représente un risque pour la sécurité de ces travailleurs. • Les résultats disponibles avec les prothèses auditives sur le marché sont difficilement généralisables à la population visée en raison des nombreux paramètres à prendre en compte. • Manque d'outils de recherche permettant de réaliser des études sur les habiletés auditives où tous les paramètres de la prothèse auditive sont bien contrôlés, y compris l'impact de l'amplification électronique et l'étanchéité de l'embout sur le niveau d'exposition.	3. Mise au point d'un prototype numérique intra-auriculaire combinant les fonctions de prothèse et de protecteur permettant en outre la mesure directe du niveau d'exposition ou de la dose de bruit.
Volet 4 Nouvelles technologies	• Le recours à des protecteurs auditifs actifs pourrait être envisagé dans des milieux moins bruyants. • Aucune méthode valide d'évaluation des risques de suramplification reliés à l'utilisation de ces protecteurs actifs n'a encore été recensée. • On ne connaît pas la contribution de ces protecteurs à restaurer de façon efficace la communication en contexte bruyant. • Manque de flexibilité dans l'ajustement de ces dispositifs déploré. • Connaître l'éventail des produits et leurs adaptations possibles en milieu de travail, ainsi que leur efficacité à soutenir la communication (voir recommandation n°4).	4. Mesure des caractéristiques électroacoustiques des protecteurs actifs à rétablissement du son à partir des produits disponibles sur le marché nord-américain et préparation d'un répertoire destiné aux professionnels.

8. RECOMMANDATIONS

L'établissement d'un consensus au sein des professionnels en santé auditive et des travailleurs concernés sous forme de lignes directrices intérimaires portant sur l'ensemble des facteurs à prendre en compte et les moyens à mettre en œuvre pour assurer un meilleur soutien aux travailleurs malentendants en milieu de travail bruyant apparaît être le premier jalon à poser pour favoriser le travail interdisciplinaire entre ces personnes. Bien que des connaissances techniques et des méthodes de mesure fassent toujours l'objet de projets de recherche, une première mise en commun, à partir des perceptions et des expériences actuelles, des enjeux de l'appareillage auditif en milieu de travail bruyant, pourrait jeter les bases du partage d'un objectif commun. Cette démarche consensuelle vise le respect de l'expertise de chacun. Elle pourrait éventuellement mener à une définition des rôles et des responsabilités de chacun favorisant ainsi l'élaboration d'une solution intégrée qui convient au travailleur.

L'élaboration d'un tel consensus contribuerait à une reconnaissance et une systématisation des informations à recueillir, par exemple les niveaux d'exposition au bruit, les besoins de communication, les exigences auditives nécessaires à l'accomplissement des tâches, le besoin de sécurité, le degré de perte auditive, les ajustements des prothèses auditives. Vu qu'aucun des professionnels de la santé ne dispose de toutes ces informations, il devra compter sur une collaboration interdisciplinaire et y participer. L'ouverture aux autres expertises encourage la recherche des solutions les mieux adaptées à la situation : la réduction du bruit à la source devrait toujours être priorisée, l'adaptation du poste de travail incluant le recours à d'autres modalités sensorielles (vibratoire, visuelle), la modification des tâches de travail ou des exigences d'écoute, de communication et de localisation, devraient notamment être examinées tout comme le recours à des stratégies complémentaires à l'amplification ou qui visent à la remplacer.

Les lignes directrices intérimaires devraient être connues et reconnues par les différents organismes qui influencent l'organisation des milieux de travail et l'offre de services de santé aux travailleurs (CNESST, RAMQ). Elles devraient être largement diffusées dans les milieux de formation professionnelle, les associations paritaires et sectorielles ainsi que les ordres professionnels et révisées régulièrement en fonction des données scientifiques reliées à la technologie et aux modes d'intervention, recueillies grâce à une veille technologique constante assurée par des regroupements professionnels dédiés. Éventuellement, avec l'apport de la recherche, ces lignes directrices pourraient évoluer vers un guide de bonne pratique.

Par ailleurs, la réalisation d'au moins trois projets s'avère nécessaire. Un premier projet de recherche viserait à développer une méthode de mesure de l'exposition au bruit, qui soit valide et facilement applicable par les professionnels, en situation de port de prothèses auditives en milieu de travail. Un deuxième projet de recherche aurait pour objet la mise au point d'un prototype numérique intra-auriculaire combinant les fonctions de prothèse et de protecteur permettant l'acquisition de connaissances sur l'impact de l'amplification en milieu de travail bruyant. Puis, un troisième projet consisterait à mesurer sur mannequin acoustique ou sur des humains les caractéristiques électroacoustiques des protecteurs actifs à rétablissement du son et produire un répertoire des produits disponibles sur le marché nord-américain. Destiné aux professionnels, ce répertoire comblerait un manque quant à la disponibilité des caractéristiques techniques des protecteurs fournies par les manufacturiers.

Aux termes de cette étude, l'équipe de chercheurs est d'avis que le principe de précaution doit s'appliquer et recommande de ne considérer le port de prothèses auditives qu'en dernier recours, après avoir envisagé toutes les autres avenues énumérées auparavant. Si le port de prothèses auditives est l'option retenue, le risque de suramplification et la sécurité du travailleur devront systématiquement être pris en compte et gérés par tous les professionnels concernés par cette problématique.

BIBLIOGRAPHIE

- Abel SM, Krever EM, Giguère C & Alberti PW (1991). Signal detection and speech perception with level-dependent hearing protectors. *Journal of Otolaryngology-Head & Neck Surgery*, 20(1):46-53.
- Abel SM, Armstrong NM & Giguère C (1993). Auditory perception with level-dependent hearing protectors: the effects of age and hearing loss. *Scandinavian Audiology*, 22(2):71-85.
- Abel SM & Giguère C (1997). A review of the effect of hearing protective devices on auditory perception: The integration of active noise reduction and binaural technologies. Final report Contract W7711-6-7316/001 SRV. National Defence, Canada, 50 pp. Repéré à <http://cradpdf.drdc-rddc.gc.ca/PDFS/zbb57/p507527.pdf> {Dernière consultation : 27 mai 2014}.
- Abel SM & Spencer DL (1997). Active noise reduction versus conventional hearing protection. Relative benefits for normal-hearing and impaired listeners. *Scandinavian Audiology*, 26(3):155-167.
- Abel SM, Tsang S & Boyne S (2007). Sound localization with communication headsets: Comparison of passive and active systems. *Noise & Health*, 9(37):101-107.
- Abel SM, Boyne S & Roesler-Mulroney H (2009). Sound localization with an army helmet worn in combination with an in-ear advanced communications system. *Noise & Health*, 11(45):199-205.
- Abel SM, Nakashima A & Saunders D (2011). Speech understanding in noise with integrated in-ear and muff-style hearing protection systems. *Noise & Health*, 13(55):378-384.
- Abel SM, Nakashima A & Smith I (2012). Divided listening in noise in a mock-up of a military command post. *Military Medecine*, 177(4):436-443.
- Agence de santé publique du Canada (2010). *Le Rapport de L'administrateur en chef de la santé publique sur l'état de la santé publique au Canada 2010*. Repéré à <http://www.phac-aspc.gc.ca/cphorsphc-respcacsp/2010/fr-rc/cphorsphc-respcacsp-06-fra.php> {Dernière consultation: 27 mai 2014}.
- Alali KA & Casali JG (2011). The challenge of localizing vehicle backup alarms: effects of passive and electronic hearing protectors, ambient noise level, and backup alarm spectral content. *Noise & Health*, 13(51):99-112.
- Alali KA & Casali JG (2012). Auditory backup alarms: distance-at-first detection via in-situ experimentation on alarm design and hearing protection effect. *Work*, 41(Suppl 1):3599-3607.
- Alcantara JI, Moore BCJ, Kuhnel V & Launer S (2003). Evaluation of the noise reduction system in a commercial digital hearing aid. *International Journal of Audiology*, 42(1):34-42.
- American National Standards Institute. *Methods of measurement of real-ear performance characteristics of hearing aids* (ANSI S3.46-1997 [R 2007]). New York, NY, ANSI, 2007.
- American National Standard Institute. *Specifications of hearing aid characteristics* (ANSI/ASA S3.22-2009). New York, NY, ANSI, 2009.

- American National Standard Institute. *Methods for the measurement of insertion loss of hearing protection devices in continuous or impulsive noise using microphone-in-real-ear or acoustic test fixture procedures*. (ANSI/ASA S12.42-2010). New York, NY, ANSI, 2010.
- American National Standards Institute. *Method of measurement of performance characteristics of hearing aids under simulated real-ear working conditions* (ANSI S3.35-2010). New York, NY, ANSI, 2010.
- American National Standards Institute. *American National Standard Measurement of Occupational Noise Exposure* (ANSI S12.19-1996 (R2011)). New York, NY, ANSI, 2011.
- American National Standard Institute. *Methods of estimating effective a-weighted sound pressure levels when hearing protectors are worn* (ANSI/ASA S12.68-2007 [R2012]). New York, NY, ANSI, 2012.
- American National Standard Institute. *Specification for a manikin for simulated in-situ airborne acoustic measurements* (ANSI S3.36-2012). New York, NY, ANSI, 2012.
- Behrens T (2008). Spatial hearing in complex sound environments: clinical data. *Hearing Review*, 15(3): 94-102.
- Bentler RA & Pavlovic CV (1989). Transfer functions and correction factors used in hearing aid evaluation and research. *Ear & Hearing*, 10(1):58-63.
- Bentler RA, Tubbs JL, Egge JL, Flamme GA & Dittberner AB (2004). Evaluation of an adaptive directional system in a DSP hearing aid. *American Journal of Audiology*, 13(1):73-79.
- Bentler R (2005). Effectiveness of directional microphones and noise reduction schemes in hearing aids : A systematic review of the evidence. *Journal of the American Academy of Audiology*, 16(7):473-484.
- Bentler R & Chiou LK (2006). Digital noise reduction: An Overview. *Trends in Amplification*, 10(2):67-82.
- Bentler R, Palmer C & Mueller GH (2006). Evaluation of a second-order directional microphone hearing aid: I. Speech perception outcomes. *Journal of the American Academy of Audiology*, 17(3):179-189.
- Bentler R, Wu YH, Kettel J & Hurtig R (2008). Digital noise reduction: Outcomes from laboratory and field studies. *International Journal of Audiology*, 47(8):447-460.
- Best V, Kalluri S, McLachlan S, Valentine S, Edwards B & Carlile S (2010). A comparison of CIC and BTE hearing aids for three-dimensional localization of speech. *International Journal of Audiology*, 49(10):723-732.
- Blamey PJ, Fiket HJ & Steele BR (2006). Improving speech intelligibility in background noise with an adaptive directional microphone. *Journal of the American Academy of Audiology*, 17(7):519-530.
- Boymans M & Dreshler W (2000). Field trials using a digital hearing aid with active noise reduction and dual-microphone directionality. *Audiology*, 39(5):260-268.

- Brammer AJ, Yu G, Peterson DR, Bernstein ER & Cherniak, MG (2008). Hearing protection and communication in an age of digital signal processing: Progress and prospects. *Proceedings of the 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem*, Mashantucket CT, USA (July 21-25): 228-235. Repéré à http://www.icben.org/2008/PDFs/Brammer_et_al.pdf {Dernière consultation : 27 février 2013}.
- Bray V & Nilsson M (2008). Outcome measures in the fitting of hearing aids. In *Audiology Treatment. Second Edition*. Valente et coll. (eds). Thieme: New York, p.160-178.
- Brungart DS, Hobbs BW, Hamil JT (2007). A comparison of acoustic and psychoacoustic measurements of pass-through hearing protection devices. *Proceedings of IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics*. New Paltz, NY, USA (October 21-24): 70-73. Repéré à <http://www.ee.columbia.edu/~dpwe/papers/BrunHH07-passthrough.pdf> {Dernière consultation : 27 février 2013}.
- Byrne D & Dillon H (1986). The National Acoustic Laboratories (NAL) new procedure for selecting the gain and frequency response of a hearing aid. *Ear & Hearing*, 7(4):257-265.
- Byrne D, Parkinson A & Newall P (1991). Modified hearing aid selection procedures for severe/profound hearing losses. In *The Vanderbilt Hearing Aid Report II*. Studebaker G, Bess F, Beck L (eds). Parkton, MD: York Press.
- Byrne D & Tonisson W (1976). Selecting the gain of hearing aids for persons with sensorineural hearing impairments. *Scandinavian Audiology*, 5(2):51-59.
- Byrne D, Sinclair S & Noble W (1998). Open earmold fittings for improving aided auditory localization for sensorineural hearing losses with good high-frequency hearing. *Ear & Hearing*, 19(1):62-71.
- Canadian Standards Association (2014). *Protecteurs auditifs: performance, sélection, entretien et utilisation* (CSA Z94.2-F14). Toronto, ON.
- Canadian Standards Association (2013). *Procedures for the measurement of occupational noise exposure* (CSA Z107.56-13). Toronto, ON.
- Carmichel EL, Harris FP & Story BH (2007). Effects of binaural electronic hearing protectors on localization and response time to sounds in the horizontal plane. *Noise & Health*, 9(37):83-95.
- Casali JG & Wright WH (1995). Do amplitude-sensitive hearing protectors improve detectability of vehicle backup alarms in noise? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 39th Annual Meeting*, San Diego, California (October 9-13): 994-998. Repéré à <http://pro.sagepub.com/content/39/15/994.full.pdf> {Dernière consultation : 27 février 2013}.
- Casali JG, Robinson GS, Dabney EC & Gauger D (2004). Effect of electronic ANR and conventional hearing protectors on vehicle backup alarm detection in noise. *Human Factors*, 46(1):1-10.
- Casali JG, Lancaster JA, Valimont RB & Gauger D (2007). Headset in light aircraft cockpits: Speech intelligibility, PELs, and flight performance. *Proceedings of the International Congress on Noise Control Engineering*, Reno NV, USA (October 22-25): Paper No. 129.

- Casali JG, Ahroon WA & Lancaster JA (2009). A field investigation of hearing protection and hearing enhancement in one device: For soldiers whose ears and lives depend upon it. *Noise & Health*, 11(42):69-90.
- Casali JG (2010a). Passive augmentations in hearing protection technology circa 2010 including flat-attenuation, passive level-dependent, passive wave resonance, passive adjustable attenuation, and adjustable-fit devices: Review of design, testing, and research. *The International Journal of Acoustics and Vibration*, 15(4):187-195.
- Casali JG (2010b). Powered electronic augmentations in hearing protection technology circa 2010 including active noise reduction, electronically-modulated sound transmission, and tactical communications devices: review of design, testing, and research. *The International Journal of Acoustics and Vibration*, 15(4):168-186.
- Casali JG & Alali KA (2010). *Etymotic EB-15 (Lo Position) blastPLG evaluation: Backup alarm localization appended experiment*. Blacksburg, Virginia, USA: Virginia Tech, Audio Lab Report No. 6/9/10-2-HP, ISE Dept. Report No. 201002: 32 pp. Repéré à <http://www.etymotic.com/download/Casali&Alali2010.pdf> {Dernière consultation : 27 fév. 2013}.
- Casto KL & Casali JG (2012). Effects of headset, flight workload, hearing ability, and communications message quality on pilot performance. *Hum Factors*, published online 28 September 2012. Repéré à <http://hfs.sagepub.com/content/early/2012/10/22/0018720812461013> {Dernière consultation : 27 février 2013}.
- Chalupka S (2009). Challenges in hearing conservation – The hearing-impaired worker. *Workplace Health & Safety*, 57(8): 348. doi: 10.3928/08910162-20090729-06.
- Chartrand MS (2003). *User Volume Controls: Fit(tings) to be tied!* Repéré à <http://www.audiologyonline.com/articles/user-volume-controls-fit-tings-1135> {Dernière consultation : 27 février 2013}.
- Chung D (1978). The effect of middle ear disorders on noise-induced hearing loss. *Ear & Hearing*, 4(2):77–80.
- Chung K, Neuman AC & Higgins M (2008). Effects of in-the-ear microphone directionality on sound direction identification. *Journal of the Acoustical Society of America*, 123(4):2264-2275.
- Chung K, Tufts J & Nelson L (2009). Modulation-based noise reduction for amplification to hearing protectors to reduce noise and maintain intelligibility. *Human Factors*, 51(1):78-89.
- Cilento BW, Norton SJ & Gates GA (2003). The effects of aging and hearing loss on distortion product otoacoustic emissions. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, 129(4):382–389.
- Collet L, Gartner M, Moulin A, Kauffmann I, Disant F & Morgon A. (1989). Evoked otoacoustic emissions and sensorineural hearing loss. *Archives of Otolaryngology—Head & Neck Surgery*, 115(9):1060-1062.
- Commission de la santé et de la sécurité du travail - CSST (2006). Rapport G.R. (D06-644-A).

- Compton-Conley CL, Neuman AC, Killion MC & Levitt H (2004). Performance of directional microphones for hearing aids: real-world versus simulation. *Journal of the American Academy of Audiology*, 15(6):440–455.
- Cord MT, Surr RK, Walden BE & Dyrland O (2004). Relationship between laboratory measures of directional advantage and everyday success with directional microphone hearing aids. *Journal of the American Academy of Audiology*, 15(5):353–364.
- Dancer AL, Henderson D Salvi RJ & Hamernik RP (1990). Noise-induced hearing loss. *Mosby Year Book*, St-Louis, 554 p.
- D’Angelo WR, Bolia RS, Mishler PJ & Morris LJ (2001). Effects of CIC hearing aids on auditory localization by listeners with normal hearing. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 44(6):1209-1214.
- Darbyshire J (1976). A study of the use of high-power hearing aids by children with marked degrees of deafness and the possibility of deteriorations in auditory acuity. *British Journal of Audiology*, 10(3):74–78.
- Davila EP, Caban-Martinez AJ, Muennig P, Lee DJ, Fleming LE, Ferraro KF, LeBlanc WG, Lam BL, Arheart KL, McCollister KE, Zheng D & Christ SL (2009). Sensory impairment among older U.S. workers. *American Journal of Public Health* 99(8):1378–1385.
- Deshaies P, Martin R, Belzile D, Fortier P, Laroche C, Girard S-A, Leroux T, Nélisse H, Arcand R, Picard M & Poulin M (2008). Noise as an explanatory factor in work-related fatality reports : a descriptive study. *Proceedings of the 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem*, Mashantucket CT, USA (July 21-25):188-196.
- Deshaies P, Martin R, Belzile D, Fortier P, Laroche C, Leroux T, Nélisse H, Girard, S-A, Arcand R, Poulin M. & Picard M. (2015). *Noise as an explanatory factor in work-related fatality reports*. *Noise & Health*, 17 (78):294-299.
- De Vitto UML & Cruz OLM (2001). Temporary threshold shift due to hearing aid use. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 67(2):160–169.
- Dillon H. (2001). *Hearing aids*, 1st Edition (Thieme Boomerang Press).
- Dolan TG & Maurer JF (1996). Noise exposure associated with hearing aid use in industry. *Journal of Speech and Hearing Research*, 39(2):251–260.
- Dolan TG & Maurer JF (2000). Hearing aids in occupational settings: safety and management issues. *Occupational Health & Safety*, 69(10):104–106.
- Dolan TG & Wonderlick BA (2000). Multi-channel compression and speech intelligibility in industrial noise. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 43(6):1380–1388.
- Dolan TG & O’Loughlin D (2005). Amplified earmuffs: impact on speech intelligibility in industrial noise for listeners with hearing loss. *American Journal of Audiology*, 14(1):80–85.
- Drennan WR, Gatehouse S, Howell P, Van Tasell D & Lund S (2005). Localization and speech-identification ability of hearing-impaired listeners using phase-preserving amplification. *Ear & Hearing*, 26(5):461-472.
- European Union of Hearing Aid Acousticians (2013). Hearing protection for hearing aid users (EUHA Guideline No. 06-02). Issued: 10 Oct. 2013.

