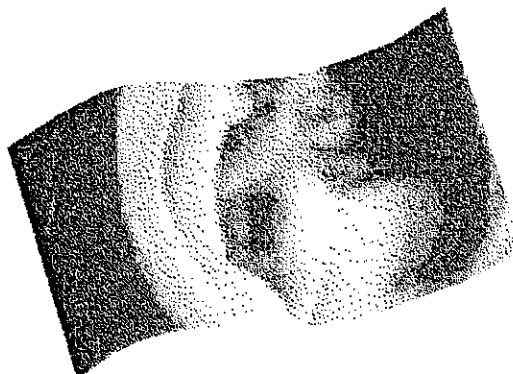


Pour des avertisseurs sonores efficaces

Résultats d'un projet de démonstration visant à rendre les avertisseurs sonores audibles pour les travailleurs

Jean-Charles Guindon



ÉTUDES ET RECHERCHES

Novembre 1996 R-145

RAPPORT



IRSST
Institut de recherche
en santé et en sécurité
du travail du Québec

La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST) est un organisme de recherche scientifique voué à l'identification et à l'élimination à la source des dangers professionnels, et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Financé par la CSST, l'Institut réalise et finance, par subvention ou contrats, des recherches qui visent à réduire les coûts humains et financiers occasionnés par les accidents de travail et les maladies professionnelles.

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

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications.

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut et de s'abonner à *Prévention au travail* en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

ATTENTION

Cette version numérique vous est offerte à titre d'information seulement. Bien que tout ait été mis en œuvre pour préserver la qualité des documents lors du transfert numérique, il se peut que certains caractères aient été omis, altérés ou effacés. Les données contenues dans les tableaux et graphiques doivent être vérifiées à l'aide de la version papier avant utilisation.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec

IRSST - Direction des communications
505, boul. de Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1 551
Télécopieur: (514) 288-7636
Site internet : www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche en santé
et en sécurité du travail du Québec,

Pour des avertisseurs sonores efficaces

**Résultats d'un projet
de démonstration
visant à rendre
les avertisseurs sonores
audibles pour les travailleurs**

Jean-Charles Guindon,
Programme service à la clientèle, IRSST

avec la collaboration de :
Raymond Héту, Stéphane Denis, Laurent Gratton et Pierre-Luc Arsenault

**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

RAPPORT

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce projet de démonstration a nécessité la collaboration de plusieurs personnes.

- ▶ Les associations sectorielles des secteurs imprimerie, fabrication d'équipements de transport et de machines, fabrication de produits en métal et électriques, ont identifié six établissements qui ont accepté de collaborer à la réalisation de ce projet.
- ▶ Les membres des Comités de santé et de sécurité des établissements visités ont collaboré à l'identification des problèmes et à la mise en oeuvre de solutions.
- ▶ Le professeur Raymond Hétu, directeur du Groupe d'acoustique de l'Université de Montréal (GAUM) jusqu'à son décès en septembre 1995, a fourni l'expertise scientifique nécessaire à la compréhension de la problématique et à la formulation des diagnostics et recommandations visant à protéger la santé des travailleurs.
- ▶ Messieurs Stéphane Denis et Yves Tougas ont assisté Raymond Hétu dans son travail sur le terrain.
- ▶ Mesdames Jocelyne Hallé et Nicole Madore, conseillères en réadaptation, appuyées par madame Marie Larue, Directrice de santé et de sécurité à la Direction régionale de Montréal-2 de la CSST, ont participé activement au maintien du lien d'emploi de deux travailleurs atteints de surdité professionnelle.
- ▶ Monsieur Julien Grégoire, inspecteur à la Direction régionale de Montréal-2 de la CSST, a collaboré à la mise en oeuvre des recommandations relatives à un établissement.
- ▶ Messieurs Pierre-Luc Arsenault et Laurent Gratton, conseillers en valorisation à l'IRSST, ont collaboré au maintien des liens nécessaires entre les intervenants et les établissements; ils ont aussi participé aux visites d'usine et aux rencontres avec les Comités de santé et de sécurité des établissements.
- ▶ Madame Ginette Denicourt, professionnelle au programme Gestion de la qualité et des projets spéciaux de l'IRSST, a contribué, par ses commentaires et suggestions, à l'amélioration de la version finale du rapport.