- Fok D, Shaw L, Jennings MB & Margaret C (2009). Towards a comprehensive approach for managing transitions of older workers with hearing loss. *Work* 32(4):365-376.
- Freyaldenhoven MC, Nabelek AK, Burchfield SB & Thelin JW (2005). Acceptable noise level as a measure of directional hearing aid benefit. *Journal of the American Academy of Audiology*, 16(4):228–236.
- Ghent R (2014). Protecting the hearing-impaired. *Industrial Safety & Hygiene News*, January 2, 2014. Repéré à <http://www.ishn.com/articles/print/97660-protecting-the-hearing-impaired> {Dernière consultation : 27 mai 2014}.
- Giguère C, Laroche C & Vaillancourt V (2010). Modelling speech intelligibility in the noisy workplace for normal-hearing and hearing-impaired listeners using hearing protectors. *The International Journal of Acoustics and Vibration*, 15(4):156-167.
- Giguère C, Laroche C, Brammer AJ, Vaillancourt V & Yu G (2011a). Advanced hearing protection and communication: Progress and challenges. *Proceedings of the 11th International Congress on Noise as a Public Health Problem*, London, England (July 24-28): 8 p.
- Giguère C, Laroche C & Vaillancourt V (2011b). *Research on modelling the effect of personal hearing protection and communications devices on speech intelligibility in noise*. Final Report DRDC Toronto CR 2011-101. Repéré à <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a551149.pdf> {Dernière consultation : 27 mai 2014}.
- Giguère C, Laroche C, Vaillancourt V, Shmigol E, Vaillancourt T, Chiasson J & Rozon-Gauthier V (2012a). A multidimensional evaluation of auditory performance in one powered electronic level-dependent hearing protector. *Proceedings of the International Conference on Sound and Vibration*, Vilnius, Lithuania (July 8-12): 8 pp.
- Giguère C, Behar A, Dajani HR, Kelsall T & Keith S (2012b). Direct and indirect methods for the measurement of occupational sound exposure from communication headsets. *Noise Control Engineering Journal*, 60(6):630-644.
- Girard SA, Picard M, Davis AC, Simard M, Larocque R, Leroux T & Turcotte F (2009). Multiple work-related accidents: tracing the role of hearing status and noise exposure. *Occupational and Environmental Medicine*, 66(5):319-324.
- Girard SA, Leroux T, Courteau M, Picard M, Turcotte F & Richer O (2014). Occupational noise exposure and noise induced hearing loss are associated with work-related injuries leading to admission to hospital. *Injury Prevention*, 21(e1):e88-92.
- Glorig A, Ward WD & Nixon J (1961). Damage risk criteria and noise-induced hearing loss. *Otolaryngology - Head & Neck Surgery (JAMA)*, 74(4):413–423.
- Gnewikow D, Ricketts T, Bratt GW & Mutchler LC (2009). Real-world benefit from directional microphone hearing aids. *The Journal of Rehabilitation Research and Development*, 46(5):603-618.
- Gorga MP, Neely ST, Ohlrich B, Hoover B, Redner J & Peters J (1997). From laboratory to clinic: A large scale study of distortion product otoacoustic emissions in ears with normal hearing and ears with hearing loss. *Ear & Hearing*, 18(16):440–455.

- Groth J & Laureyns M (2011). Preserving localization in hearing instrument fittings. *The Hearing Journal*, 64(2):34-38.
- Harris FP (1990). Distortion-product otoacoustic emissions in humans with high frequency sensorineural hearing loss. *Journal of Speech and Hearing Research*, 33:594–600.
- Hawkins DB (1982). Overamplification: a well-documented case report. *The Journal of Speech and Hearing Disorders*, 47(4):382–384.
- Health & Safety Executive (2011). *Report of an International Expert Symposium on the usefulness of Otoacoustic Emissions (OAE) Testing in Occupational Health Surveillance* Manchester, UK (30 pages). Repéré à <http://www.hse.gov.uk/noise/OAE-expert-symposium-paper-jan-2012.pdf> {Dernière consultation : 27 février 2013}.
- Heffernan HP & Simons MR (1979). Temporary increase in sensorineural hearing loss with hearing aid use. *The Annals of Otology, Rhinology, and Laryngology*, 88(1 Pt 1):86–91.
- Helleman HW & Dreschler WA (2012). Overall versus individual changes for otoacoustic emissions and audiometry in a noise-exposed cohort. *International Journal of Audiology*, 51(5):362–372.
- Henchi M-A, Bouzgarou L, Amri C, Abdallah B, Omrane J, Rejeb K, Haj Salah H, Gaaliche A, Khalfallah T & Akrouit M (2008). Apport de la prothèse auditive dans les surdités professionnelles. *Archives des maladies professionnelles et de l'environnement*, 69(4):593-599.
- Hétu R, Quoc HT & Tougas Y (1992). *Les porteurs de prothèse auditive en milieu de travail bruyant*. IRSST, Profil-recherche 146. Repéré à <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/PR-146.pdf> {Dernière consultation : 27 février 2013}.
- Hétu R (1994). The hearing conservation paradigm and the experienced effects of occupational noise exposure. *Canadian Acoustics*, 22(1): 3-19.
- Hoetink AE, Korossy L & Deschler WA (2009). Classification of steady state gain reduction produced by amplitude modulation based noise reduction in digital hearing aids. *International Journal of Audiology*, 48(7):444-455.
- Humes LE (1984). Noise-induced hearing loss as influenced by other agents and by some physical characteristics of the individual. *Journal of the Acoustical Society of America*, 76(5):1318–1329.
- Humes LE & Jesteadt W (1991). Modeling the interactions between noise exposure and other variables. *Journal of the Acoustical Society of America*, 90(1):182–188.
- Humes LE & Bess FH (1981). Tutorial on the potential deterioration in hearing due to hearing aid usage. *Journal of Speech and Hearing Research*, 24(1):3–15.
- Institut national de santé publique du Québec (2014). *Portrait de la surdité professionnelle acceptée par la Commission de la santé et de la sécurité du travail au Québec : 1997-2010*. Repéré à http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1770_Portrait_Surdite_Professionnelle.pdf {Dernière consultation : 4 juillet 2014}.

- Institut national de santé publique du Québec (2015). *Portrait de la surdité professionnelle acceptée par la Commission de la santé et de la sécurité du travail au Québec – Mise à jour 1997-2012*. Repéré à https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/2018_Surdite_Professionnelle.pdf {Dernière consultation : 15 janvier 2016}.
- International Electrotechnical Commission (2010). *Electroacoustics – Simulators of the human head and ear. Part 4: Occluded-ear simulator for the measurement of earphones coupled to the ear by means of ear inserts* (IEC 60318-4 Ed.1). Geneva, Switzerland.
- International Electrotechnical Commission (2013). *Electroacoustics - Sound level meters - Part 1: Specifications* (IEC 61672-1). Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization (1990). *Acoustics – Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment* (ISO 1999:1990). Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization (1994). *Acoustics – Hearing protectors - Part 2: Estimation of effective A-weighted sound pressure levels when hearing protectors are worn* (ISO 4869-2:1994). Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization (2002). *Acoustics – Determination of sound immission from sound sources placed close to the ear: Part 1: Technique using a microphone in a real ear (MIRE Technique)* (ISO 11904-1:2002). Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization (2004). *Acoustics – Determination of sound immission from sound sources placed close to the ear: Part 2: Technique using a manikin (Manikin Technique)* (ISO 11904-2:2004). Geneva, Switzerland.
- International Telecommunication Union (2011). *Series P: Telephone transmission quality, telephone installations, local line networks - Objective measuring apparatus: Artificial ears (ITU-T Recommendation P.57 Ed. 6:2011)*. Geneva, Switzerland.
- James S (2005). Defining the cockpit noise hazard, hearing damage risk and the benefits Active Noise Reduction headsets can provide. In *Personal Hearing Protection Including Active Noise Reduction*, NATO RTO Lecture Series HFM-111, 24 pages. Repéré à <http://ftp.rta.nato.int/public/PubFullText/RTO/EN/RTO-EN-HFM-111//EN-HFM-111-05.pdf> {Dernière consultation: 27 février 2013}.
- Keidser G, Katsch R, Dillon H & Grant F (2000). Relative loudness perception of low and high frequency sounds in the open and occluded ear. *Journal of the Acoustical Society of America*, 107(6):3351–3357.
- Keidser G, Rohrseitz K, Dillon H, Hamacher V, Carter L, Rass U & Convery E (2006). The effect of multi-channel wide dynamic range compression, noise reduction, and the directional microphone on horizontal localization performance in hearing aid wearers. *International Journal of Audiology*, 45(10):563-579.
- Keidser G, Carter L, Chalupper J & Dillon H (2007). Effect of low-frequency gain and venting effects on the benefit derived from directionality and noise reduction in hearing aids. *International Journal of Audiology*, 46(10):554–568.

- Keidser G, O'Brien A, Hain J-U, McLelland M & Yeend I (2009). The effect of frequency-dependent microphone directionality on horizontal localization performance in hearing-aid users. *International Journal of Audiology*, 48(11):789-803.
- Kemp DT (2002). Otoacoustic emissions, their origin in cochlear function, and use. *British Medical Bulletin*, 63:223–241.
- Kim JS & Bryan MF (2011). The effects of asymmetric directional microphone fittings on acceptance of background noise. *International Journal of Audiology*, 50(5):290–296.
- Klemp EJ & Dhar S (2008). Speech perception in noise using directional microphones in open-canal hearing aids. *Journal of the American Academy of Audiology*, 19(7):571–578.
- Kobler S & Rosenhall U (2002). Horizontal localization and speech intelligibility with bilateral and unilateral hearing aid amplification. *International Journal of Audiology*, 41(7):395-400.
- Kraak W (1981). Investigations on criteria for the risk of hearing loss due to noise. In *Hearing Research and Theory*. J.V. Tobias & E.D. Schubert (Eds), Volume 1, pp. 187–303). New York: Academic Press.
- Kraak W, Ertel H, Fuder G & Kracht L (1974). Risk of hearing damage caused by steady-state and impulsive noise. *Journal of Sound and Vibration*, 36(3):347–359.
- Kundu P & Rout N (2010). The impact of high gain conventional hearing aid on OAEs in a case of auditory neuropathy/dys-synchrony. *Eastern Journal of Medicine*, 15:26–30.
- Laplante-Lévesque A, Hickson L & Worrall L (2010). Factors influencing rehabilitation decisions of adults with acquired hearing impairment. *International Journal of Audiology*, 49(7):497-507.
- Lebeau M, Duguay P, Boucher A, (2014). Les coûts des lésions professionnelles au Québec (2005-2007). Études et recherches/Rapport R-769, Montréal, IRSST, 48 p.
- Lee SM, Won JH, Kwon SY, Park Y-C, Kim IY & Kim SI (2004). New idea of hearing aid algorithm to enhance speech discrimination in a noisy environment and its experimental results. *Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, San Francisco, CA, USA (September 1-5): 976-978.
- Lewis MS, Crandell CC, Valente M & Horn JE (2004). Speech perception in noise: Directional microphones versus frequency modulation (FM) systems. *Journal of the American Academy of Audiology*, 15(6):426–439.
- Luts H, Maj J-B, Soede W & Wouters J (2004). Better speech perception in noise with an assistive multimicrophone array for hearing aids. *Ear & Hearing*, 25(5):411–420.
- Mackenzie E & Lutman ME (2005). Speech recognition and comfort using hearing instruments with adaptive directional characteristics in asymmetric listening conditions. *Ear & Hearing*, 26(6):669–679.
- Macrae JH (1968a). TTS and Recovery from TTS after use of powerful hearing aids. *Journal of the Acoustical Society of America*, 43(6):1445–1446.
- Macrae JH (1968b). Recovery from TTS in children with sensorineural deafness. *Journal of the Acoustical Society of America*, 44(5):1451–1451.

- Macrae JH (1968c). Deterioration of the residual hearing of children with sensorineural deafness. *Acta Oto-Laryngologica*, 66(1-6):33–39.
- Macrae JH (1991a). Permanent threshold shift associated with overamplification by hearing aids. *Journal of Speech and Hearing Research*, 34(2):403–414.
- Macrae JH (1991b). Prediction of deterioration in hearing due to hearing aid use. *Journal of Speech and Hearing Research*, 34(3):661–670.
- Macrae JH (1993). Temporary threshold shift caused by hearing aid use. *Journal of Speech and Hearing Research*, 36(2):365–372.
- Macrae JH (1994a). An investigation of temporary threshold shift caused by hearing aid use. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37(1):227–237.
- Macrae JH (1994b). Prediction of asymptotic threshold shift caused by hearing aid use. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37(6):1450–1458.
- Macrae, JH (1995). Temporary and permanent threshold shift caused by hearing aid use. *Journal of Speech and Hearing Research*, 38(4):949–959.
- Macrae JH (1996). Deterioration of thresholds associated with hearing aid use. *Australian Journal of Audiology*, 18(2):73–80.
- Macrae JH (1998). Prediction of permanent threshold shift caused by hearing aid use. *Australian Journal of Audiology*, 20(2):87–94.
- Macrae JH & Farrant RH (1965). The effect of hearing aid use on the residual hearing of children with sensorineural deafness. *The Annals of Otology, Rhinology, and Laryngology*, 74:408–419.
- Magnusson L, Claesson A, Persson M & Tengstrand T (2013). Speech recognition in noise using bilateral open-fit hearing aids: The limited benefit of directional microphones and noise reduction. *International Journal of Audiology*, 52(1):29–36.
- Markides A (1971). Do hearing aids damage the user's residual hearing? (A literature survey). *British Journal of Audiology*, 5(4):99–105.
- Markides A (1976). The effect of hearing aid use on the user's residual hearing. *Scandinavian Audiology*, 5(4):205–210.
- McKinley RL (2000). *Communication and localization with hearing protectors*. Paper presented at the RTO HFM Lecture Series on "Damage Risk from Impulse Noise", held in Maryland, USA, 5-6 June 2000 and Meppen, Germany, 15-16 June 2000, and published in RTO EN-11. Repéré à <http://ftp.rta.nato.int/public//PubFulltext/RTO/EN/RTO-EN-011//EN-011-04.pdf>{Dernière consultation : 27 février 2013}.
- Mills JH, Gilbert RM & Adkins WY (1979). Temporary threshold shifts in humans exposed to octave bands of noise for 16 to 24 hours. *Journal of the Acoustical Society of America*, 65(5):1238–1248.
- Mueller HG & Ricketts T (2005). Digital noise reduction: Much ado about something? *The Hearing Journal*, 58(1):10-18.
- Mueller HG, Weber J & Hornsby BWY (2006). The effects of digital noise reduction on the acceptance of background noise. *Trends in Amplification*, 10(2):83-94.

- Müller J & Janssen T (2008). Impact of occupational noise on pure-tone threshold and distortion product otoacoustic emissions after one workday. *Hearing Research*, 246(1–2):9–22.
- Nakashima A, Abel SM, Duncan M & Smith D (2007). Hearing, communication and cognition in low-frequency noise from armoured vehicle. *Noise & Health*, 9:35-41.
- Nakashima A & Abel SM (2009). *Effects of integrated hearing protection headsets on the quality of radio communications*. Defence R&D Canada Technical Report DRDC Toronto TR 2009-074 July 2009, 36p. Repéré à <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA514622> {Dernière consultation : 27 février 2013}.
- Naunton RF (1957). The effect of hearing aid use upon the user's residual hearing. *The Laryngoscope*, 67(6):569–576.
- Neher T, Behrens T & Beck DL (2008). Spatial hearing and understanding speech in complex environments. *The Hearing Review*, 15(12):22-25.
- Noble W & Byrne D (1990). A comparison of different binaural hearing aid systems for sound localization in the horizontal and vertical planes. *British Journal of Audiology*, 24(5):335-346.
- Occupational Safety and Health Administration (1970). 29 CFR 1910.95, Federal Register.
- Occupational Safety and Health Administration (1983). *Occupational noise exposure: Hearing conservation amendment*, 29 CFR 1910 (vol. 48, no. 46). Washington, DC: Department of Labor.
- Occupational Safety and Health Administration (2005, December 27). Hearing Conservation for the Hearing-Impaired Worker - *Safety and Health Information Bulletin* SHIB 12-27-2005. Repéré à <https://www.osha.gov/dts/shib/shib122705.html> {Dernière consultation : 24 septembre 2012}.
- Oliveira JR, Lopes ES & Alves AF (2010). Speech perception of hearing impaired people using a hearing aid with noise suppression algorithms. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 76(1):14-17.
- Ong M, Choo JTL & Low E (2004). A self-controlled trial to evaluate the use of active hearing defenders in the engine rooms of operational naval vessels. *Singapore Medical Journal*, 45(2):75- 78.
- Ordre des orthophonistes et audiologistes du Québec (2000). *Guide de pratique à l'intention des audiologistes concernant la situation de la suramplification auditive et la gestion des risques associés* (38 pages). Montréal, Québec.
- Palmer CV, Bentler R & Mueller G (2006). Amplification with digital noise reduction and the perception of annoying and aversive sounds. *Trends in Amplification*, 10(2):95-104.
- Palmer C, Bentler R & Mueller GH (2006). Evaluation of a second-order directional microphone hearing aid: II. Self-report outcomes. *Journal of the American Academy of Audiology*, 17(3):190–201.
- Paré L (2006). Utilisation de l'amplification auditive numérique en milieu de travail bruyant par des travailleurs atteints de surdité professionnelle. *Fréquences*, 17(4):31–35.

- Peeters H, Kuk F, Lau CC & Keenan D (2009). Subjective and objective evaluation of noise management algorithms. *Journal of the American Academy of Audiology*, 20(2):89-98.
- Picard M, Girard SA, Simard M, Larocque R, Leroux T & Turcotte F (2008). Association of work-related accidents with noise exposure in the workplace and noise-induced hearing loss based on the experience of some 240,000 person-year of observation. *Accident Analysis & Prevention*, 40(5):1644-1652.
- Plontke S & Zenner H-P (2004). Current aspects of hearing loss from occupational and leisure noise. *GMS Current Topics in Otorhinolaryngology, Head and Neck Surgery*, 3. Repéré à <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3199798/> {Dernière consultation : 27 février 2013}.
- Plyler PN & Klumpp ML (2003). Communication in noise with acoustic and electronic hearing protection devices. *Journal of the American Academy of Audiology*, 14(5):260-268.
- Podoshin L, Kremer M, Fradis M & Feiglin H (1984). Effect of hearing aids on hearing. *The Laryngoscope*, 94(1):113-117.
- Powers TH & Hamacher V (2004). Proving adaptive directional technology works: A review of studies. *The hearing review*. April 2004 Issue. Repéré à <http://www.hearingreview.com/2004/04/proving-adaptive-directional-technology-works-a-review-of-studies/> {Dernière consultation : 27 février 2014}.
- Preves D, Millier R, Yanz J, Anderson B & Hagen L (1998). A combination custom active hearing protector/hearing aid. *The Hearing Journal*, 51(2):34,38-39,42-43.
- Prosser S, Pulga M, Mancuso A & Picinali L (2009). Speech perception with hearing aids: Effects of noise reduction and directional microphone systems on amplified signals. *Audiological Medicine*, 7(2):106-111.
- Reilly KM, Owens E, Uken D, McClatchie AC & Clarke R (1981). Progressive hearing loss in children: Hearing aids and other factors. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 46(3):328-334.
- Ricketts T & Henry P (2002). Evaluation of an adaptive, directional-microphone hearing aid. *International Journal of Audiology*, 41(2):100-112.
- Ricketts T & Hornsby B (2005). Sound quality measures for speech in noise through a commercial hearing aid implementing digital noise reduction. *Journal of the American Academy of Audiology*, 16(5):270-277.
- Roberts C (1970). Can hearing aids damage hearing? *Acta Oto-Laryngologica*, 69(1):123-125.
- Rogers (1997). An assessment of the benefits active noise reduction systems provide to speech intelligibility in aircraft noise environments. *Proceedings of the Fifth European Conference on Speech Communication and Technology, EUROSPEECH 1997*, Rhodes, Greece (September 22-25): 4p. Repéré à http://www.mirlab.org/conference_papers/International_Conference/Eurospeech%201997/pdf/wmb/a0805.pdf {Dernière consultation : 27 février 2013}.
- Ross M & Lerman J (1967). Hearing-aid usage and its effect upon residual hearing: A review of the literature and an investigation. *Archives of Otolaryngology—Head & Neck Surgery*, 86(6):639-644.

- Ross M & Truex E (1965). Protecting residual hearing in hearing aid user. *Archives of Otolaryngology—Head & Neck Surgery*, 82(6):615–617.
- Ruscetta MN, Palmer CV, Durrant JD, Grayhack J & Ryan C (2007). The impact of listening with directional microphone technology on self-perceived localization disabilities and handicaps. *Journal of the American Academy of Audiology*, 18(9):794-808.
- Sarampalis A, Kalluri S, Edwards B & Hafter E (2009). Objective measures of listening effort: Effects of background noise and noise reduction. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 52:1230-1240.
- Sataloff J, Menduke H & Hughes A (1962). Temporary threshold shift in normal and abnormal ears. *Archives of Otolaryngology*, 76(1):52–54.
- Shaw EAG (1974). The external ear. In *Handbook of Sensory Physiology*. WD Keidel & WD Neff (Eds.). Springer-Verlag: New York, 74p.
- Silotto C (2007). Étude approfondie de la directivité d'une aide auditive et son impact sur la localisation spatiale. *Les Cahiers de l'Audition*, 20(4):33-40. Repéré à <http://www.college-nat-audio.fr/cdlapdf/2007-4.pdf> {Dernière consultation : 27 février 2014}.
- Simpson C & King R (1997). Active noise reduction flight tests in military helicopters. *AGARD Conference Proceedings 596*, Neuilly-sur-Seine, France, Advisory Group for Aerospace Research and Development: pp. 22-1–22-18. Repéré à <http://ftp.rta.nato.int/public/PubFullText/AGARD/CP/AGARD-CP-579/AGARDCP579.pdf> {Dernière consultation : 27 février 2013}.
- Sliwinska-Kowalska M, Dudarewicz A, Kotylo P, Zamyslowska-szmytko E, Pawlaczyk-Luszczynska M & Gajdao-szadkowska A (2006). Individual susceptibility to noise-induced hearing loss: choosing an optimal method of retrospective classification of workers into noise-susceptible and noise-resistant groups. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 19(4):235–245.
- Sockalingam R, Holmberg M, Eneroth K & Shulte M (2009). Binaural hearing aid communication shown to improve sound quality and localization. *The Hearing Journal*, 62(10):46-47.
- Système de projection des professions au Canada (SPPC) Scénario Macroéconomique 2013-2022S Système de projection des professions au Canada - Projections 2013 Scénario macroéconomique - 2013-2022 Repéré à <http://professions.edsc.gc.ca/sppc-cops/content.jsp?cid=51&lang=fr&preview=1#fig6> {Dernière consultation : 23 octobre 2015}.
- Theis MA, Gallagher HL, McKinley RL & Bjorn VS (2012). Hearing protection with integrated in-ear dosimetry: A noise dose study. *Proceedings of the Internoise 2012/ASME NCAD meeting*. New York City, NY, USA (August 19-22, 2012): 5p.
- Titche LL, Windrem EO & Starmer WT (1977). Hearing aids & hearing deterioration. *The Annals of Otolaryngology, Rhinology, and Laryngology*, 86(3 Pt 1):357–361.
- Trottier M, Leroux T & Deadman JE (2004). Le bruit. *Manuel d'hygiène du travail: Du diagnostic à la maîtrise des facteurs de risque*. Association québécoise pour l'hygiène, la santé et la sécurité du travail (Ed). Modulo-Griffon: Mont-Royal, Québec, p.159-183.

- Tufts JB, Hamilton MA, Ucci AJ & Rubas J (2011). Evaluation by industrial workers of passive and level-dependent hearing protection devices. *Noise & Health*, 13(50):26-36.
- Vaillancourt V, Laroche C, Giguère C, Beaulieu M-A & Legault J-P (2011). Evaluation of auditory functions for Royal Canadian Mounted Police officers. *Journal of the American Academy of Audiology*, 22(6): 313-331.
- Valente M & Mispagel KM (2008). Unaided and aided performance with a directional open-fit hearing aid. *International Journal of Audiology*, 47(6):329–336.
- Valente M, Mispagel KM, Tchorz J & Fabry D (2006). Effect of type of noise and loudspeaker array on the performance of omnidirectional and directional microphones. *Journal of the American Academy of Audiology*, 17(6):398–412.
- Van den Bogaert T, Carette E & Wouters J (2011). Sound source localization using hearing aids with microphones placed behind-the-ear, in-the-canal, and in-the-pinna. *International Journal of Audiology*, 50(3):164-176.
- Van den Bogaert T, Klasen TJ, Van Deun L, Wouters J & Moonen M (2006). Localization with bilateral hearing aids: without is better than with. *Journal of the Acoustical Society of America*, 119(1): 515-526.
- Van den Bogaert T, Doclo S, Wouters J & Moonen M (2008). The effect of multimicrophone noise reduction systems on sound source localization by users of binaural hearing aids. *Journal of the Acoustical Society of America*, 124(1):484-497.
- Verbsky BL (2002). *Effects of conventional passive earmuffs, uniformly attenuating passive earmuffs, and hearing aids on speech intelligibility in noise (thesis)*. The Ohio State University. Repéré à https://etd.ohiolink.edu/rws_etd/document/get/osu1038964671/inline {Dernière consultation : 27 mai 2014}.
- Verbsky BL (2003). *Accommodation of Noise-Exposed, Hearing-Impaired Workers: Phase III/IV – Field Implementation of Questionnaire and Evaluation Strategy*. NIOSH Human Subject Review Board, HSRB 03-DART-06XP.
- Verbsky BL (2004). *Accommodation of Noise-Exposed, Hearing-Impaired Workers*. OMB Clearance 0920-040Z granted November 15, 2004.
- Volanthen A & Arndt H (2007). *Hearing Instrument Technology*, 3rd Edition (Thomson Delmar Learning).
- Walden BE, Surr RK, Cord MT, Edwards B & Olsen L (2000). Comparison of benefits provided by different hearing aid technologies. *Journal of the American Academy of Audiology*, 11(10):540-560.
- Wiggins IM & Seeber BU (2011). Dynamic-range compression affects the lateral position of sounds. *Journal of the Acoustical Society of America*, 130(6):3939-3953.
- Wiggins, IM & Seeber BU (2012). Effects of dynamic-range compression on the spatial attributes of sounds in normal-hearing listeners. *Ear & Hearing*, 33(3):399-410.
- Wilde RA (1990). *Equivalent noise dose obtained through hearing aids in the classrooms of hearing-impaired children*. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 21(3):147–150.

- Wilkins PA & Acton WI (1982). Noise and accidents – a review. *The Annals of Occupational Hygiene*, 25(3): 249-260.
- Williams M, Sabata D & Zolna J (2006). User needs evaluation of workplace accommodations. *Work*, 27(4):355-362.
- Williams W (2011). A qualitative assessment of the performance of electronic, level-dependent earmuffs when used on firing ranges. *Noise & Health*, 13(51):189-194.
- Witt B (2007). Earmuffs: A Primer. *The Hearing Review*. Repéré à <http://www.hearingreview.com/2007/03/earmuffs-a-primer/> {Dernière consultation : 27 mai 2014}.
- World Health Organization (2000). *Guidelines on community noise*. Berglund B, Lindvall T & Schwela DH (eds). WHO: Geneva, Switzerland, 141p.
- Zakis JA, Hau J & Blamey PJ (2009). Environmental noise reduction configuration: Effects on preferences, satisfaction, and speech understanding. *International Journal of Audiology*, 48(12):853-867.
- Zwerling C, Whitten PS, Davis CS & Sprince NL (1997). Occupational injuries among workers with disabilities: The National Health Interview Survey, 1985-1994. *The Journal of the American Medical Association (JAMA)*, 278(24):2163-2166.

ANNEXE A - QUESTIONNAIRE

1. Participation au sondage
2. Indiquez votre profession en choisissant celle qui s'applique le mieux au contexte de cette étude
3. Indiquez votre milieu de travail en choisissant celui, ceux qui s'applique(nt) au contexte de cette étude
4. Quel est votre sexe?
5. A quel groupe d'âge appartenez-vous?
6. Nombre d'années d'expérience professionnelle auprès des travailleurs?
7. Région administrative de votre milieu de travail?
8. Avez-vous déjà été confronté-e à la situation suivante : Un travailleur présentant une surdité, peu importe sa nature, son degré et son origine, qui a l'intention de porter ou se questionne sur la pertinence de porter ses prothèses auditives en milieu de travail bruyant?
9. Au cours des 5 dernières années, combien de fois avez-vous été confronté-e à une telle situation?
10. De quels secteurs économiques proviennent les travailleurs qui ont l'intention de porter ou se questionnent sur le port de prothèses auditives ? (Veuillez cocher jusqu'à 5 secteurs).
11. Avez-vous déjà été confronté-e à la situation suivante : Un travailleur présentant une surdité, peu importe sa nature, son degré et son origine qui utilise ses prothèses auditives en milieu de travail bruyant?
12. Au cours des 5 dernières années, combien de fois avez-vous été confronté-e à une telle situation?
13. De quels secteurs économiques proviennent les travailleurs qui utilisent leurs prothèses auditives ? (Veuillez cocher jusqu'à 5 secteurs)
14. Parmi les travailleurs utilisateurs de prothèses auditives en milieu de travail bruyant. Y en a-t-il qui se voient imposer ce port par leur employeur?
15. Au cours des 5 dernières années, combien de fois avez-vous été confronté-e à une telle situation?
16. Avez-vous déjà été confronté-e à la situation suivante : Un travailleur présentant une surdité, peu importe sa nature, son degré et son origine qui n'utilise pas ses prothèses auditives même si leur port est recommandé en milieu de travail bruyant par un professionnel de la santé ou imposé par l'employeur?

17. Au cours des 5 dernières années, combien de fois avez-vous été confronté-e à une telle situation?
18. De quels secteurs économiques proviennent les travailleurs qui n'utilisent pas leurs prothèses (malgré une recommandation ou une obligation à cet effet)? (Veuillez cocher jusqu'à 5 secteurs).
19. Avez-vous déjà été confronté-e à la situation suivante : Un travailleur présentant une surdité, peu importe sa nature, son degré et son origine qui n'utilise pas ses prothèses auditives, mais a recours à un autre dispositif d'amplification électronique (système MF, protecteur auditif avec système de communication intégré ou autre protecteur électronique)?
20. Au cours des 5 dernières années, combien de fois avez-vous été confronté-e à une telle situation?
21. Si vous le souhaitez, utilisez l'espace ci-dessous pour partager vos commentaires, vos observations ou vos préoccupations concernant cette problématique avec l'équipe de recherche.
22. Sans égard au fait d'avoir été confronté-e ou non aux divers scénarios proposés dans ce sondage, accepteriez-vous de participer éventuellement à un groupe de discussion (en personne ou par téléconférence) pour approfondir la problématique du port de prothèses auditives en milieu de travail bruyant?
23. Acceptez-vous de nous laisser vos coordonnées?
24. Quel est votre nom?
25. Quel est votre numéro de téléphone?
26. Quelle est votre adresse courriel?
27. Par souci d'exactitude, veuillez indiquer votre adresse courriel de nouveau svp.

ANNEXE B - EXTRAITS DE L'INFORMATION ISSUE DES DISCUSSIONS AVEC LES GROUPES D'AUDIOLOGISTES

Origine demande ou contexte, expression du besoin	Motivations travailleurs au port des prothèses auditives (PA)	Outils, protocoles utilisés ou interventions	Recommandations aux travailleurs	Obstacles	Outils ou ressources souhaités	Sentiment d'efficacité professionnelle
• Au moment du renouvellement PA ou contrôle audition ou suivi. • Demande des gens si peuvent utiliser PA au travail. • Au cours d'une consultation pour difficultés à entendre dans la vie personnelle, présence acouphènes et milieu bruyant.	• Mieux communiquer avec son patron dans une usine. • Besoins communication ++, utilisation radio CB. • Garder emploi: obligation de porter PA au travail. • Sentiment de sécurité. • Meilleur rendement. • Ne veut pas être coupé du monde sonore ambiant.	• Évaluation globale des besoins lors histoire de cas (capacités, incapacités) au travail comme ailleurs, responsabilités, exigences sur le plan audition, milieu de travail, niveaux de bruit si disponible. • Recherche niveaux de bruit auprès : équipe santé au travail, employeur, CLSC, santé publique ou mesures sommaires lors visite.	• Ne pas porter les PA en milieu de travail bruyant. • Protégez d'abord votre audition. • Ne pas oublier de penser à leur sécurité physique. • Sensibilisation importante du travailleur; il doit comprendre tous les enjeux et aider, lui-même, à trouver solutions.	• Pas d'outil normalisé pour évaluer si port PA est sûr. • Travailleur croit que PA numériques sécuritaires, en raison du mécanisme de limitation de sortie ou autres. • Aucune ligne directrice claire. • Manque d'information pour décrire les conditions de travail.	• Davantage adaptation de poste de travail et autres stratégies pour assurer sécurité audition. • Faire davantage de visite d'usine. • Avoir échantillon du bruit en milieu de travail (niveaux + spectres). • Travail d'équipe pour jumeler les forces et + collaboration. • Données de validation.	• Inquiets des dangers de suramplification : comment amplifier et être sécuritaire ? • Se questionnent sur modification possible (spectre) des signaux de l'environnement par amplification ? • Se questionnent sur les recommandations à faire aux personnes sourdes de naissance, avec PA au travail, même si milieu ± bruyant : amplification +++ = détérioration audition? et sécurité ? ± grande sensibilité à la détérioration ? P. ex. : jeune sourd oraliste, porte ses PA tout le temps, commence un emploi en mécanique?
• CSST: depuis octroi des PA numériques, demande pour le milieu de travail (avant CSST réservait et défrayait PA numérique seulement pour effectuer travail).	• Audiologistes conviennent que les difficultés rapportées par les travailleurs malentendants le sont également par des travailleurs qui ne sont pas malentendants.	• Documenter besoins de communication: questionnaire, contremaître (souvent moins exposés mais besoins ++).	• Recommandation port possible dans certaines zones du milieu de travail avec programme dédié (possibilité utiliser embout occlus). Faire le mieux avec le pire.	• Manque d'information sur l'influence des modes de traitement de signal des PA et protection par rapport au bruit (p. ex. : réducteur de bruit ?)	• Travailler en partenariat avec CSST. • Avoir des protocoles d'intervention. • Avoir des audiologistes en santé et en sécurité du travail.	• Se demandent quelles orientations donner au plombier, au mécanicien,... qui utilisent audition pour déterminer source de problèmes; besoin de leur PA sinon ≠ emploi.

**Extraits de l'information issue des discussions avec les travailleurs
(utilisateurs de prothèses auditives)**

Renseignements demandés par professionnels en santé auditive	Consignes reçues p/r au port des prothèses auditives (PA) au travail	Pourquoi vouloir porter des prothèses auditives (PA) au travail ?	Bénéfices ou manque de bénéfices rapportés	Préoccupation p/r à la sécurité	Pistes d'amélioration
• Demande qui est son employeur mais très peu information demandée sur la nature des responsabilités au travail (p. ex. : supervision, formation,..., usage du téléphone,...). • On ne discute pas vraiment, on nous présente 3 modèles et on nous dit c'est celui-là qui vous convient. • Des questions ont été posées concernant la présence de poussière, de chaleur, d'humidité. • Un travailleur a indiqué à l'audioprothésiste qu'il voulait un modèle automatique parce qu'il y avait de la saleté, de la graisse, de l'huile et qu'il ne voulait pas être obligé de les enlever ou de manipuler une manette.	• Aucune consigne précise: Porte ses PA en permanence mais quand doit aller dans un département très bruyant, il les enlève et mets les coquilles. Doit les enlever parce que les PA font du bruit (feedback). C'est la quantité de bruit qui va décider s'il les enlève le temps de travailler dans un secteur très bruyant. • Un travailleur a reçu la consigne de l'audioprothésiste de ne pas porter ses PA au travail sauf pour les « meetings ». • Un travailleur s'est fait dire d'y aller avec son jugement, en se faisant expliquer que la PA amplifie le bruit. • Aucune consigne de ne pas les porter. Utilise une manette qui permet de changer de programme si très bruyant. Son audioprothésiste s'informe régulièrement si des bruits l'incommodent et refait des ajustements au besoin. • Travail pour des adaptations. N'a pas cru bon recourir à ce service.	• Masquer ses acouphènes. • Mieux entendre dans les « meetings ». • Mieux suivre les conversations. • Quand je n'ai pas mes appareils, je suis nul. Il y a toujours un bruit de fond dans l'usine. • Détecter un son comme une fuite dans un tuyau. • Entendre quand les autres m'appellent. • Entendre modification du bruit des machines. • Distinguer différents signaux sonores.	• Efficace à masquer les acouphènes. • Entendre des sons que je n'entendais plus, de la musique. • Permet de mettre le volume de la télé moins élevé. • Parle moins fort avec ses PA. • Manque de bénéfice en voiture, quand je roule, ça coupe: je n'entends plus ma blonde.	• Les conducteurs de lift doivent faire encore plus attention. C'est déjà arrivé des accidents à cause du bruit même avec des gens qui ont une bonne oreille. • Je sais que je dois faire encore plus attention à cause de ma défaillance, j'essaie d'avoir l'œil averti... je sens que ma défaillance peut avoir un impact sur les autres. J'ai développé le réflexe d'être plus attentionné. • Nécessaire d'être plus alerte. • Je compense avec mes yeux. • Avant d'avoir ses PA, il est déjà arrivé de foncer dans des gens en tournant parce qu'il ne les avait pas entendus.	• Savoir ce que signifient les résultats du dépistage auditif. Pas juste se faire dire "Tu vas devenir sourd dans quelques années". • Ne pas attendre d'être "barème" pour faire quelque chose. Si je ne peux pas être compensé par la CSST, je peux peut-être quand même faire des démarches. • Quand ils font des ajustements de nos PA dans le bureau, ça marche bien mais quand on retourne au travail le lendemain, ça ne convient plus. • Est-ce qu'on pourrait avoir un appareil en essai qu'on pourrait ajuster nous-mêmes de façon qui nous convient et après on pourrait sauvegarder ces ajustements ? • Connaître davantage les possibilités des PA et leurs options.