Nos remerciements sincères s'adressent à toutes ces personnes qui, par leur intervention, rendent hommage au professeur Raymond Hétu qui a consacré la majeure partie de sa carrière à l'amélioration des conditions de santé et de sécurité des travailleurs.

Jean-Charles Guindon
Responsable de l'activité
IRSST

PRÉFACE

La rédaction de ce rapport d'activité s'est effectuée dans le contexte particulièrement difficile de la mort accidentelle du Dr Raymond Hétu, directeur du Groupe d'acoustique de l'Université de Montréal (GAUM), qui agissait comme expert en acoustique auprès des établissements visités et comme responsable de la qualité scientifique du projet. Au moment de son décès, le Dr Hétu commençait la rédaction d'un rapport synthèse à partir des observations réalisées dans huit (8) établissements et en tenant compte des résultats d'une recherche qu'il venait de terminer sur la conception ergonomique des avertisseurs sonores.¹

Ce document a été préparé pour rendre accessibles aux intervenants les informations recueillies dans les établissements et consignées dans huit rapports personnalisés que le Dr Hétu avait présentés aux Comités de santé et de sécurité des établissements visés par le projet. Le rapport synthèse du Dr Hétu aurait comporté au moins les éléments supplémentaires suivants:

- une discussion sur les critères de conception des avertisseurs sonores à la lumière des réalités observées dans les établissements;
- une réflexion plus générale sur la problématique des avertisseurs de dangers, parmi lesquels on retrouve les avertisseurs sonores.
- un rappel de la nécessité de réduire le bruit à la source avant d'intervenir sur les avertisseurs sonores.

Etant donné que l'auteur n'est pas spécialiste en acoustique, on comprendra que les citations contenues dans le rapport, nombreuses et parfois longues, visent à donner au lecteur un accès direct aux informations contenues dans les rapports d'intervention qui ne peuvent être rendus publics.

Jean-Charles Guindon

1 Hétu, Raymond, H.T. Quoc et R. Larocque. *Conception ergonomique des avertisseurs sonores de danger pour les milieux de travail réverbérants et bruyants*. Rapport de recherche déposé à l'IRSST en septembre 1995.

TABLE DES MATIÈRES

Liste des tableaux	iii
Liste des figures	iv
Liste des annexes	v
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 NATURE DU PROJET DE DÉMONSTRATION	2
2.1 Les objectifs poursuivis	2
2.2 La démarche générale d'intervention	2
2.3 Les critères d'évaluation des avertisseurs sonores	3
2.4 Les critères de sélection des établissements	4
2.5 Le processus d'intervention dans les établissements	4
2.6 Les résultats escomptés et les retombées prévisibles	5
3.0 EVALUATION DE L'EFFICACITÉ DES AVERTISSEURS SONORES	6
3.1 Les établissements visités	6
3.2 Les caractéristiques de l'intervention	7
3.3 Les avertisseurs sonores fixes	7
3.4 Les avertisseurs du matériel roulant	16
4.0 ADAPTATION DE POSTES DE TRAVAIL	24
4.1 Les situations étudiées	24
4.2 Les caractéristiques de l'intervention	24
4.3 La caractérisation des avertisseurs sonores	25
4.4 L'adaptation des avertisseurs aux contraintes imposées	26
4.5 La mise en oeuvre des solutions proposées	27
4.6 Les problèmes résiduels	27
5.0 APPRÉCIATION DES RÉSULTATS DE L'INTERVENTION	28
5.1 La capacité diagnostique	28
5.2 La capacité à supporter le maintien du lien d'emploi.....	28
5.3 La capacité à prévenir les lésions professionnelles	29
6.0 CONCLUSION	30

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Distribution des établissements visités selon le nombre d'aires de travail, d'avertisseurs sonores, de chariots et de véhicules observés.....	6
Tableau 2	Signaux inadéquats ayant des fréquences supérieures à 3000 Hz.....	10
Tableau 3	Signaux inadéquats ayant moins de 4 spectres audibles.....	11
Tableau 4	Signaux inadéquats comportant des fréquences dépassant la limite supérieure de 25 dB.....	12
Tableau 5	Signaux inadéquats comportant des fréquences sous la limite inférieure des 13 dB requis par la fenêtre de conception.....	13
Tableau 6	Avertisseurs sonores inadéquats ne répondant pas à plusieurs règles de conception ergonomique.....	14
Tableau 7	Avertisseurs sonores adéquats répondant à toutes les règles de conception ergonomique.....	15
Tableau 8	Niveaux de pression acoustique (dB SPL) en bande de tiers d'octave associés aux composantes spectrales des klaxons des véhicules opérés dans l'usine; la mesure a été prise à une distance de 4 mètres à l'avant du véhicule.....	17
Tableau 9	Nombre de composantes spectrales audibles des klaxons de chariots élévateurs selon l'aire de travail.....	20
Tableau 10	Observations et analyses des véhicules roulants dans les établissements visités.....	21
Tableau 11	Performance des avertisseurs de véhicules roulants (chariots élévateurs et véhicules de maintenance).....	22

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Performance des aires de travail observées eu égard aux règles générales de conception des avertisseurs sonores.....	8
Figure 2	Signaux inadéquats ayant des fréquences supérieures à 3000 Hz.....	10
Figure 3	Signaux inadéquats ayant moins de 4 spectres audibles.....	11
Figure 4	Signaux inadéquats comportant des fréquences dépassant la limite supérieure de 25 dB.....	12
Figure 5	Signaux inadéquats comportant des fréquences sous la limite inférieure des 13 dB requis par la fenêtre de conception.....	13
Figure 6	Avertisseurs sonores inadéquats ne répondant pas à plusieurs règles de conception ergonomique.....	14
Figure 7	Avertisseurs sonores adéquats répondant à toutes les règles de conception ergonomique.....	15
Figure 8	Caractérisation des conditions de perception des klaxons des différents chariots élévateurs pour une condition très bruyante (bruit de meulage) tel que mesurés à l'oreille d'un travailleur ayant une audition normale.....	18

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	Extraits d'un rapport préparé par Raymond Hétu, Hung Tran Quoc et Richard Larocque, intitulé « <i>Conception ergonomique des avertisseurs sonores de danger pour les milieux de travail réverbérants et bruyants</i> » (IRSST, septembre 1995).....	31
Annexe 2	Principales informations recueillies dans les établissements visités.....	44

1.0 INTRODUCTION

Un des problèmes rencontrés en milieu de travail par ceux qui ont subi une perte auditive est relié à leur incapacité à entendre, dans un environnement déjà bruyant, les nombreux signaux sonores utilisés pour avertir les travailleurs de l'activité d'un pont roulant, de la présence d'un chariot élévateur, de l'heure de la pause santé, d'un incendie, etc. Il arrive aussi que les avertisseurs ne puissent être entendus par des individus n'ayant aucune perte auditive, à cause de leurs caractéristiques propres, du niveau de bruit ambiant et des phénomènes de réverbération à l'intérieur d'un local.

Bien qu'il soit souvent difficile de relier directement certains accidents du travail au défaut d'entendre un signal sonore, plusieurs témoignages recueillis par les chercheurs et les intervenants confirment que certains accidents, parfois très graves, auraient pu être évités si les travailleurs avaient entendu les signaux sonores.

Depuis le début des années '80, le Groupe d'acoustique de l'Université de Montréal (GAUM), dirigé par le professeur Raymond Héту jusqu'en septembre 1995, a réalisé plusieurs recherches visant à mieux comprendre les personnes atteintes de surdité professionnelle et à développer des moyens pour protéger leur santé et leur intégrité physique et pour leur permettre de travailler en toute sécurité. Ces recherches s'inscrivent dans l'effort collectif déployé dans le réseau de la santé et de la sécurité du travail pour prévenir les lésions professionnelles et pour assurer aux travailleurs victimes d'une lésion professionnelle le maintien de leur lien d'emploi.

Le projet réalisé au cours de l'année 1994-95 avec la collaboration de huit (8) établissements visait à démontrer que les connaissances développées par le Groupe d'acoustique de l'Université de Montréal (GAUM) pouvaient être utilisées pour s'assurer de l'audibilité des avertisseurs sonores par tous les travailleurs, peu importe leur capacité auditive.