ANNEXE C - RISQUE D'AGGRAVATION DE LA SURDITÉ

C.1 Évidence de risque d'aggravation de la surdité lors du port de prothèses auditives

Est-ce que le port de prothèses auditives peut entraîner une détérioration de l'audition résiduelle? Voilà une question qui se pose depuis plusieurs décennies et dont la réponse ne fait pas l'unanimité dans les articles scientifiques. Cette absence de consensus a été soulignée il y a plus de 40 ans par Markides (1971), dans une revue de la littérature sur cette problématique. En fait, des résultats contradictoires ont été répertoriés dans les articles qui présentent des données sur la surveillance audiométrique de l'audition, majoritairement chez des groupes d'individus.

Les auteurs se sont intéressés à l'évolution des seuils auditifs dans le temps, soit en comparant un audiogramme initial à l'audiogramme le plus récent, soit en comparant les seuils mesurés à divers moments dans le temps, et ont, par la suite, quantifié le changement noté à l'oreille appareillée comparativement à l'oreille non appareillée. Quoique plusieurs auteurs rapportent une détérioration des seuils auditifs significativement plus élevée à l'oreille appareillée qu'à l'oreille non appareillée (Macrae et Farrant, 1965; Ross et Lerman, 1967; Macrae, 1968c; Reilly et coll., 1981), les résultats d'autres études ne supportent pas cette conclusion ou sont moins concluants (Naunton, 1957; Roberts, 1970; Markides, 1976; Darbyshire, 1976; Titche et coll., 1977; Podoshin et coll., 1984).

À l'exception de quelques articles (Naunton 1957; Titche et coll., 1977; Podoshin et coll., 1984), la population à l'étude était majoritairement des enfants avec une perte auditive neurosensorielle importante (de divers degrés variant typiquement de modéré à profond). L'appareillage en monaural était privilégié et permettait à l'oreille non appareillée de servir de contrôle lors des comparaisons de la détérioration des seuils entre les deux oreilles, sur diverses périodes de temps. Il est à noter que les prothèses auditives investiguées étaient pour la plupart des prothèses analogiques linéaires et incluaient rarement des circuits permettant de limiter la sortie maximale (par exemple les circuits avec contrôle automatique du volume). Pour diverses raisons, les résultats de ces études ne sont pas généralisables à la population d'intérêt dans cette étude, soit les travailleurs porteurs de prothèses auditives en milieu bruyant. En effet, il est raisonnable de croire que cette population est différente de celle des études répertoriées ci-dessus à plusieurs égards. Tout d'abord, on peut supposer que la perte auditive des travailleurs est moins importante. En effet, si on se fie aux prédictions de la norme ISO 1999 (1990) sur l'estimation du risque d'atteinte auditive due au bruit, il est peu probable que les seuils d'audition atteignent un degré de perte auditive sévère à profond chez un travailleur typiquement exposé à des niveaux sonores inférieurs à 100 dBA pendant 8 h, même lorsque l'effet d'âge est pris en compte. Quoiqu'une composante personnelle puisse s'ajouter aux effets du bruit chez certains travailleurs, le degré de perte auditive généralement associé à la surdité professionnelle nécessiterait alors, dans la majorité des cas, des niveaux moins élevés d'amplification (gain) par les prothèses auditives. Ensuite, les niveaux sonores auxquels ils sont exposés dans les milieux de travail bruyants sont potentiellement plus élevés que ceux qui caractérisent les ambiances sonores typiques des enfants. De plus, l'appareillage bilatéral est maintenant davantage privilégié. Finalement, la technologie des prothèses auditives a beaucoup évolué depuis la publication de plusieurs des articles abordés plus haut, datant des années 1960-1990.

C.2 Méthodes d'évaluation du risque d'aggravation de la surdité lors du port de prothèses auditives

C.2.1 Méthode d'évaluation du risque applicable à des groupes

Malgré le manque de consensus dans les résultats issus des travaux résumés dans le volet 2 du rapport, on peut toutefois s'intéresser à la méthode d'évaluation du risque utilisée par certains auteurs lors de travaux menés sur des groupes d'individus, soit la surveillance audiométrique, afin de déterminer si cette méthode peut présenter un intérêt pour la présente étude. Malgré sa simplicité et l'utilisation d'équipements cliniques faciles d'accès, plusieurs lacunes sont associées à cette méthode. On note tout d'abord qu'une analyse sur des données de groupe peut facilement noyer des différences importantes au niveau individuel (Hawkins, 1982). Il est ainsi possible que l'audition d'un individu ait connu une détérioration importante alors que les résultats rapportés sur son groupe de référence ne montrent pas d'altération significative. Dans le même ordre d'idées, les changements dans les seuils rapportés dans plusieurs de ces études sont souvent moyennés sur une étendue de fréquences et ne permettent pas de mettre en évidence une détérioration à des fréquences particulières qui sont potentiellement plus sensibles à une exposition au bruit. De plus, dans plusieurs cas, les résultats d'une évaluation de l'audition préamplification ne sont pas disponibles pour fins de comparaison et l'analyse porte alors sur le premier audiogramme valide qui soit disponible au dossier; l'intervalle entre ce dernier et le moment de l'appareillage n'est souvent pas spécifié. On peut ainsi se questionner sur la présence potentielle d'une détérioration des seuils avant même le début des mesures audiométriques rapportées. Par exemple, si le premier audiogramme valide a été obtenu un an post-appareillage et l'audiogramme final deux ans plus tard, n'est-il pas possible qu'une détérioration importante ait déjà eu lieu alors que la comparaison pré-post ne révèle aucune différence significative de l'audition?

Par ailleurs, la durée d'utilisation de la prothèse entre le premier et le dernier audiogramme utilisé pour l'analyse est souvent très variable d'un participant à l'autre, pouvant s'étendre de quelques mois à plusieurs années, voire une dizaine d'années. Pourtant, il est raisonnable de penser que la détérioration puisse varier en fonction de la durée et de la fréquence d'utilisation de la prothèse auditive, de façon similaire au phénomène de l'acquisition de la perte auditive causée par l'exposition au bruit (ISO1999: 1990). Cette détérioration de l'audition associée au port de la prothèse auditive pourrait se développer plus rapidement au cours des premières années d'utilisation et devenir plus importante au fur et à mesure que la période de port se prolonge. Plus la durée d'utilisation est importante, plus grandes sont les possibilités que les paramètres de la prothèse auditive, voire la prothèse elle-même, aient changés au cours de l'étude. Ces facteurs pourraient potentiellement influencer aussi les résultats.

D'autres facteurs importants susceptibles d'avoir un effet significatif sur la détérioration de l'audition, notamment la sortie maximale de la prothèse, le gain de la prothèse, le volume auquel la prothèse est réglée, la présence d'un algorithme de réduction de bruit (et d'autres paramètres), ainsi que la nature et le degré initial de la perte, sont peu documentés ou contrôlés dans ces études de groupe. Pourtant, certains auteurs (p. ex. : Macrae et Farrant, 1965; Macrae, 1968b; De Vitto & Cruz, 2001) ont démontré une corrélation positive entre le degré de détérioration de l'audition à l'oreille appareillée et la sortie maximale et/ou le gain de la prothèse, ainsi que le volume utilisé, et une corrélation négative entre le degré de détérioration à l'oreille appareillée et

les seuils auditifs au moment de l'appareillage, une perte auditive initiale plus prononcée étant associée à une détérioration moins importante. Finalement, malgré que la perte auditive dans ces études était majoritairement de nature neurosensorielle, 60 % des adultes examinés dans l'article de Naunton (1957) avaient une perte conductive ou mixte, ces types de perte étant possiblement moins sujette aux effets d'une exposition à des niveaux sonores élevés que les pertes neurosensorielles (Glorig et coll., 1961; Sataloff et coll., 1962; Chung, 1978; Humes, 1984; Humes et Jesteadt, 1991).

C.2.2 Méthodes d'évaluation du risque applicables aux individus

Comme indiqué plus haut, les données de groupe peuvent noyer une détérioration significative chez un individu en particulier (Hawkins, 1982). Dans le cadre de la présente étude, nous sommes davantage concernés par la détérioration auditive au niveau individuel que celle notée dans des groupes d'utilisateurs de prothèses. Dans la littérature, plusieurs méthodes d'évaluation du risque d'aggravation individuel applicables aux porteurs de prothèses auditives sont répertoriées, soit : 1) la surveillance audiométrique individuelle, incluant la mesure du décalage permanent des seuils d'audition, la mesure du décalage temporaire des seuils d'audition, et la mesure des émissions otoacoustiques; 2) l'estimation des niveaux d'exposition au bruit ($L_{ex, 8h}$) par l'entremise de dosimétrie, de mesures avec un coupleur ou un mannequin acoustique et de mesures étymotiques et 3) les modèles prédictifs. Les pages suivantes font état de ces différentes méthodes d'évaluation du risque et résument certains travaux pertinents.

C.2.2.1 Surveillance audiométrique individuelle

C.2.2.1.1 Surveillance audiométrique par mesure du décalage permanent des seuils d'audition

Tout comme dans les études de groupe, les seuils auditifs mesurés à divers moments peuvent être comparés afin de déterminer si une baisse d'audition à l'oreille appareillée peut être attribuée, du moins en partie, à une suramplification. Ross et Truex (1965) présentent le cas de deux enfants chez qui on note, dans le temps, une dégradation significative de l'oreille appareillée, mais pas de l'oreille non appareillée (détérioration d'environ 25-35 dB sur l'ensemble des fréquences dans le premier cas), après l'utilisation d'une prothèse à sortie maximale élevée. Quoiqu'aucune analyse statistique n'ait été effectuée, le critère de 10 dB a été utilisé pour déterminer une différence significative entre les seuils mesurés à divers moments, dans le temps, aux deux oreilles.

Roberts (1970) décrit également le cas d'un jeune garçon de cinq ans chez qui une chute de 50 dB sur les hautes fréquences a été notée pour l'oreille appareillée comparativement à 10 dB seulement pour l'oreille non appareillée, après environ trois ans d'utilisation d'une prothèse. Comme dans plusieurs cas, les paramètres de la prothèse utilisée ne sont pas décrits, et plusieurs autres détails méthodologiques sont absents.

Hawkins (1982) présente le cas d'une adulte chez qui on a mesuré une détérioration de 30-45 dB sur l'ensemble des fréquences de l'oreille appareillée, comparativement à une baisse de sensibilité de 15 dB à 1000 Hz et de 10 dB à 2000 Hz de l'oreille non appareillée sur une période de 10 ans. Le gain et la sortie maximale des prothèses utilisées sur cette période de temps ont été

spécifiés. Par contre, le moment précis de l'introduction d'une seconde prothèse (appareillage bilatéral) n'est pas indiqué, malgré que l'analyse s'étende au-delà de cette période, et un trauma acoustique est également survenu à un moment précis durant la période d'analyse.

Finalement, Heffernan & Simons (1979) présentent le cas de deux enfants chez qui on a noté, après sept mois (cas 1) et après un an (cas 2), une stabilité dans les seuils de l'oreille non appareillée et une détérioration temporaire de la sensibilité auditive de l'oreille appareillée (5-25 dB dans le premier cas et 20-35 dB dans le second cas), réversible après 14 jours de non-utilisation des prothèses auditives. Par ailleurs, à la suite de l'introduction de nouveaux appareils avec une sortie maximale et un gain plus faible, l'audition est demeurée stable. La méthode utilisée par ces derniers auteurs, soit la mesure de seuils sur une courte période de temps, suivie d'une période de repos auditif, a permis de mettre en évidence un décalage temporaire réversible des seuils d'audition.

Des données sur le décalage permanent des seuils de l'oreille appareillée ont également été utilisées par Macrae (1991a; 1996) chez des enfants porteurs de prothèses auditives puissantes. Dans un premier cas, le décalage permanent des seuils de l'oreille appareillée chez huit enfants a été comparé au décalage prédit par un modèle mathématique qui prend en considération les niveaux d'exposition au bruit estimés. Dans cette étude, Macrae (1991a) a validé le modèle (décrit ci-dessous) en démontrant que le décalage qu'il prédisait n'était pas statistiquement différent de celui mesuré. Dans un second temps, Macrae (1996) a utilisé le modèle validé afin de déterminer, dans deux cas indépendants, si un décalage permanent de l'audition pouvait être attribué à une suramplification plutôt qu'à d'autres facteurs. Dans les deux cas, le décalage observé était nettement supérieur au décalage prédit et il a ainsi été attribué à une probable perte progressive héréditaire dans le premier cas et à une fistule dans le second cas.

Quoique la comparaison d'audiogrammes puisse être utilisée à un niveau individuel pour documenter le risque d'aggravation de l'audition, plusieurs faiblesses semblent associées à cette approche et méritent d'être signalées. Certaines de ces faiblesses s'appliquent également à la surveillance audiométrique de l'audition couramment utilisée dans le cadre des programmes de prévention de la perte auditive dans les milieux de travail bruyants. Premièrement, en raison de l'erreur de mesure (typiquement +/- 5 dB en milieu clinique contrôlé), un changement supérieur à 10 dB dans les seuils doit être obtenu afin de déclarer la différence significative. Un certain dommage auditif irréversible, même léger, est alors possible avant même que la différence soit significative au niveau des seuils auditifs mesurés. Si le but de l'intervention est de s'assurer de ne pas engendrer de détérioration, si minime soit-elle, l'objectif ne serait pas atteint dans un tel cas. Deuxièmement, tout comme dans les études de groupe, un audiogramme valide n'est pas toujours disponible avant l'amplification. Troisièmement, dans la plupart des études qui ont utilisé une évaluation des seuils auditifs, les auteurs comparaient le changement noté dans le cas de l'oreille appareillée alors que l'oreille non appareillée servait de contrôle. Au cours des dernières années, l'appareillage bilatéral a connu un grand essor, au point qu'il est maintenant privilégié et que l'appareillage monaural est même déconseillé (sauf dans certains cas spécifiques). Lorsqu'un individu utilise deux prothèses auditives, on perd alors la possibilité qu'une oreille puisse servir de contrôle; il devient alors difficile de départager l'effet de l'amplification auditive sur l'audition de celui d'autres facteurs qui peuvent affecter également les deux oreilles (p. ex. : la maladie, la détérioration spontanée de l'audition, la progression de la perte avec l'âge et les pertes progressives). Finalement, si une seule des deux oreilles

appareillées subit une détérioration, on doit prendre en considération des facteurs tels qu'une sensibilité à l'amplification plus accrue dans une oreille ou un environnement de travail où l'exposition sonore des deux oreilles est différente (par exemple une exposition sonore plus prononcée à l'oreille gauche dans le cas d'un policier qui conduit son véhicule avec la fenêtre du conducteur ouverte).

Enfin, on se doit de noter que d'autres facteurs doivent normalement être pris en considération et contrôlés lors des mesures audiométriques répétées dans le temps, soit la conformité aux normes en vigueur en ce qui concerne le dispositif de mesure utilisé (étalonnage des équipements et type d'équipements utilisés, mesures de bruit de fond dans la salle de mesure, etc.), la préparation de l'individu à l'évaluation (le repos auditif, l'examen du conduit auditif externe, les instructions données, la pose des écouteurs, etc.), la méthode utilisée pour la mesure des seuils auditifs, la réalisation ou non de l'examen tympanométrique, le biais de réponse de l'individu, le biais de l'examineur, les conditions acoustiques lors de l'examen telles que le niveau de bruit ambiant, etc. Le recours aux mesures des seuils auditifs pour déterminer le risque de suramplification demande donc un contrôle très rigoureux de tous ces facteurs.

C.2.2.1.2 Surveillance audiométrique par mesure du décalage temporaire des seuils d'audition

Une seconde approche qui utilise la surveillance audiométrique des seuils d'audition est celle de la mesure du décalage temporaire des seuils (DTS). Dans une étude pilote, Macrae (1968a,b) a mesuré à plusieurs reprises au cours d'une même journée et pendant quelques jours, les seuils auditifs mesurés à l'oreille appareillée de quatre enfants qui utilisaient des prothèses auditives puissantes en milieu scolaire. Une première mesure des seuils de chaque enfant avait été effectuée en fin de journée (15 h) le vendredi après-midi et la prothèse auditive n'était pas utilisée au cours de la fin de semaine. L'audition a de nouveau été évaluée le lundi matin à 9 h 30, après quoi la prothèse a été utilisée en salle de classe et en période de jeu, et ce, jusqu'à 13 h. L'audition a été évaluée à plusieurs reprises, soit avant (11 h), tout de suite après (13 h) et quelque temps après (14 et 15 h) une période de non-utilisation de la prothèse. Les résultats démontrent une amélioration des seuils entre 15 h le vendredi après-midi et 9 h 30 le lundi matin, une détérioration des seuils mesurés à l'oreille appareillée sur une large plage fréquentielle lors de l'utilisation de la prothèse de 9 h 30 à 11 h, et un rétablissement graduel des seuils par la suite, similaire au taux de rétablissement lent rencontré chez les personnes dont l'audition est normale. Des mesures avaient également été effectuées à l'aide d'un analyseur de prothèses auditives afin de quantifier le gain des prothèses sur une base individuelle.

Malgré des lacunes méthodologiques (faible nombre de sujets, aucune description de l'environnement dans lequel les seuils ont été mesurés, population d'enfants vs population d'intérêt pour la présente étude, absence d'analyses statistiques, etc.), la méthode utilisée peut être qualifiée de bonne pour ce genre d'approche. En effet, elle permet d'établir un lien causal clair entre la détérioration des seuils et l'utilisation de prothèses auditives puissantes puisqu'on note une récupération des seuils suivant une période de non-utilisation. De plus, cette méthode pourrait être adéquate dans le cas d'un appareillage bilatéral puisque l'on compare non pas l'audition de l'oreille appareillée et de l'oreille non appareillée, mais l'audition avant et après de courtes périodes d'utilisation des prothèses auditives.