Au moment d'entreprendre cette activité, au début de septembre 1994, nous disposions de suffisamment de connaissances pour réaliser, en milieu de travail, des interventions susceptibles d'améliorer les conditions de santé et de sécurité des travailleurs, particulièrement pour les individus atteints de surdité professionnelle.

A l'origine, cette activité reposait sur l'hypothèse que les résultats de recherche obtenus par le GAUM et intégrés dans son logiciel DÉTECTSON permettent de déterminer quelles doivent être les caractéristiques des avertisseurs sonores en milieu de travail, en tenant compte à la fois du niveau de bruit ambiant au poste de travail et de la capacité auditive des travailleurs, selon qu'ils portent ou non des protecteurs auditifs.

2.0 NATURE DU PROJET DE DÉMONSTRATION

Pour favoriser l'utilisation des connaissances acquises par la recherche, nous avons réalisé, de novembre 1994 à septembre 1995, avec la collaboration du GAUM, une intervention limitée dont l'objectif général consistait à démontrer que les résultats de recherche sont utilisables pour solutionner des problèmes réels dans les milieux de travail.

2.1 Les objectifs poursuivis

Le projet de démonstration visait essentiellement à s'assurer, dans quelques établissements-témoins, que tous les travailleurs, quelles que soient leurs capacités auditives, entendent bien les avertisseurs sonores. Les solutions implantées pouvaient se situer:

- ▶ dans une perspective de **prévention**, au niveau des **avertisseurs sonores**, en les localisant convenablement et en ajustant le niveau sonore du signal aux caractéristiques générales des travailleurs;
- ▶ dans une perspective de **maintien du lien d'emploi**, au niveau des **aides auditives**, pour permettre aux travailleurs atteints de surdité professionnelle de conserver leur emploi.

2.2 La démarche générale d'intervention

L'intervention comportait notamment les activités suivantes:

- ▶ **sous la responsabilité de l'équipe du projet:**
 - identification des secteurs d'activité économique et des établissements visés;
 - diagnostic de la situation dans ces établissements (travailleurs, postes de travail et avertisseurs sonores);
 - identification et validation des solutions souhaitables avec les membres du comité de santé et de sécurité;

- ▶ **sous la responsabilité de chaque établissement visité:**
 - décision relative aux solutions retenues;
 - implantation des solutions dans l'établissement;
 - évaluation de l'efficacité des solutions implantées, des coûts et des bénéfices de l'intervention.

Nous verrons plus loin jusqu'à quel point les solutions proposées ont été retenues.

2.3 Les critères d'évaluation des avertisseurs sonores

Parmi les règles générales de conception des avertisseurs sonores pour les milieux de travail industriels présentées par le professeur Raymond Héту¹ (extraits du document présenté à l'Annexe 1), celles qui ont été analysées au cours de ce projet de démonstration sont les suivantes:

- ▶ R1 - *«S'assurer que le niveau du signal excède de +13 dB celui du bruit, l'un et l'autre étant mesurés en bande de tiers d'octave».*
- ▶ R2 - *« limiter le niveau du signal à +25 dB au dessus du niveau (en bande de tiers d'octave) de celui du bruit et à un maximum absolu de 105 dB SPL».*
- ▶ R4 - *«Imposer une limite supérieure à la plage fréquentielle des signaux à 3000 Hz».*
- ▶ R5 - *«Eviter rigoureusement l'usage de sons purs; un signal résistant aux effets de masque, facile à reconnaître, doit compter un minimum de 4 composantes fréquentielles».*
- ▶ R7 - *«Imposer une limite inférieure à la plage fréquentielle des signaux à 300 Hz».*

La performance des avertisseurs sonores en regard de ces critères sera décrite à la section 3.0 portant sur les résultats de l'intervention en matière de prévention des lésions professionnelles.

1 Héту, Raymond, H.T. Quoc et R. Larocque. *Conception ergonomique des avertisseurs sonores de danger pour les milieux de travail réverbérants et bruyants*. Rapport de recherche déposé à l'IRSST en septembre 1995.

2.4 Les critères de sélection des établissements

En fonction des objectifs généraux de l'intervention, six établissements industriels (sur huit) ont été approchés sous l'angle de la prévention, pour s'assurer que, de façon générale, tous les travailleurs puissent entendre les avertisseurs sonores. Ces établissements ont été identifiés grâce à la collaboration de quelques associations sectorielles paritaires (ASP), notamment celles qui couvrent les secteurs suivants: imprimerie, fabrication de produits en métal et électriques, fabrication d'équipements de transport et de machines.

Les établissements choisis par les ASP devaient notamment correspondre aux critères généraux suivants: avoir un programme de prévention qui tienne compte des problèmes de surdité; manifester, de la part de la direction, une volonté réelle de solutionner les problèmes qui font l'objet du projet de démonstration; être répartis dans les secteurs d'activité où le bruit ambiant est élevé; avoir des travailleurs qui souffrent de surdité professionnelle; avoir des travailleurs affectés à des postes de travail fixes. En général, ces critères de sélection ont été respectés.

Deux autres établissements ont été approchés sous l'angle du maintien du lien d'emploi de travailleurs atteints de surdité professionnelle pour qui des limitations fonctionnelles avaient établi qu'ils ne pouvaient être exposés à plus de 85 dBA. Ces établissements nous ont été référés par deux conseillères en réadaptation de la Direction régionale de l'Île de Montréal (secteur 2) de la CSST.

2.5 Le processus d'intervention dans les établissements

L'intervention dans les établissements pouvait comporter les volets et les intervenants suivants:

- ▶ rencontre du Comité de santé et de sécurité pour présenter la démarche et susciter sa collaboration;
- ▶ identification des postes de travail à risques (CSST, ASP, RRSSS (Régies régionales de santé et services sociaux), GAUM);
- ▶ caractérisation du bruit ambiant aux postes de travail (GAUM);
- ▶ caractérisation des signaux avertisseurs sonores (GAUM);
- ▶ relevé des signaux sonores aux postes de travail (GAUM);
- ▶ pour les deux problématiques du maintien du lien d'emploi, examen clinique des travailleurs ayant des difficultés d'audition ou consultation de leur audiogramme;
- ▶ analyse de l'ensemble des observations à l'aide du logiciel Détectson (GAUM);
- ▶ élaboration de propositions de changements (GAUM et spécialistes);
- ▶ présentation des résultats de l'analyse au Comité de santé et de sécurité.

Les étapes suivantes étaient sous la responsabilité des établissements visités:

- ▶ décision par les autorités compétentes;
- ▶ implantation des changements retenus.

2.6 Les résultats escomptés et les retombées prévisibles

Le projet de démonstration, dans la mesure des résultats obtenus, pouvait avoir un intérêt à la fois pour les établissements et pour les intervenants en santé et en sécurité du travail:

- ▶ Bénéfices pour les établissements qui participent au projet de démonstration:
 - intérêt manifeste pour les conditions de vie des travailleurs;
 - caractérisation du bruit ambiant et des avertisseurs sonores;
 - meilleure connaissance de caractéristiques auditives des travailleurs;
 - ajustement des avertisseurs sonores aux capacités auditives des travailleurs;
 - plus grande sécurité pour les travailleurs, particulièrement en milieu bruyant;
 - une meilleure qualité de vie au travail pour les travailleurs atteints de surdité professionnelle;
 - une diminution des lésions professionnelles causées par la non-audition des signaux sonores.
- ▶ Bénéfices pour les intervenants du réseau de la santé et de la sécurité du travail:
 - validation sur une petite échelle des solutions préconisées;
 - possibilités d'ajustement du modèle et de la démarche;
 - appréciation des coûts impliqués et des bénéfices obtenus;
 - mise en place d'une vitrine pour les autres établissements des secteurs concernés;
 - développement et validation d'un protocole d'intervention en vue d'une large adoption.

3.0 EVALUATION DE L'EFFICACITÉ DES AVERTISSEURS SONORES

Sous l'angle de la prévention, l'intervention dans les établissements avait pour objet l'évaluation de l'efficacité des avertisseurs sonores compte tenu du bruit ambiant dans les aires de travail².

3.1 Les établissements visités

Huit (8) établissements manufacturiers ont été visités. Voici comment ils se distribuent selon le nombre d'aires de travail, d'avertisseurs sonores, de chariots et de véhicules observés.