Une mesure des seuils sur de courtes périodes de temps a également été utilisée par Macrae (1993, 1994a) chez des étudiants porteurs de prothèses auditives puissantes pour documenter le décalage temporaire des seuils auditifs de chaque individu après une exposition (utilisation de prothèses auditives) de quatre heures (Macrae, 1993) ou de 4,1 à 6,7 heures (Macrae, 1994a). Ces mesures, combinées avec des mesures de dosimétrie (pour documenter l'exposition sonore) et des mesures du gain de l'appareil (mesures étymotiques), ont permis de valider les capacités d'un modèle mathématique à prédire le décalage temporaire des seuils mesurés chez un (Macrae, 1993) ou quelques étudiants (Macrae, 1994a). Les modèles prédictifs utilisés par Macrae seront abordés à la section C.2.2.3.2.

Cependant, il est à noter que la méthode de mesure de seuils sur de courtes périodes décrite ci-dessus se distingue des approches typiques de la mesure du DTS dans lesquelles des mesures de seuils se font à des moments précis, par exemple deux minutes après l'arrêt de la source de bruit ou de l'amplification. Cette mesure, le DTS-2, est l'indice le plus souvent utilisé pour prédire ou quantifier le risque d'un décalage permanent. De Vitto et Cruz (2001) ont justement utilisé l'indice DTS-2 dans leur étude auprès de 27 nouveaux usagers d'amplification monaurale avec prothèse analogique, âgés entre 8 et 49 ans, qui avaient une perte auditive neurosensorielle de degré modéré à sévère. La plus grande période d'utilisation d'amplification s'élevait à six mois avant le début de l'étude. Dans cette étude, une mesure des seuils auditifs a été effectuée tôt le matin, avant l'utilisation de la prothèse auditive (mesure préexposition), deux minutes après une exposition d'environ sept heures à un bruit de bande large intermittent de 78,8 dBA dans une salle d'attente (mesure postexposition ou DTS-2), et le lendemain matin après une période de 14 heures de repos auditif (mesure postrepos) sans utilisation de la prothèse auditive. La courbe de réponse de l'oreille avec la prothèse en place a également été évaluée et l'exposition au bruit dans la salle d'attente a été estimée par dosimétrie. Dans l'ensemble, on note pour l'oreille appareillée une augmentation (détérioration) des seuils auditifs entre la mesure préexposition et la mesure du DTS-2, et une amélioration subséquente entre la mesure du DTS-2 et la mesure effectuée le lendemain matin, ces différences étant significatives à certaines fréquences. Quoique des mesures étymotiques et des mesures d'exposition sonore par dosimétrie aient été effectuées, les auteurs n'ont pas tenté d'estimer les niveaux réels d'exposition sonore en prenant en considération l'amplification offerte par la prothèse auditive ni de comparer de tels niveaux d'exposition aux limites permises établies par divers organismes réglementaires. Les mesures étymotiques ont seulement été utilisées pour tenter d'établir des corrélations entre deux paramètres d'amplification de la prothèse auditive, soit la réponse entrée/sortie et la mesure *in situ* du gain appareillé (*real-ear aided gain*), et la quantité de décalage notée dans les seuils auditifs.

Malgré qu'une telle approche (mesure du DTS-2) puisse s'avérer intéressante, plusieurs lacunes peuvent être constatées dans l'article de De Vitto et Cruz (2001). Premièrement, on ne rapporte aucunement les conditions d'exposition sonore le soir avant la mesure préexposition ou encore le soir avant la mesure postrepos. La durée du repos auditif avant la première mesure n'est également pas mentionnée. Aussi, les seuils mesurés aux divers moments ont été moyennés sur l'ensemble des individus à chaque fréquence audiométrique testée, pouvant ainsi noyer des différences individuelles ou un décalage temporaire des seuils importants chez certains individus. Pour fins de reproductibilité de l'étude et de compréhension de la méthodologie, l'article est très peu descriptif, surtout en ce qui concerne l'exposition sonore dans la salle d'attente. On ne rapporte aucunement un indice de variabilité test-retest qui permettrait d'indiquer qu'un décalage

mesuré est significatif ou non. Il est, par ailleurs, beaucoup plus difficile de générer un DTS dans une oreille plus atteinte comparativement à une oreille normale ou à une oreille avec perte auditive moins importante. L'article compare pourtant le DTS-2 de l'oreille appareillée, qui est également la meilleure oreille, au DTS-2 de la pire oreille non appareillée. Finalement, l'article ne fournit aucune information sur les niveaux sonores équivalents champ libre pour l'oreille appareillée alors que cette information s'avère très utile pour établir le risque de dommage auditif lié à l'exposition à des niveaux sonores élevés.

D'autres difficultés liées à l'utilisation d'une telle approche en milieu de travail bruyant peuvent être évoquées, en plus de certains facteurs énumérés au dernier paragraphe de la section C.2.2.1.1 portant sur la mesure du décalage permanent des seuils. Entre autres, il pourrait s'avérer difficile, voire impossible, de mesurer les seuils auditifs à des moments précis tels que l'indice DTS-2, tout en assurant des conditions de mesure adéquates et reproductibles, d'autant plus que des mesures préexposition (avant le quart de travail) doivent être faites.

C.2.2.1.3 Surveillance audiométrique par mesure des émissions otoacoustiques

Tout comme le décalage des seuils auditifs, la disparition ou une modification des émissions otoacoustiques peuvent également signaler l'apparition d'un dommage aux structures du système auditif, particulièrement aux cellules ciliées externes qui sont, par ailleurs, les plus sensibles à un dommage consécutif à une exposition à des niveaux sonores élevés ou à des produits ototoxiques (Dancer et coll., 1990).

Lors d'une étude de cas auprès d'une fillette âgée de deux ans avec neuropathie auditive accompagnée d'une perte auditive bilatérale, Kundu et Rout (2010) ont évalué l'impact de l'utilisation d'une prothèse auditive conventionnelle puissante sur les émissions otoacoustiques. Lors d'une première évaluation auditive, la perte était de degré modérément-sévère lors de l'audiométrie par observation, les émissions otoacoustiques par produits de distorsion étaient présentes alors que l'onde V était absente pour la mesure des potentiels auditifs évoqués du tronc cérébral, ces deux derniers résultats étant indicatifs d'une neuropathie auditive. Un appareillage auditif a alors été recommandé. Sur la base des résultats obtenus lors d'une réévaluation un an plus tard, soit un échec au test des émissions otoacoustiques et une perte auditive de degré modérément-sévère à sévère, une période de deux semaines sans amplification a été recommandée, après quoi les émissions otoacoustiques étaient rétablies suffisamment pour permettre une réussite au test. Les auteurs ont ainsi conclu qu'une prothèse auditive puissante peut entraîner une disparition des émissions otoacoustiques et qu'un suivi fréquent incluant la mesure des émissions est fortement recommandé.

Malgré que le cas de neuropathie auditive ci-haut mentionné ne s'apparente pas aux travailleurs exposés à des environnements bruyants susceptibles d'endommager leurs cellules ciliées externes, on peut questionner l'utilité de la mesure des émissions otoacoustiques pour estimer le risque d'atteinte à l'audition chez les porteurs de prothèses auditives en milieu de travail bruyant. Quelques limites en lien avec un tel outil de mesure peuvent être soulevées, la plus importante étant que les émissions otoacoustiques dépendent de l'intégrité des cellules ciliées externes et sont généralement réduites ou absentes pour les pertes auditives cochléaires supérieures à 40-60 dB HL (Collet et coll., 1989; Harris, 1990; Gorga et coll., 1997; Kemp 2002). Leur utilisation serait donc limitée à des cas d'audition normale ou à de pertes neurosensorielles de degré léger à

modéré alors qu'on peut s'attendre à des pertes plus importantes chez les travailleurs qui doivent ou choisissent de porter des prothèses auditives en milieu de travail bruyant.

Dans un rapport récemment soumis au Health and Safety Executive (HSE, 2011) par un groupe d'experts qui s'est penché sur l'utilité de la mesure des émissions otoacoustiques dans le cadre des programmes de surveillance audiométrique dans les milieux de travail bruyants, on note que : 1) pour des seuils audiométriques supérieurs à 30-40 dB une information diagnostique juste est difficile à obtenir et 2) la mesure des émissions otoacoustiques serait particulièrement utile pour la détection précoce de la perte auditive puisque des changements dans les émissions surviennent plus rapidement que des changements dans les seuils audiométriques. Par ailleurs, Cilento et coll. (2003) indiquent que l'utilisation des émissions otoacoustiques par produits de distorsion dans le cadre d'une évaluation de dépistage ou pour des fins de surveillance auditive doit prendre en considération des facteurs tels l'âge, le sexe, les seuils auditifs et l'exposition au bruit.

Pour l'évaluation des seuils auditifs, il est également important de noter qu'une cabine audiométrique est nécessaire, ce qui n'est pas le cas pour la mesure des émissions. Un milieu relativement silencieux est toutefois requis puisque le bruit de fond peut interférer avec la mesure. Tout comme la mesure des seuils auditifs, l'évaluation des émissions otoacoustiques doit se faire dans un environnement sonore contrôlé et qui est similaire d'une mesure à l'autre chez un même individu. Finalement, une corrélation n'est pas clairement établie entre un décalage des seuils auditifs et les modifications notées dans les émissions otoacoustiques à la suite d'une exposition au bruit (Müller et Janssen, 2008; Helleman et Dreschler, 2012), limitant ainsi le potentiel du test pour la surveillance d'individus à risque. Une détérioration auditive peut même parfois être accompagnée d'une augmentation locale de l'amplitude des émissions otoacoustiques plutôt que d'une réduction de la réponse (Helleman et Dreschler, 2012).

Pour toutes les raisons évoquées plus haut, la mesure des émissions otoacoustiques ne semble pas un outil optimal pour quantifier le risque de suramplification chez les travailleurs qui portent des prothèses auditives en milieu de travail bruyant.

C.2.2.2 Estimation des niveaux d'exposition au bruit ($L_{ex, 8h}$) par dosimétrie, par des mesures prises avec un coupleur ou avec un mannequin acoustique et par des mesures étymotiques

Avant de rapporter des méthodologies précises recensées dans divers articles (voir section C.2.2.2.6), une description générale des différentes approches potentiellement applicables aux prothèses auditives est essentielle. Les méthodes typiquement utilisées pour estimer les niveaux d'exposition au bruit en milieu de travail bruyant, par l'entremise d'un sonomètre ou d'un dosimètre (CSA Z107.56-13; ANSI S12.19 – 1996 R2011), ne s'appliquent pas directement aux situations où le travailleur porte une prothèse auditive ou tout autre appareil qui recouvre l'oreille ou qui bloque le conduit auditif. Dans de tels cas, les niveaux sonores dans l'oreille, sous l'appareil, doivent être mesurés ou estimés et ensuite ramenés à un équivalent champ libre ou diffus à la position du travailleur absent afin d'être comparés aux limites réglementaires, permettant ainsi d'évaluer le risque d'aggravation de l'audition comme pour toute autre source de bruit à distance du travailleur.

Giguère et coll. (2012b) font une revue exhaustive des différentes méthodes de mesure des niveaux sonores en situation d'oreille occluse et des normes à cet effet, particulièrement en ce qui concerne l'exposition sonore liée aux casques de communication et d'écoute. Les méthodes les plus directement applicables à la problématique des prothèses auditives sont l'utilisation d'un microphone dans l'oreille (méthode MIRE – Microphone in a Real Ear), d'un mannequin acoustique et d'une oreille artificielle. Dans chaque cas, les niveaux d'exposition doivent être corrigés pour obtenir leur équivalent en champ sonore (ISO 11904) et être exprimés en dBA. Ces méthodes ont récemment été intégrées à la norme canadienne sur la mesure du bruit en milieu de travail (CSA Z107.56-13) et sont décrites aux sections C.2.2.2.1 à C.2.2.2.3 ci-dessous. Par extension, quoique non traités par Giguère et coll. (2012b) et CSA Z107.56-13, les coupleurs de type HA-1 et HA-2 souvent utilisés pour l'analyse des prothèses auditives peuvent également être considérés, comme décrit à la section C.2.2.2.4. Finalement, notons que les différentes méthodes traitées ici présument que le niveau sonore mesuré au tympan est directement relié au risque d'atteinte à l'audition, que la source soit située en champ sonore à distance du travailleur (p. ex. : machine) ou placée dans l'oreille (p. ex. : écouteur). Certaines études mettent en doute cette prémisse qui sera traitée à la section C.2.2.2.5.

C.2.2.2.1 Microphone dans l'oreille

La norme ISO 11904-1 décrit la mesure des niveaux d'exposition dans l'oreille humaine à l'aide d'un microphone de mesure ou d'une sonde que l'on place dans le conduit auditif et que l'on relie à un instrument de mesure. Des mesures acoustiques effectuées en bandes de tiers d'octave à l'une de trois positions de la sonde dans l'oreille sont transformées en équivalent champ libre ou diffus (ISO 11904-1) et exprimées en dBA. Quoique les fonctions de transfert permettant cette transformation soient fournies par la norme pour trois conditions de placement du microphone (au tympan dans une oreille ouverte, à l'entrée du conduit auditif dans une oreille ouverte et à l'entrée du conduit auditif externe bloqué par l'appareil), il est possible de déterminer expérimentalement les fonctions de transfert spécifiques à chaque individu et oreille pour différentes positions du microphone. Dans le cas des prothèses auditives, le seul placement envisageable est celui du microphone au tympan.

Dans cette approche, des facteurs de correction pour la conversion en champ sonore (ISO 11904-1), en bandes de tiers d'octave, sont soustraits des valeurs mesurées au tympan. Les valeurs résultantes sont, par la suite, converties en dBA à l'aide de la norme IEC 61672-1 et additionnées de façon logarithmique afin d'obtenir une valeur correspondant au niveau d'exposition sonore en dBA. Finalement, si la réponse en fréquence du microphone de mesure n'est pas uniforme sur l'ensemble des fréquences, des corrections additionnelles sont requises.

Pour des travailleurs pris individuellement, cette méthode est la plus représentative de l'exposition sonore réellement rencontrée dans le milieu de travail, puisque le système de mesure enregistre les niveaux sonores directement dans le conduit auditif du travailleur alors qu'il effectue les diverses tâches de son travail. La méthode prend ainsi en considération toutes les sources de bruit ainsi que l'effet potentiel des réflexions sur diverses parois, et d'autres phénomènes acoustiques, sur le niveau d'exposition au bruit cumulé. Par contre, pour être applicable à des groupes de travailleurs, la mesure devrait être effectuée sur plusieurs d'entre eux afin d'estimer le niveau d'exposition moyen. Malgré sa représentativité, plusieurs désavantages sont associés à cette méthode de mesure. Celui-ci étant invasif (sonde placée près du tympan), il

pourrait limiter les déplacements et les mouvements du travailleur, l'empêchant même d'effectuer certaines tâches. Son utilisation peut donc s'avérer restreinte, voire impossible, dans certains milieux de travail, surtout sur de longues périodes et si le travailleur est continuellement en déplacement. Seuls des expérimentateurs bien formés peuvent utiliser cette approche, assurant un placement sécuritaire et adéquat du microphone ou de la sonde. En effet, un mauvais positionnement du microphone peut entraîner des erreurs importantes de calcul de l'exposition sonore et/ou s'avérer une source d'inconfort pour le travailleur. Par ailleurs, l'étalonnage des microphones miniatures ou des sondes peut s'avérer difficile. Finalement, le bruit interne du microphone ou du frottement entre la sonde et l'appareil peut interférer avec la mesure des niveaux acoustiques, tout comme le coulage acoustique dû à une étanchéité compromise par la présence d'une sonde dans le conduit auditif externe.

C.2.2.2.2 Mannequin acoustique

La norme ISO 11904-2 traite de l'utilisation d'un mannequin acoustique. Celui-ci est formé d'une oreille artificielle (coupleur 2cc + microphone), d'un pavillon flexible, d'un conduit auditif externe et d'une tête (et torse) reproduisant la géométrie et les dimensions moyennes de l'oreille humaine typique. Dans ce cas, le positionnement du microphone ne constitue pas une source d'erreur en raison de son emplacement fixe dans l'oreille simulée du mannequin, qui est placé dans le même environnement de bruit de fond que le travailleur. Un nouveau modèle muni d'un conduit auditif externe flexible est décrit dans la norme ANSI 12.42.

Tout comme pour la méthode d'utilisation d'un microphone dans le conduit auditif, des facteurs de correction pour la conversion en champ sonore (ISO 11904-2), en bandes de tiers d'octave, sont soustraits des valeurs mesurées par le microphone du mannequin. Les valeurs résultantes sont par la suite converties en dBA à l'aide de la norme IEC 61672-1 et additionnées de façon logarithmique afin d'obtenir une valeur correspondant au niveau d'exposition sonore en dBA.

Cette méthode est applicable pour estimer le niveau d'exposition des groupes de travailleurs et présente l'avantage d'être peu invasive, permettant ainsi à la personne d'œuvrer le plus librement possible dans son milieu de travail en n'étant pas contraint par des microphones placés dans les oreilles et couplés à un instrument de mesure. Cette méthode présente par contre plusieurs inconvénients, incluant l'utilisation d'équipements et d'instrumentation encombrants qui ne sont pas accessibles à tous. Puisque l'appareil (dans ce cas-ci la prothèse auditive) n'est pas porté par le travailleur, on doit s'assurer que le volume (et autres paramètres réglables) soit réglé au même niveau que ce qui est typiquement utilisé par le travailleur dans son milieu de travail. Cette contrainte pourrait s'avérer problématique dans le cas d'un travailleur qui ajuste fréquemment ses prothèses lors d'une journée typique de travail. Le couplage entre la prothèse et le mannequin risque également d'être différent de celui obtenu dans l'oreille du travailleur en raison de différences dans la géométrie et les propriétés acoustiques-mécaniques entre le travailleur et le mannequin. Des mesures répétées avec repositionnement de l'appareil sont par ailleurs fortement encouragées afin de moyenniser l'effet du placement. La norme ANSI S3.35-2010 décrit la démarche à suivre afin d'obtenir un couplage optimal entre la prothèse auditive et le mannequin. Finalement, il est important que le mannequin soit exposé au même bruit ambiant que le travailleur. Dans certains milieux de travail et pour certaines sources de bruit, l'ambiance sonore perçue par l'oreille du travailleur peut s'avérer difficile à reproduire pour l'oreille du mannequin.

C.2.2.2.3 Oreille artificielle

En raison des contraintes relatives à l'accès aux équipements spécialisés nécessaires pour faire des mesures à l'aide d'un microphone dans l'oreille ou d'un mannequin acoustique, il est parfois préférable d'utiliser une oreille artificielle.

Le simulateur d'oreille occluse IEC 60318-4 est une oreille artificielle de Type 2 (ITU-T P.57) couramment utilisée pour l'étalonnage d'appareils intra-auriculaires. Lorsque combiné à un pavillon flexible et une extension pour simuler le conduit auditif externe, il s'agit plutôt d'une oreille artificielle de Type 3.3 (ITU-T P.57) laquelle répond aux mêmes spécifications que les composantes retrouvées dans le mannequin acoustique (géométrie d'oreille, propriétés acoustiques et couplage identiques). Les mesures effectuées avec ces deux types d'oreille artificielle sont par la suite converties en équivalent champ libre ou diffus à l'aide des fonctions de transfert spécifiées dans la norme ISO 11904-2 et ensuite exprimées en dBA. Étant plus facilement accessible, moins coûteuse, plus facile à transporter et à manipuler dans l'environnement de travail qu'un mannequin acoustique, l'oreille artificielle, tout comme le mannequin, doit par contre être exposée à la même ambiance sonore que le travailleur, chose qui est parfois difficile à reproduire.