TABLEAU 1
Distribution des établissements visités
selon le nombre d'aires de travail, d'avertisseurs sonores,
de chariots et de véhicules observés.

Etablissements	Aires de travail	Avertisseurs sonores	Chariots et véhicules
A	9	10	3
B	12	17	4
C	7	15	4
D	13	14	10
E	4	4	4
F	5	-	4
G	6	6	2
H	9	17	5
Total	65	83	36

2 Le lecteur intéressé peut consulter un article préparé par Raymond Héту et Stéphane Denis pour la revue *Canadian Acoustics* et intitulé «*A Field Investigation of Conditions Governing the Use of Auditory Warning Signals in Industry*» (Septembre 1995). L'article présente un compte-rendu des interventions à partir d'une base d'informations plus large que celle qui est présentée ici.

Parmi les 65 aires de travail étudiées, 5 comportent un bruit masquant dont certaines fréquences dépassent 90 dB; ces 5 aires de travail trop bruyantes sont réparties dans 3 établissements. Cinq (5) autres aires de travail, réparties dans quatre établissements, comportent un bruit masquant dont certaines fréquences se situent entre 85 et 90 dB. Donc pour 84.5% des aires de travail observées, le niveau de bruit ambiant se situe sous les 85 dBA.

3.2 Les caractéristiques de l'intervention

Les niveaux d'exposition sonore ont été mesurés à différents emplacements selon la procédure définie d'après le standard ACNOR (Z107.56-M86)³. La reproductibilité de chaque mesure a été vérifiée.

«Les avertisseurs sonores de l'ensemble de l'usine ont été enregistrés. Les conditions ambiantes de bruit ont été également caractérisées de façon à pouvoir décrire les conditions de perception des avertisseurs sonores... Les équipements utilisés étaient les suivants: sonomètre intégrateur (Bruel & Kjaer-2231), microphone à champ libre (Bruel & Kjaer-4155), enregistreur magnéto-optique (Sony MZ-1), et analyseur de fréquences (Bruel & Kjaer-2123). Le sonomètre et le mini-disque ont été calibrés au moment de la prise des mesures au moyen d'une source étalon (Bruel & Kjaer-4230). Les spectres des avertisseurs et du bruit ont été analysés en laboratoire et les données résultantes ont été traitées au moyen du logiciel DETECTSON.»⁴

Pour chaque établissement visité, monsieur Raymond Héту a préparé un rapport d'intervention qui a été discuté avec le Comité de santé et de sécurité de l'établissement. Aucune pression ou contrainte n'a été imposée aux établissements visités quant à la mise en application des recommandations.

3.3 Les avertisseurs sonores fixes

La figure 1 présentée à la page suivante montre que, parmi les 83 avertisseurs sonores observés dans différentes aires de travail, seulement cinq (5) peuvent être considérés comme adéquats eu égard à l'ensemble des règles générales de conception des avertisseurs sonores telles que définies par le professeur Héту.

3 La norme ACNOR Z107.56-M86 (*Méthode de mesure de l'exposition au bruit en milieu de travail*) a été révisée en 1994 et porte maintenant le numéro Z107.56-94 .

4 Héту, Raymond et S. Denis. *Caractérisation des avertisseurs sonores à [l'établissement CJ. GAUM, juin 1995.*

FIGURE 1

Performance des 83 avertisseurs sonores observés
eu égard aux règles générales de conception.⁵

CRITÈRES	AIRES DE TRAVAIL CONFORMES	AIRES DE TRAVAIL NON CONFORMES
R1 S'assurer que le niveau du signal excède de +13 dB celui du bruit, l'un et l'autre étant mesurés en bande de tiers d'octave.	42	41
R2 Limiter le niveau du signal à +25 dB au dessus du niveau (en bande de tiers d'octave) de celui du bruit et à un maximum absolu de 105 dB SPL.	32	10
R4 Imposer une limite supérieure à la plage fréquentielle des signaux à 3000 Hz.	26	6
R5 Eviter rigoureusement l'usage de sons purs; un signal résistant aux effets de masque, facile à reconnaître, doit compter un minimum de 4 composantes fréquentielles.	5	21
R7 Imposer une limite inférieure à la plage fréquentielle des signaux à 300 Hz.	toutes	

5 Hétu, Raymond, H.T. Quoc et R. Larocque. *Conception ergonomique des avertisseurs sonores de danger pour les milieux de travail réverbérants et bruyants*. IRSST, septembre 1995.