C.2.2.2.4 Coupleurs HA-1 et HA-2

Finalement, les coupleurs 2cc de type HA-1 et HA-2 typiquement utilisés pour mesurer la performance des prothèses auditives pourraient également s'avérer utiles dans des applications relatives à la mesure du bruit. Les prothèses auditives, programmées selon les paramètres généralement utilisés par le travailleur, pourraient être couplées acoustiquement au dosimètre (ou sonomètre) par l'entremise d'un coupleur HA-1 ou HA-2. Le microphone de mesure, couplé à la prothèse, devrait être porté sur l'épaule à la position prescrite pour les mesures d'exposition sonore par dosimétrie (ANSI S12.19 – 1996 R2011). Les valeurs obtenues au coupleur doivent d'abord être transformées en valeurs au tympan et être converties, dans un deuxième temps, en équivalent champ sonore, puis exprimées en dBA. Les facteurs de correction proposés au tableau 1 dans l'article de Bentler et Pavlovic (1989) sont très utiles à cet égard, particulièrement les colonnes A (conversion tympan-champ sonore), F (conversion 2cc-tympan) et G (conversion 2cc-champ sonore). La figure C1 illustre trois approches différentes d'application des facteurs de correction pour obtenir des valeurs d'exposition sonore en dBA.

Pour effectuer la transformation des valeurs obtenues avec le coupleur en valeurs s'appliquant au tympan, des facteurs de correction de groupe ou individuels peuvent être appliqués, ces derniers pouvant être déterminés par une mesure *in situ* de la différence entre le coupleur et le tympan (*real-ear-to-coupler difference*). Les mesures *in situ* de la performance des prothèses auditives sont décrites par la norme ANSI S3.46-1997 (R2007).

Quoique l'utilisation d'un tel coupleur puisse s'avérer efficace pour la mesure des niveaux d'exposition sonore sur le terrain, la procédure doit être bien établie. Un bon positionnement de la prothèse sur l'épaule est crucial pour assurer un fonctionnement optimal des microphones directionnels et éviter le frottement du microphone contre les vêtements et l'effet de Larsen.

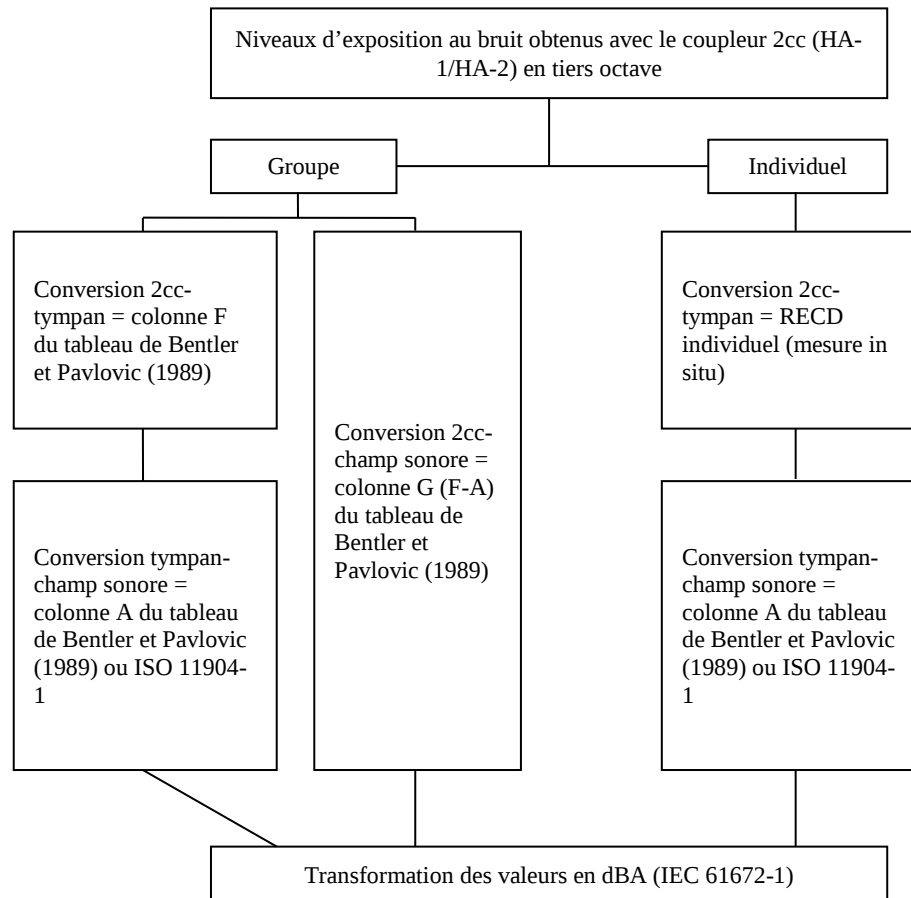


Figure C1 Différentes approches pour transformer en dBA les valeurs sonores obtenues avec un coupleur 2cc (HA-1/HA-2)

C.2.2.2.5 Validité des mesures en situation d'oreille occluse

Dans toutes les approches décrites plus haut, des mesures en tiers d'octave sont effectuées sur la durée de l'exposition, transformées en valeurs dans le champ sonore et finalement converties en dBA. On présume alors qu'un niveau sonore mesuré près du tympan, dans un conduit auditif occlus et transformé en son équivalent champ sonore est aussi nocif qu'un niveau sonore identique mesuré directement dans le champ sonore. Par contre, certains travaux mettent en doute cette présupposition. Par exemple, Keidser et coll. (2000) ont démontré que la sonie de certains sons diffère selon que les stimuli sont présentés par l'entremise d'un haut-parleur (champ sonore) ou d'une prothèse auditive (oreille occluse); le niveau du signal devant être plus élevé dans la condition d'oreille occluse que pour la condition de champ sonore afin d'atteindre le point d'égale sonie. Plus récemment, Theis et coll. (2012) ont rapporté des différences significatives en matière de risque d'exposition sonore pour une source externe (dans le champ sonore) et pour une source placée dans le conduit auditif externe (par exemple un écouteur ou une prothèse auditive). Pour un même niveau sonore mesuré près du tympan, la source externe générerait un DTS plus grand que le son émis par un écouteur. La mesure des niveaux sonores près du tympan, en présence d'une source sonore dans le conduit auditif, résulterait donc en une surestimation du niveau d'exposition au bruit. Dans le cas de l'application aux prothèses

auditives portées par des travailleurs, une telle approche serait donc plus conservatrice, mais ne valait-il pas mieux surestimer que sous-estimer le niveau d'exposition au bruit réellement reçu?

C.2.2.2.6 Études pertinentes

À la suite de cette description générale des diverses méthodes disponibles, une recension des méthodologies utilisées et des résultats rapportés dans divers articles est maintenant de mise.

En 1990, Wilde a tenté de quantifier le niveau d'exposition au bruit (ou dose équivalente) auquel des enfants avec perte profonde s'exposaient lors d'activités normales en salle de classe acoustiquement traitée dans une école pour enfants sourds. Le but de l'étude était de vérifier s'il y avait un risque d'aggravation de la perte auditive chez les enfants ayant recours à une amplification importante. Des mesures électroacoustiques ont d'abord été effectuées pour décrire la sortie maximale et le gain de deux prothèses auditives différentes de type contour d'oreille, au volume utilisé (3,5 sur un volume maximal de 4), lorsque réglées à divers niveaux de sortie maximale. La prothèse était, par la suite, couplée à un dosimètre à l'aide d'un coupleur 2cc de type HA-2 et d'un tube #13; ce système de mesure permettant de quantifier le niveau d'exposition au bruit tel qu'amplifié par la prothèse. Un second dosimètre estimait les niveaux d'exposition sonore sans amplification. Les deux dosimètres incorporent les facteurs de correction spécifiés par la norme IEC 651 pour convertir les valeurs en dBA. Des mesures ont été répétées pour chaque combinaison de modèles de prothèse et de réglage de la sortie maximale. Des mesures effectuées sur des périodes de 15-60 minutes, durant lesquelles l'expérimentateur « portait » la prothèse, ont révélé des niveaux d'exposition au bruit qui variaient entre 108 et 118 dBA, ce qui s'avère nettement supérieur à la limite réglementaire de 90 dBA pour huit heures d'exposition (L_{Aeq,8h}) mentionnée dans l'article.

Sur la base des données, l'auteur affirme que même dans une salle de classe acoustiquement traitée, un niveau d'exposition au bruit de 90 dBA/8 h peut être atteint à l'intérieur de 1-2 minutes lors du port de prothèses auditives puissantes, malgré que le niveau sonore mesuré par le second dosimètre n'ait jamais dépassé la limite réglementaire. Il est cependant difficile de déterminer comment le système de mesure était « porté » par l'individu en question (on présume sur l'épaule) et où l'expérimentateur était positionné par rapport aux sources sonores. Par ailleurs, il n'est pas explicitement rapporté que les niveaux obtenus avec le système de mesure (dosimètre + coupleur 2cc) ont été corrigés pour obtenir les niveaux sonores en équivalent champ libre (conversion 2cc-champ sonore). Puisque les auteurs utilisent la terminologie « dose équivalente » dans la discussion, on peut supposer que de telles corrections ont été effectuées. De plus, les critères de risque et les limites réglementaires sont généralement basés sur une population d'individus avec une audition normale préexposition alors qu'il est raisonnable de supposer que le décalage des seuils mesuré à la suite d'une exposition sonore quelconque sera inférieur dans le cas d'une perte auditive préexistante à une audition normale. Ce dernier point est mentionné dans l'article et les auteurs tentent de le prendre en considération en comparant leurs données à celles des travaux effectués par Humes et Bess (1981) sur l'effet d'une perte auditive préexistante sur la quantité de décalage des seuils auditifs. Finalement, on doit également noter qu'un niveau d'exposition au bruit inférieur aux limites réglementaires n'est pas sécuritaire pour tous, et que sa nocivité dépend, entre autres, de la sensibilité individuelle (Plontke et Zenner, 2004; Śliwińska-Kowalska et coll., 2006).

Dans son étude auprès de huit enfants avec perte auditive neurosensorielle, Macrae (1991a) a tenté d'estimer le niveau d'exposition au bruit pour chacun lors de l'utilisation d'une prothèse auditive, en prenant en considération les facteurs suivants : 1) les paramètres de la prothèse auditive (gain, puissance, réponse en fréquence, sortie maximale et volume utilisé par l'enfant); 2) les niveaux sonores (dB SPL) par tiers d'octave pour une ambiance typique (mesurés à l'aide d'un sonomètre intégrateur à l'intérieur d'une pièce avec les fenêtres ouvertes, donnant ainsi accès au bruit de la rue, alors que la personne en charge de la mesure conversait avec d'autres individus et portait le microphone du sonomètre près de son oreille) et 3) le nombre d'heures d'utilisation de la prothèse auditive par jour. Afin d'estimer les niveaux d'exposition sonore pour chaque enfant, Macrae a premièrement évalué les niveaux en tiers d'octave générés par la prothèse auditive dans un coupleur 2cc en additionnant le gain obtenu à diverses fréquences dans le coupleur 2 cc (au volume utilisé par l'enfant) aux niveaux tiers d'octave mesurés à l'aide du sonomètre, tout en prenant en considération la sortie maximale de la prothèse lorsqu'approprié. Ces valeurs ont par la suite été corrigées à l'aide d'un facteur de correction moyen (conversion 2cc-étymotique) pour estimer les niveaux réellement générés dans l'oreille de chaque enfant. Ces niveaux mesurés au tympan ont finalement servi à calculer le niveau LAeq global équivalent et les niveaux par bande d'octaves équivalents générés par la prothèse dans l'oreille de chaque enfant. Il n'est cependant pas évident qu'une correction des niveaux ait été effectuée pour produire des niveaux sonores équivalents en champ libre ou que cette correction est nécessaire dans le modèle mathématique (voir section C.2.2.3.2) utilisé par l'auteur pour prédire le décalage attendu (la correction ne serait pas nécessaire si les valeurs de risque exprimées en équivalent champ sonore sont transformées en valeurs s'appliquant au tympan dans le modèle prédictif).

Dans leur article, De Vitto & Cruz (2001) ont également effectué des mesures étymotiques *in situ* du gain appareillé (*real-ear aided gain*) et de la fonction entrée-sortie de la prothèse auditive, en plus d'estimer le niveau d'entrée à la prothèse auditive à l'aide d'un dosimètre avec le microphone placé le plus près possible de la prothèse. Par contre, il est curieux que les auteurs n'aient pas utilisé de telles données pour calculer des niveaux réels d'exposition au bruit. Ils se sont plutôt contentés d'évaluer le niveau sonore d'entrée aux prothèses auditives seulement, sans rapporter de valeurs d'exposition sonore s'appliquant au tympan ou leurs équivalents champ libre.

En ce qui concerne plus particulièrement la population d'intérêt visée par cette étude, soit les travailleurs en milieu bruyant, seules quelques études ont tenté de déterminer le risque associé au port de prothèses auditives en prenant en considération les niveaux d'exposition au bruit au travail. Dans une première étude, Dolan & Maurer (1996) ont investigué, à l'aide de mesures prises en laboratoire et sur le terrain, la possibilité qu'une exposition conforme aux limites réglementaires selon l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA) (1983), soit un niveau d'exposition au bruit maximal de 90 dBA (Q=5 dB), puisse être amplifiée à des niveaux hors-norme lors du port de prothèses auditives en milieu de travail bruyant, ainsi que dans des environnements sonores non professionnels.

Pour les mesures en laboratoire, des enregistrements effectués à l'aide d'une enregistreuse numérique dans deux environnements de travail pour lesquels le niveau d'exposition au bruit d'exposition ne dépassait pas 85 dBA (cabine d'un train et usine de pompes hydrauliques) ont été recréés dans une salle acoustique et la sortie de différentes prothèses auditives (gain faible, moyen et élevé) en mode linéaire (sans compression) a été mesurée à l'aide d'une tête artificielle

B&K 4128 (mannequin acoustique), placée à 1 m directement devant le haut-parleur utilisé pour générer le bruit. Un égaliseur de fréquences a permis de corriger la réponse en fréquence de la tête artificielle, la rendant plus uniforme en fréquences et ainsi plus similaire à celle des microphones typiquement utilisés en dosimétrie. De cette façon, les valeurs mesurées peuvent être plus directement comparables aux valeurs d'exposition en champ sonore recommandées par l'OSHA. Des mesures non appareillées ont également été obtenues à l'aide d'un microphone placé sur l'épaule du mannequin, à 15 cm de la conque. Le niveau d'exposition au bruit non appareillé (niveaux sonores ambiants projetés sur une période de huit heures) s'élevait à 79,7 et 77,8 dBA pour le bruit de train et d'usine respectivement. Pour les trois types de prothèses auditives, le niveau d'exposition au bruit calculé était de 92,1, 99,9, 115 dBA pour le bruit de train et 86,6, 107,9 et 113,1 pour le bruit d'usine. Ainsi, à l'exception d'une seule condition, le bruit ambiant était amplifié par les prothèses auditives à des niveaux supérieurs à la recommandation établie par l'OSHA.

Pour les mesures sur le terrain, chaque prothèse auditive a été couplée acoustiquement au microphone d'un dosimètre par l'entremise d'un coupleur HA-1 2cc et du matériel d'impression pour garder la prothèse auditive ou le moule de la prothèse en place. Un second dosimètre, également porté sur l'épaule du sujet lors des mesures dans une usine pendant trois quarts de travail de huit heures, enregistrait simultanément les niveaux ambiants. Le niveau d'exposition au bruit s'élevait entre 82,6 et 84,1 dBA sans prothèses auditives et dépassait une dose de 90 dBA avec toutes les prothèses auditives (91,8, 104,6 et 115,4 dBA). Par contre, les auteurs ne font nulle mention explicite que les valeurs mesurées avec le système de mesure dosimètre + coupleur + prothèse auditive ont été corrigées en équivalent champ sonore pour fins de comparaison aux valeurs mesurées à l'aide du second dosimètre et aux valeurs de l'OSHA.

Dolan & Maurer (1996) concluent que, dans un milieu de travail bruyant qui respecte les limites réglementaires établies par l'OSHA, les niveaux d'exposition au bruit amplifiés peuvent dépasser 90 dBA, même avec le port d'une prothèse à faible gain. En utilisant encore une fois l'approche par dosimètre, un niveau d'exposition au bruit a également été calculé lors du port de prothèses auditives dans divers environnements non industriels, soit lors d'une rencontre familiale (63,1 dBA sans et 103,4 dBA avec prothèses à haut gain [gain moyen = 41,3 dB]), lors d'activités quotidiennes non bruyantes (61,3 dBA sans et 88 dBA avec prothèses à gain moyen [gain moyen = 31,5 dB]) et lors d'activités quotidiennes bruyantes (75,7 dBA sans et 101,1 dBA avec prothèses à haut gain [gain moyen = 41,3 dB]). Selon les auteurs, le port de prothèses auditives peut ainsi mener à des doses élevées, même en présence de bruits non industriels typiques d'activités quotidiennes. Finalement, des mesures additionnelles en laboratoire avec le bruit de train ont été effectuées afin de quantifier l'effet d'une modification de certains paramètres d'une prothèse auditive à haut gain munie d'un circuit de contrôle automatique du gain (AGC). Lorsque le circuit AGC est désactivé et que la réponse en fréquences est la plus large possible, un niveau d'exposition au bruit de 115 dBA est obtenu. Cette dose peut cependant être diminuée à 104,3 dBA en activant au maximum le circuit AGC et en ajustant le contrôle de fréquences pour réduire le plus possible les basses fréquences, ce qui amène la prothèse à opérer moins souvent dans un état de saturation. Finalement, en diminuant de moitié le volume par rapport à cette dernière condition, la dose est réduite à 54,1 dBA et la saturation est absente.

Les résultats semblent donc démontrer que le niveau d'exposition au bruit d'un travailleur pourrait être réduit significativement par l'utilisation d'un circuit AGC, la réduction de la

réponse en fréquence de la prothèse et la diminution du volume. Enfin, les auteurs ont démontré qu'une prothèse auditive désactivée, dont l'embout occlut le conduit auditif de la tête artificielle du mannequin B&K 4128, permet de réduire les niveaux sonores d'environ 20 dB. Il semble donc qu'en mode passif, la prothèse pourrait agir comme un protecteur auditif. Les résultats de cette étude démontrent que les niveaux recommandés peuvent être dépassés lors du port de prothèses auditives, tant dans des milieux de travail que dans des environnements quotidiens. Les auteurs émettent par contre une mise en garde en indiquant que les prothèses auditives sont souvent portées sur des périodes de plus de huit heures, exposant ainsi les utilisateurs à des doses potentiellement plus importantes. Ils ajoutent que les critères de risque couramment utilisés sont basés sur une audition normale et ne peuvent ainsi être appliqués directement aux gens qui ont une perte auditive. De plus, un seul critère ne peut s'appliquer à tous les utilisateurs de prothèses auditives étant donné que le risque d'un décalage temporaire du seuil (DTS) ou d'un décalage permanent du seuil (DPS) dépendrait du degré de la perte auditive préexistante.

Dans une seconde étude, Dolan & Wonderlick, (2000) ont comparé l'effet de trois systèmes de compression (compression limitative, compression sur les basses fréquences seulement – BILL et compression sur les hautes fréquences seulement – TILL) sur le niveau d'exposition au bruit d'exposition et l'intelligibilité de la parole de 13 individus avec perte auditive sur les hautes fréquences lors de l'utilisation d'une prothèse auditive numérique programmée selon les trois modes de compression et portée dans la meilleure oreille. Afin d'estimer le niveau d'exposition au bruit, une approche similaire à celle de Dolan & Maurer (1996) a été utilisée, soit une prothèse acoustiquement couplée au microphone d'un dosimètre par l'entremise d'un coupleur HA-2 et déposée sur l'épaule d'une tête artificielle à un emplacement typiquement observé lors du monitoring des niveaux sonores par dosimétrie dans les milieux de travail (soit à 15 cm de la conque). Lors de ces dernières mesures, le gain de la prothèse était ajusté selon les valeurs prescrites pour l'audiogramme moyen des individus. La dose obtenue dans les diverses conditions de compression s'élevait à 104 dBA pour la compression limitative et pour BILL, et à 94 dBA pour TILL. La dose élevée pour la compression limitative peut être expliquée par un seuil de compression élevé. Selon les résultats de l'étude, le système TILL semble plus avantageux pour réduire la dose tout en permettant une intelligibilité similaire à celle d'un système qui opère de façon typiquement linéaire. Quoique cette affirmation puisse être controversée, ce groupe de chercheurs note à nouveau qu'un niveau d'exposition au bruit qui dépasse 90 dBA ne représente pas nécessairement un danger pour l'audition d'individus avec perte auditive, puisque les critères de risque couramment utilisés sont typiquement basés sur une audition normale, et que des appareils bien ajustés sont généralement considérés sécuritaires. Il recommande par contre l'évaluation des seuils auditifs du travailleur avant et après la journée de travail afin d'identifier la présence d'un décalage temporaire des seuils, et le cas échéant, il suggère l'utilisation de protecteurs auditifs.

En 2006, Paré a mesuré simultanément les niveaux sonores au tympan (avec sonde dans le conduit auditif) et à l'entrée du conduit auditif, à l'aide d'un analyseur de prothèses auditives (Audioscan), chez un opérateur de concasseur dans une carrière, qui porte des prothèses auditives de style pleine conque, avec un algorithme de réduction du bruit activé. Le niveau d'exposition au bruit réellement cumulé par le travailleur n'a pu être calculé en l'absence de facteurs de correction permettant de transformer les niveaux sonores mesurés près du tympan en équivalent champ libre. Bien que les prothèses auditives semblent contribuer à une augmentation des niveaux d'exposition sonore, même en dépit d'un réducteur de bruit activé, l'auteure

reconnaît ne pouvoir se prononcer sur le risque associé au port de prothèses auditives en milieu bruyant en comparant directement les niveaux sonores mesurés près du tympan aux limites d'exposition sécuritaires basées sur des mesures en champ sonore. Certaines autres limites dans l'utilisation d'un tel système de mesure ont été soulignées par l'auteure, soit que la durée du balayage en fréquences limite son utilité à des bruits d'une durée suffisamment longue, soit que le système ne peut pas être utilisé dans des environnements complexes ou dans lesquels le travailleur est tenu de se déplacer fréquemment.

C.2.2.3 Les modèles prédictifs

Afin d'évaluer le risque d'aggravation de la surdité chez des utilisateurs de prothèses auditives, certains auteurs ont eu recours à des modèles mathématiques, soit pour prédire les niveaux d'exposition sonore ou pour prédire la détérioration des seuils auditifs.

C.2.2.3.1 Prédiction de l'exposition sonore

Verbsky (2002, 2003, 2004) a développé une méthode qui est une extension de la méthode par bande d'octaves pour prédire le niveau sonore sous les protecteurs auditifs (p. ex. : CSA Z94.2-F14) applicable aux aides auditives avec et sans protecteurs. Elle a exploré l'utilisation, en milieu de travail bruyant, d'une prothèse active en combinaison avec un protecteur de type coquille. Elle discute d'un modèle quantitatif permettant de prédire les niveaux de gain de la prothèse auditive qui sont considérés sécuritaires en prenant en considération les niveaux d'exposition sonore et l'atténuation que permet le protecteur auditif.

Ce modèle quantitatif permet de faire une prédiction pour chaque fréquence entre 125 et 8000 Hz, sur la base des niveaux de bruit (dB SPL), de l'atténuation sonore de la coquille, et du gain de la prothèse auditive mesuré ou calculé selon NAL-R. Des facteurs de correction pour la réponse en fréquences du microphone et pour la résonance de la conque sont également pris en considération dans le modèle. Les valeurs d'atténuation prévues (Assumed Protected Values) (ISO 4869-2, 1994), publiées par les manufacturiers et obtenues en laboratoire auprès de sujets familiers avec l'ajustement des protecteurs auditifs sont d'abord soustraites des niveaux de bruit auxquels le travailleur est exposé. La résultante de cette étape se traduit par les niveaux sonores sous le protecteur sans l'influence de la prothèse auditive. À ces niveaux sont additionnées les valeurs de gain mesurées ou calculées (NAL-R) afin d'obtenir les niveaux sonores avec le port de la prothèse sous le protecteur auditif. Finalement, ces dernières valeurs sont corrigées pour tenir compte : 1) des différences entre le microphone de type sonde utilisé lors des mesures de gain et celui utilisé dans le champ sonore, et 2) les effets de résonance de la conque (selon Shaw, 1974). À l'aide du modèle, les niveaux de gain maxima de la prothèse auditive considérés sécuritaires peuvent également être calculés en soustrayant les niveaux sonores avec le port de la prothèse sous le protecteur auditif des niveaux maximums permissibles d'exposition sonore.

Les niveaux maximums permissibles d'exposition sonore sont définis comme la réponse mesurée dans l'oreille non occluse exposée à un bruit à spectre plat de 85 dBA, un niveau d'exposition qui, selon l'OSHA (1983), ne requiert pas l'utilisation de protecteurs auditifs en milieu de travail. On prétend alors que l'exposition sonore ne devrait pas constituer un risque de dommage auditif si la sortie de la prothèse auditive dans le conduit auditif ne dépasse pas les niveaux maximums permissibles. Les valeurs prédites par le modèle étaient très semblables aux valeurs

mesurées avec une prothèse linéaire sous une coquille avec atténuation uniforme couplées à une tête artificielle, en réponse à un bruit de 90 dBA avec spectre plat. Puisque les valeurs mesurées et prédites n'excèdent pas les valeurs maximales permmissibles, on affirme que l'utilisateur pourrait être adéquatement protégé dans cette condition, malgré le port d'une prothèse auditive sous la coquille. Cette conclusion ne s'applique pas nécessairement à toutes les conditions de bruit, de gain dans les prothèses auditives et de protection auditive, et milite en faveur d'une validation.

Certains individus sont susceptibles de subir un dommage auditif lorsqu'ils sont exposés à des niveaux d'exposition inférieurs à 85 dBA. Ainsi, même si des niveaux sécuritaires de gain sont prédits par l'entremise du modèle quantitatif, Verbsky (2004) recommande de suivre de près les individus qui utilisent des prothèses auditives avec protection auditive en milieu de travail, particulièrement lors des premiers jours d'utilisation, afin de pouvoir déceler rapidement un décalage temporaire ou permanent des seuils. L'estimation des niveaux d'exposition sonore est une approche intéressante pour documenter le risque de suramplification par des prothèses auditives. Il semblerait, par contre, que l'utilité d'une telle approche soit limitée par deux facteurs inter reliés, soit : 1) le besoin de transformer en équivalent champ sonore les valeurs mesurées près du tympan avec la prothèse auditive activée, et 2) le fait que les critères de risque couramment utilisés sont typiquement basés sur l'effet d'une exposition sonore sur des individus dont l'audition est normale. Dans le cas du port d'une prothèse auditive sous un protecteur, il faut aussi se questionner sur le choix des valeurs d'atténuation sonore du protecteur, soit celles mesurées en laboratoire ou sur le terrain. En lien avec ce dernier constat, des corrections additionnelles s'imposent alors en présence d'une perte auditive préexistante.

C.2.2.3.2 Prédiction de l'aggravation de la perte auditive

Une première tentative de développement de lignes directrices pour limiter le risque de dommage auditif par la suramplification date des travaux de Humes & Bess en 1981. À partir d'un modèle existant pour estimer le décalage permanent des seuils dû à une exposition au bruit chez des adultes dont l'audition est normale (Kraak et coll., 1974), Humes & Bess (1981) ont tenté d'appliquer le modèle à des individus ayant une perte auditive afin d'établir des niveaux critiques à ne pas dépasser au niveau de la sortie des prothèses auditives et ainsi éviter des dommages à l'audition résiduelle. L'hypothèse utilisée pour adapter le modèle suppose qu'une exposition au bruit n'endommagerait pas l'audition d'un individu avec perte auditive neurosensorielle à moins que la perte auditive résultant d'une telle exposition chez une personne dont l'ouïe fonctionne normalement soit plus prononcée que la perte de l'individu concerné.

Les niveaux sonores auxquels sont exposés les utilisateurs de prothèses auditives sont par ailleurs pris en considération dans tous les travaux de Macrae qui portent sur l'utilisation de modèles mathématiques permettant de prédire l'ampleur du décalage temporaire ou permanent des seuils associé à l'utilisation de prothèses auditives.

Dans l'étude de Macrae (1991a) décrite ci-dessus (section C.2.2.2.6), les niveaux estimés de la sortie réelle de l'appareil dans l'oreille ont été utilisés pour prédire la quantité de décalage permanent des seuils (DPS) attendue pour chacun des huit enfants en raison de l'utilisation de la prothèse auditive. Macrae a confronté l'hypothèse de Humes & Bess (1981) à celle du modèle du Modified Power Law (MPL) (Humes & Jesteadt, 1991) combinée avec les équations de Kraak

(1981) dans la prédiction du décalage permanent des seuils. Ces équations prennent en considération l'effet combiné de l'âge et de l'exposition au bruit pour prédire la quantité de DPS attendue chez des adultes dont l'audition est normale, alors que le MPL inclut une correction pour les personnes avec perte auditive neurosensorielle. Contrairement à l'hypothèse initiale de Humes & Bess (1981), le MPL suppose que toute exposition au bruit pouvant entraîner un dommage auditif chez des adultes avec audition normale pourrait également être nocive pour ceux ayant une perte auditive neurosensorielle. Par contre, pour une même exposition, le degré de détérioration des seuils et l'étendue de la susceptibilité individuelle au dommage diminueraient en fonction du degré initial de la perte auditive. Il s'agit d'un modèle non linéaire et non additif. Ainsi, afin de limiter le risque de détérioration de l'audition résiduelle, le modèle du MPL suppose que l'exposition sonore résultant de l'utilisation de prothèses auditives ne doit pas atteindre des niveaux pouvant endommager l'audition d'individus sans problème d'audition. Les résultats de cette étude ont démontré que l'hypothèse de Humes & Bess (1981) sous-estimait le décalage permanent réellement noté chez la population à l'étude, alors que le modèle MPL donnait des prédictions plus justes.

Dans une seconde étude de Macrae (1991b), des prédictions ont été suggérées en utilisant le modèle MPL, mais cette fois-ci en combinaison avec les équations de la norme ISO 1999 (1990) plutôt que celles de Kraak (1981) pour prédire le DPS résultant d'une exposition au bruit. Deux lacunes des équations de Kraak (1981) ont motivé ce choix, soit : 1) la difficulté d'extraire l'effet de l'âge et 2) l'impossibilité de prédire la distribution du DPS à diverses fréquences. On y conclut que si les formules prescriptives de gain recommandées par Byrne & Dillon (1986) sont utilisées, et qu'on recourt à une exposition similaire à celle rapportée par Macrae (1991a), un léger DPS est inévitable chez les utilisateurs de prothèses auditives qui ont une perte auditive neurosensorielle sévère à profonde, particulièrement en hautes fréquences. On précise également que le modèle doit être vérifié dans le cadre d'une étude longitudinale avant d'être utilisé en clinique pour déterminer le risque d'aggravation de l'audition.

En 1993, Macrae a tenté de prédire la quantité de décalage temporaire des seuils chez une fillette de 15 ans à la suite d'une exposition d'une durée de quatre heures en milieu scolaire, en faisant usage encore une fois du modèle mathématique MPL en combinaison avec les prédictions de DTS asymptotique de Mills et de ses collègues (Mills et coll., 1979). Une approche similaire à celle de l'étude de 1991a a été déployée pour établir les niveaux d'exposition sonore réels. Cette fois-ci, par contre, un dosimètre porté par la jeune fille, avec le microphone fixé au collet gauche, a permis d'estimer les niveaux d'entrée de la prothèse auditive. Ces niveaux d'entrée, le spectre de bruit mesuré dans l'étude de 1991a, ainsi que des mesures étymotiques *in situ* du gain d'insertion réel (*real-ear insertion response*) et de la fonction entrée-sortie de la prothèse au volume utilisé ont servi à établir les niveaux d'exposition sonore réels. Les niveaux sonores près du tympan avec l'amplification du bruit ambiant par la prothèse auditive ont été calculés en additionnant les niveaux sonores mesurés avec le dosimètre aux valeurs de gain obtenues lors des mesures étymotiques. Finalement, l'auteur mentionne une correction pour transformer une valeur en champ diffus en une valeur équivalente mesurée au tympan, qui est le critère de risque de décalage temporaire utilisé dans le modèle. Encore une fois, il s'est avéré que le modèle mathématique proposé pouvait prédire avec suffisamment de justesse la quantité de décalage temporaire des seuils.

En utilisant une approche similaire et l'enregistrement à l'aide d'un dosimètre des niveaux d'entrée de la prothèse auditive, Macrae (1994a) a démontré l'efficacité du modèle MPL en combinaison avec les équations de Mills et coll. (1979) à prédire la quantité de décalage temporaire des seuils mesurés chez six étudiants et un professeur atteints d'une perte auditive neurosensorielle sévère à profonde, consécutive à une exposition en classe d'une durée d'environ 4 à 7 heures. De plus, le modèle a été exploité pour établir des limites sécuritaires de décalage temporaire asymptotique en fonction du degré de la perte auditive. Afin d'éviter un DTA qui dépasse ces limites, Macrae recommande de réduire le gain des prothèses auditives.

Dans la même année, Macrae (1994b) a de nouveau utilisé le modèle MPL combiné aux équations de Mills et coll. (1979) pour prédire la quantité de décalage temporaire asymptotique associé au port de prothèses auditives ajustées selon les formules prescriptives recommandées par NAL (National Acoustic Laboratories). En comparant ces valeurs aux limites sécuritaires de DTA établies dans l'étude précédente, Macrae a pu démontrer l'effet d'un gain excessif et de niveaux d'entrée élevés des prothèses auditives sur le risque d'atteinte à l'audition. Lors des prédictions, la dose de bruit établie par Macrae en 1993 a été utilisée. Selon les comparaisons entre le DTA prédit dans diverses conditions d'utilisation des prothèses auditives et les limites sécuritaires établies, il semblerait que :

- Un DTA est peu probable pour des enfants dont la moyenne des sons purs à 500, 1000 et 2000 Hz ne dépasse pas 60 dB HL, si la prothèse auditive est ajustée selon les recommandations du NAL, pour des niveaux sonores moyens typiques (inférieurs à 61 dBA). Pour les pertes plus prononcées (entre 60 et 100 dB HL), une quantité de DTA à des niveaux sécuritaires, c'est-à-dire qui n'engendrerait probablement pas un DPS, est attendue. Par contre, pour une MSP de plus de 100 dB HL, l'amplification nécessaire générerait des niveaux non sécuritaires de DTA et un DPS serait alors probable.
- Si le gain d'insertion réellement mesuré est 15 dB plus élevé que recommandé, le DTA généré en présence de niveaux sonores moyens typiques serait non sécuritaire pour une MSP supérieure à 80 dB HL.
- Finalement, en présence d'un gain excessif et de niveaux sonores élevés (environ 75 dBA), un DTA non sécuritaire est attendu pour une MSP égale ou supérieure à 50 dB HL.

Ainsi, on recommande que les utilisateurs de prothèses auditives qui préfèrent utiliser un gain plus élevé que celui recommandé dans les formules prescriptives du NAL évitent des expositions aux ambiances sonores élevées.

En 1995, Macrae a investigué la possibilité de prédire le DPS associé à l'utilisation à long terme de prothèses auditives à partir de la quantité de DTS produite après une journée d'utilisation. Il a alors utilisé les données sur le décalage permanent des seuils de huit enfants affligés d'une perte neurosensorielle, répertoriées dans une étude antérieure (Macrae, 1991a), qu'il a comparées au DTA estimé à partir du modèle MPL pour chacun de ces enfants pour les fréquences audiométriques entre 500 et 4000 Hz. Les résultats de cette étude révèlent une bonne correspondance entre le degré de DTA prédit et le DPS observé à chaque fréquence, à l'exception de celle de 4000 Hz où le DTA prédit est significativement moindre que le DPS

observé. On y conclut que l'on pourrait raisonnablement estimer la détérioration permanente éventuelle des seuils auditifs associée au port de prothèses auditives à partir du DTA observé en fin de journée.

Finalement, en 1998, Macrae a tenté de valider davantage le modèle mathématique en comparant la capacité de huit différentes approches à prédire le décalage permanent des seuils causé par une amplification excessive (gain utilisé plus élevé que gain recommandé), chez huit enfants atteints de perte neurosensorielle sévère (données de Macrae, 1991a). Ces différentes approches consistent en fait à proposer des alternatives pour chaque composante du modèle (MPL par rapport à une autre hypothèse pour ajuster la prédiction pour les gens atteints de perte neurosensorielle; utilisation du LAeq ou du LAmn, soit la moyenne des niveaux dans l'oreille en dBA, pour décrire l'exposition sonore; décalage ou non d'une demi-octave entre la fréquence de l'exposition sonore et la fréquence à laquelle la détérioration du seuil a lieu). On y conclut que le modèle le plus approprié est celui qui utilise le LAmn, le MPL et un décalage dans la fréquence.

Comme décrit dans cette étude, le modèle mathématique peut être résumé en trois étapes :

1. Détermination du niveau continu équivalent de l'exposition sonore lors de l'utilisation des prothèses auditives (en utilisant la moyenne des niveaux dBA obtenus dans l'oreille);
2. Utilisation du niveau continu équivalent pour prédire le décalage des seuils qui se produirait chez une personne dont l'audition est normale (en utilisant un décalage d'une demi-octave entre la fréquence de l'exposition et la fréquence à laquelle la détérioration est présumée dans la prédiction) – équations de Kraak (1981);
3. Ajustement de la prédiction pour une personne atteinte de perte neurosensorielle en utilisant le MPL (Humes & Jesteadt, 1991).

En ayant recours au modèle, il semble possible de déterminer, avec suffisamment de justesse, la quantité de décalage des seuils attendu (DPS ou DTS ou DTA), et de comparer cette valeur avec le décalage réellement observé afin de déterminer si l'amplification par les prothèses auditives a contribué à l'aggravation de la perte ou si d'autres facteurs sont plutôt en cause.

Quoique les travaux de Macrae portant sur un modèle prédictif du décalage auditif semblent avoir été prometteurs au cours des années 90, on ne retrouve aucune trace de ce modèle dans les publications récentes. Son utilité est vraisemblablement limitée aux prothèses auditives avec amplification linéaire alors que le modèle est moins applicable aux prothèses à gain variable en fonction du niveau d'entrée. Il est important de noter que la majorité des prothèses auditives disponibles sur le marché et prescrites de nos jours ne sont pas de type linéaire.

C.3 Recommandations répertoriées concernant le port de prothèses auditives en milieu de travail bruyant et le risque d'aggravation de l'audition

Les travailleurs atteints d'une perte auditive peuvent opter pour des prothèses auditives au travail dans le but d'amplifier les signaux sonores importants pour l'accomplissement sécuritaire et efficace de leurs tâches. Le port de prothèses auditives soulève par contre des inquiétudes particulières quant au risque de suramplification. Afin de limiter le risque d'aggravation de l'audition résiduelle dans un tel cas, la sortie maximale des prothèses (mieux connu sous le vocable anglais *maximum power output* – MPO) peut être ajustée et limitée. En effet, l'extrait suivant d'un courriel reçu d'un représentant d'un fabricant de prothèses auditives indique que même s'il n'existe pas de mode spécialement conçu pour une utilisation de la prothèse en milieu de travail bruyant, l'ajustement de la limite du niveau de sortie (MPO) devrait faire en sorte que les niveaux générés par la prothèse soient en tout temps inférieurs à 85 dB. Par ailleurs, le représentant ajoute que les algorithmes à réduction active du bruit devaient faire en sorte qu'une grande partie du bruit ambiant soit supprimée et alors non amplifiée.

“To my knowledge we do not have functionality specifically aimed at the users you describe. I do however think that some of the functionality we offer in hearing instruments in general will apply to this user group. The convention is that long or repeated exposure to sounds at or above 85 decibels can cause hearing loss. Hearing instruments offer some mechanisms to limit the sound pressure levels being presented to the user from the hearing instrument.

One of these is the MPO (maximum power output) limitation. The MPO levels can either be predicted based on the patients audiometric data, or can be setup based on the patient's loudness tolerance data. For a patient who works in noisy surroundings it would be prudent to make a “work” program in the hearing aids with lower MPO settings than are normally set for normal use programs. The MPO could be reduced to 80-85dB in the “work” program, ensuring output levels are not damaging but maintaining audibility of speech.

Another function is the noise reduction. Our current top end offering includes environment specific noise reduction settings. This means that the noise reduction algorithm will be more aggressive (make larger downward gain adjustments) when the environment is more noisy.”

Toutefois, une telle approche ne garantit pas que les travailleurs ne seront pas exposés à des niveaux sonores potentiellement nocifs puisque la sortie maximale des prothèses auditives, mesurée en dB SPL, ne se compare pas directement aux limites réglementaires d'exposition sonore qui, elles, sont exprimées en dBA. La sortie maximale des prothèses auditives est typiquement réglée en fonction des seuils d'inconfort de l'individu, ou sur la base de seuils d'inconfort moyens mesurés avec des signaux sonores relativement brefs. Par contre, les seuils d'inconfort mesurés en clinique pourraient s'avérer peu représentatifs de la tolérance sur de plus longues durées (par exemple un quart de travail de huit heures) et sont souvent plus élevés que les niveaux sonores pouvant endommager l'audition lorsque présentés sur une longue période. Par ailleurs, une sortie maximale trop restrictive pourrait nuire à la clarté des signaux en y introduisant de la distorsion.

Certains organismes ont émis quelques recommandations relatives à l'utilisation de prothèses auditives activées en milieu de travail bruyant. Du côté américain, l'OSHA (2005) reconnaît que des prothèses auditives peuvent amplifier les sons à des niveaux sonores qui excèdent les limites permises (90 dBA Leq-8 h), mais qu'elles peuvent, dans certains cas, être utilisées sous un protecteur de type coquille. On recommande un suivi régulier des travailleurs porteurs de prothèses auditives afin de pouvoir agir rapidement si un changement dans l'audition est noté. Dans un même ordre d'idées, l'organisme canadien Worksafe BC indique que les prothèses auditives peuvent générer des niveaux sonores dangereux pour l'audition, même si elles sont munies de circuits qui permettent de limiter les sons forts⁵. En ce qui concerne l'utilisation d'une prothèse sous une coquille, l'organisme stipule qu'un protecteur de classe A pourrait offrir trop d'atténuation sonore alors qu'avec un protecteur de classe B l'utilisation d'une prothèse ne serait peut-être plus nécessaire. Un désavantage noté dans le cas d'une telle option est la transpiration sous la coquille qui pourrait endommager la prothèse. Cet organisme fait également mention de casques de communication pour faciliter la communication en milieu de travail bruyant pour les travailleurs atteints de perte auditive.

Selon Chartrand (2003), toute prothèse auditive devrait être munie d'un contrôle de volume, à moins que cette option soit contre-indiquée. Parmi les raisons motivant cette nécessité, il indique que sans contrôle de volume, l'utilisateur pourrait être exposé à des niveaux sonores amplifiés susceptibles d'endommager l'audition résiduelle.

En 2000, Dolan & Maurer ont abordé les aspects sécuritaires et de gestion liés à l'utilisation des prothèses auditives en milieu de travail et indiquent qu'une évaluation régulière des seuils auditifs permet de déterminer si un travailleur est à risque d'une suramplification. Les lignes directrices suivantes sont proposées, de façon provisoire, pour la gestion des travailleurs qui désirent porter des prothèses auditives au travail :

- Les prothèses auditives ne devraient jamais être portées dans des milieux bruyants caractérisés par un niveau d'exposition supérieur à 90 dBA; des protecteurs auditifs devraient plutôt être utilisés;
- Le travailleur doit être inscrit à un programme de suivi, même si les niveaux sonores dans le milieu de travail ne dépassent pas le critère d'action de 85 dBA établi par l'OSHA;
- La différence notée dans les seuils d'audition à toutes les fréquences doit être établie à partir de l'audiogramme initial de référence; un décalage du seuil de plus de 10 dB pouvant être indicatif d'une surexposition;
- Dans le cas d'un décalage des seuils de 10 dB ou plus à 2000, 3000 et 4000 Hz, des protecteurs auditifs doivent être portés;

⁵ WorkSafe BC. *Hearing Aids at Work*. Repéré à http://www2.worksafebc.com/pdfs/hearing/hearing_aids_at_work.pdf {Dernière consultation : 16 juillet 2015}.

- La prothèse auditive en mode fermée n'est pas un protecteur auditif efficace;
- L'audition doit être évaluée sans les prothèses auditives.

Pour sa part, l'Ordre des orthophonistes et audiologistes du Québec a publié, au cours de la même année, un guide de pratique à l'intention de ses membres concernant la situation de suramplification auditive et la gestion des risques associés (OOAQ, 2000). Dans un premier temps, le document fait état de la littérature sur la suramplification et les autres sources possibles d'aggravation de la surdité. On peut en extraire les principales conclusions suivantes :

- Il existe un risque réel d'aggravation de la surdité qui se manifeste de façon similaire à la surdité professionnelle;
- Un bruit considéré nocif pour un auditeur dont l'audition est normale l'est également pour une personne ayant une perte auditive (limite d'exposition maximale en milieu industriel = 115 dBA à l'entrée du conduit auditif; susceptibilité d'un trauma acoustique pour des niveaux sonores à l'entrée du conduit auditif de 130 dBA);
- Lors de l'aggravation de la perte auditive, les autres causes exogènes et endogènes doivent être éliminées comme cause potentielle;
- De façon générale, l'ajustement personnalisé des prothèses auditives selon des méthodes prescriptives établies est sécuritaire chez la majorité des usagers.

Des lignes directrices pour la gestion du risque de suramplification sont par la suite proposées. Premièrement, il est recommandé d'ajuster le gain et la sortie maximale des prothèses auditives selon des méthodes prescriptives établies telles que le NAL et le DSL, et de vérifier ensuite l'atteinte des cibles par des mesures près du tympan ou avec un coupleur 2cc en utilisant le *real-ear-to-coupler-difference* – *RECD* mesuré ou estimé. Le document fournit des niveaux de pression sonore potentiellement nocifs près du tympan entre 250 Hz et 4000 Hz pour une entrée de 90 SPL. Il s'agit de la valeur maximale permmissible de 115 dBA à l'entrée du conduit auditif convertie en niveau sonore près du tympan à chaque fréquence en prenant en considération les facteurs de correction pour transformer les dBA en dB SPL ainsi que la fonction de transfert du conduit auditif. Des valeurs similaires pour un risque de trauma acoustique basées sur la valeur maximale permmissible de 130 dB SPL à l'entrée du conduit auditif sont également fournies. Le guide offre aussi des mises en garde pour les pertes conductives, centrales et de degré sévère à profond. Dans ce dernier cas, on reconnaît que l'amplification requise pour assurer un accès adéquat aux divers indices acoustiques comporte nécessairement un risque d'aggravation de l'audition résiduelle. Quoique l'ajustement personnalisé de la prothèse selon une méthode prescriptive soit important pour minimiser le risque, la nature du signal auquel l'individu est exposé et la dose d'exposition doivent également être prises en considération.

Afin de guider les professionnels dans l'estimation du risque, un protocole d'évaluation est présenté à l'annexe 4 du document de l'OOAQ. De façon sommaire, après l'ajustement des prothèses auditives, l'intervenant doit d'abord : 1) s'assurer que les valeurs mesurées près du tympan soient inférieures aux valeurs maximales proposées; 2) déterminer le niveau d'entrée nécessaire pour produire de telles valeurs, et 3) estimer la dose réelle d'amplification sur la base

des activités quotidiennes, leur durée et leur fréquence. En présence d'un risque potentiel de suramplification, on recommande diverses solutions techniques (compression de la gamme dynamique étendue, prothèses à multiples mémoires permettant un ajustement personnalisé dans divers contextes d'écoute, microphones directionnels, algorithme de réduction du bruit, système MF), une amplification binaurale afin de réduire le gain requis dans chaque prothèse en raison du phénomène de sommation de la sonie, ainsi que des options environnementales telles que le retrait temporaire des prothèses.

Un suivi régulier de l'utilisateur est particulièrement important afin d'identifier l'effet de suramplification lorsque ce dernier survient. On recommande une évaluation de contrôle un mois après l'utilisation de nouvelles prothèses auditives. Si l'audition demeure stable, un ajustement des prothèses n'est pas requis. Dans le cas d'une baisse d'audition, une récupération des seuils après le retrait des prothèses pour une période de 24 à 48 heures suggère fortement une suramplification, et un nouvel ajustement des prothèses (réduction du gain et de la sortie maximale) accompagné d'un suivi deux semaines plus tard est justifié. Par contre, en l'absence d'une récupération des seuils, les autres causes pouvant expliquer la progression de la perte devraient être investiguées dans le cadre d'une évaluation audiolinguistique, médicale et génétique complète. Un suivi périodique à long terme est également nécessaire afin de s'assurer de la stabilité ou non des seuils auditifs. Finalement, l'utilisateur doit être informé quant à la possibilité d'une dégradation de son audition, aux ajustements potentiels qu'il peut apporter à ses prothèses auditives dans divers contextes d'utilisation, et à la nécessité de consulter dès qu'une baisse d'audition est soupçonnée.

Sur la base des informations répertoriées, les recommandations à formuler aux travailleurs qui désirent ou qui devraient porter des prothèses auditives en milieu de travail bruyant ne sont pas clairement établies. Pour limiter le risque d'aggravation, on recommande que les prothèses soient ajustées selon des formules prescriptives établies. Par ailleurs, un ajustement et une vérification appropriés des prothèses ne peuvent pas garantir qu'il n'y aura pas de dégradation de l'audition. Il ne fait alors aucun doute qu'un suivi clinique régulier des travailleurs qui utilisent une forme ou l'autre d'amplification en milieu de travail est un élément crucial pour déterminer de façon précoce une détérioration de leur audition.

Compte tenu de ce qui précède, certains travailleurs pourraient envisager le port de prothèses auditives, mises hors fonction, dans le but de protéger leur audition résiduelle dans des environnements bruyants (Hétu et coll., 1992). Malgré qu'une revue exhaustive de la littérature n'ait pas été menée pour explorer l'efficacité d'une telle option, on suppose, dans un tel cas, que l'embout de la prothèse agit comme un protecteur auditif et qu'un appareil fait sur mesure est plus confortable que les protecteurs auditifs habituellement fournis dans le milieu de travail (Chalupka, 2009). En général, les auteurs considèrent que cette pratique est loin d'offrir une protection adéquate et la découragent (Chalupka, 2009; Dolan & O'Loughlin, 2005), en expliquant que les travailleurs risquent ainsi d'exacerber leur perte auditive (Henchi et coll., 2008), même à un niveau sonore jugé sécuritaire (Dolan & O'Loughlin, 2005; Verbsky, 2002). La mise en garde est parfois allégée s'il y a absence d'évent sur la coquille ou sur l'embout de la prothèse (Henchi et coll., 2008).

Les embouts n'ont toutefois pas été conçus dans une telle optique et on en connaît très peu sur leur degré d'atténuation sonore. Tout facteur susceptible de modifier l'étanchéité de l'embout

dans l'oreille pourrait diminuer ou annuler l'atténuation fournie, tout comme la présence d'un évent et l'utilisation d'un embout ouvert. Les travailleurs pourraient également oublier d'éteindre leurs prothèses en passant d'un milieu moins bruyant à un milieu plus bruyant ou encore d'activer leurs prothèses à certains moments afin de mieux entendre des signaux sonores. Dans ces deux cas, les niveaux d'exposition sonore pourraient augmenter significativement. Par ailleurs, aux États-Unis, l'OSHA (2005) indique clairement que les prothèses auditives en mode fermé ne peuvent pas remplacer des protecteurs auditifs puisqu'elles ne bloquent pas suffisamment les sons, mais qu'elles pourraient les atténuer suffisamment au point de nuire à leur détection et à leur reconnaissance par les travailleurs.

Malgré la pénurie d'outils ou de protocoles validés qui sont disponibles pour évaluer le risque d'aggravation de la surdité lié à l'utilisation de prothèses auditives en milieu de travail bruyant, certaines approches ont été proposées. On note entre autres que l'OOAQ (2000) suggère un protocole d'évaluation du risque et fait certaines recommandations lorsqu'un tel risque est probable (p. ex. : solutions techniques, amplification binaurale et options environnementales).

Finalement, des options alternatives ou supplémentaires au port de prothèses auditives doivent être considérées (p. ex. : port de protecteurs auditifs qui intègrent un système de communication, prothèses auditives portées sous un protecteur auditif avec atténuation sonore uniforme en fréquences) dans un but d'assurer la communication et la sécurité des travailleurs (Preves et coll., 1998; Plyler & Klumpp, 2003; Dolan & O'Loughlin, 2005; Ghent, 2014). Encore une fois, une revue exhaustive de la littérature sur ces options alternatives ou supplémentaires n'a pas été effectuée.

Comme indiqué ci-dessus, en présence d'une perte auditive, on semble noter un conflit important entre le besoin d'amplifier les signaux sonores pour tenter de rétablir la communication et d'assurer la sécurité et l'efficacité au travail, et celui de protéger l'audition résiduelle. Pour combler les besoins dans ces diverses sphères tout aussi importantes les unes que les autres, le port de prothèses auditives activées sous des coquilles protectrices pourrait s'avérer une option intéressante. En effet, dans sa thèse de doctorat, Verbsky (2002) a réalisé un test de compréhension de la parole dans le bruit chez des individus atteints de perte auditive. Or, les individus qui portaient des prothèses sous des coquilles ont obtenu de meilleures performances que lorsqu'ils utilisaient uniquement les protecteurs auditifs.

Dans son bulletin d'information *Safety and Health* du mois de décembre 2005, le département du Travail américain ne rejette pas cette pratique, mais souligne la nécessité qu'une évaluation individuelle détermine si une aide auditive peut être portée adéquatement sous une coquille de protection. Chalupka (2009) mentionne la nécessité d'élaborer des protocoles pour mener à bien ces évaluations individuelles. Il souligne que les éléments suivants doivent être pris en compte et faire l'objet d'une surveillance : la nature des tâches effectuées, les besoins de communication, l'environnement de travail incluant l'évaluation des niveaux de bruit, le type de perte auditive, son degré et les préférences du travailleur.

Dans une publication commerciale d'un fabricant de protecteurs auditifs, Ghent (2014) aborde les difficultés rencontrées par les gens qui ont une perte auditive et qui travaillent dans des milieux bruyants, ainsi que les diverses options possibles pour protéger leur audition résiduelle. Il présente un éventail d'options disponibles lors de la programmation des prothèses

auditives (programmes multiples, technologies pour améliorer la perception de la parole dans le bruit, la réduction de l'effet Larsen), ainsi que d'autres technologies pouvant être utilisées de pair avec les prothèses auditives (entrée audio directe, boucle d'induction, connectivité Bluetooth), et les progrès de la technologie des protecteurs auditifs (protecteurs avec atténuation uniforme en fréquence et casques protecteurs avec circuiterie). L'auteur encourage l'utilisation de prothèses auditives en combinaison avec des protecteurs auditifs de type coquille avec atténuation uniforme en fréquence ou en combinaison avec une coquille électronique intégrant un système de communication. Quoiqu'il mentionne que l'effet Larsen puisse s'avérer problématique en recouvrant l'oreille appareillée, il indique que la plupart des prothèses modernes sont munies d'un algorithme pouvant réduire l'effet de cette rétroaction acoustique, et que le gain des prothèses peut aussi être ajusté en conséquence. Il insiste sur le fait que pour en tirer le maximum de bénéfices, le travailleur devrait apporter ses protecteurs auditifs ainsi que tout autre équipement de protection personnelle lors de sa visite chez l'audiologiste. L'article se termine par une description de 10 différentes options d'utilisation pour les travailleurs atteints de perte auditive, selon les contraintes reliées à la communication et à la protection auditive.

Il est à noter que les recommandations présentées dans les paragraphes qui précèdent doivent être appliquées avec une certaine réserve, car elles ne sont pas nécessairement fondées sur des données probantes. Entre autres, malgré que le port des prothèses sous des coquilles pourrait améliorer certaines capacités auditives tout en protégeant l'audition résiduelle de l'individu, une réduction des capacités de localisation sonore demeure possible, particulièrement dans le plan avant/arrière, puisque les prothèses et les coquilles peuvent modifier les indices naturels normalement utilisés pour localiser les sons dans l'environnement.