Pour illustrer davantage ces résultats, voici quelques tableaux et figures qui illustrent les conditions de perception des avertisseurs sonores pour une aire de travail donnée, sur une échelle de fréquences allant de 30 à 10000 Hz.

TABLEAU-FIGURE	PAGE	SITUATIONS
2	10	Signaux inadéquats parce qu'ils ont des fréquences supérieures à 3000 Hz.
3	11	Signaux inadéquats parce qu'ils ont moins de 4 spectres audibles.
4	12	Signaux comportant des fréquences dépassant la limite supérieure de 25 dB.
5	13	Signaux comportant des fréquences sous la limite inférieure des 13 dB requis par la fenêtre de conception.
6	14	Avertisseurs sonores inadéquats ne répondant pas à plusieurs règles de conception ergonomique.
7	15	Avertisseurs sonores adéquats, répondant à toutes les règles de conception ergonomique.

Les éléments présentés dans les tableaux et les figures sont les suivants:

- ▶ le niveau de bruit masquant (**bruit ambiant**) mesuré par bandes de tiers d'octave en dB SPL (ligne horizontale brisée de la figure, précisions dans le tableau);
- ▶ la fenêtre de niveaux perceptibles d'un signal (**fenêtre de conception et d'audibilité** de l'avertisseur sonore) mesuré par bandes de tiers d'octave en dB SPL (zone grisée de la figure, précisions dans le tableau);
- ▶ le **niveau sonore de l'avertisseur** (dB SPL) pour chaque composante spectrale (raies verticales de la figure, précisions dans le tableau).

En examinant les figures, le lecteur comprendra que seuls sont considérés comme adéquats les avertisseurs sonores qui comportent au moins **quatre (4) composantes spectrales** (raies verticales) situées dans la **fenêtre de conception** (zone grisée) pour des fréquences situées entre **315 et 3150 Hz**.

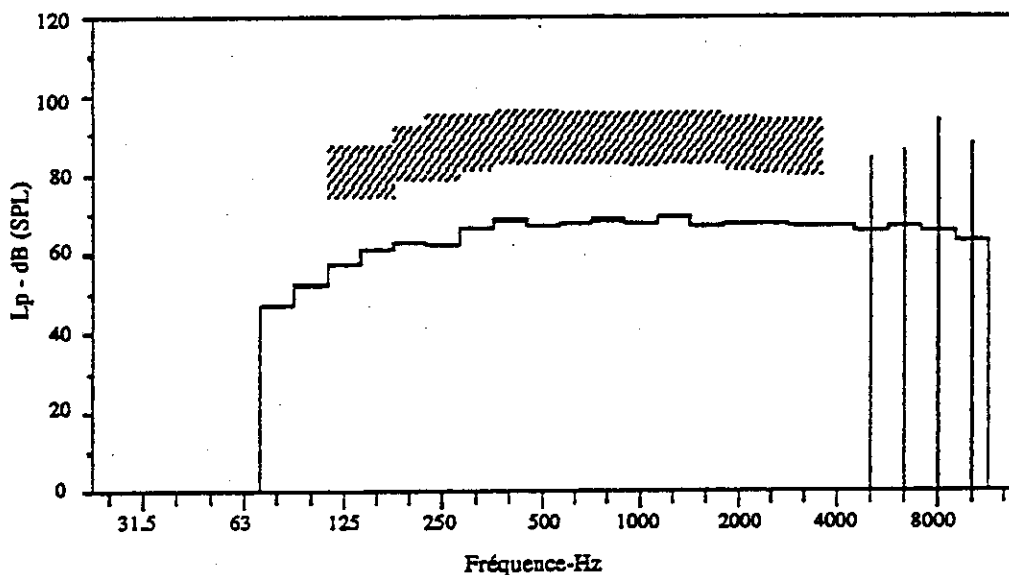
TABLEAU ET FIGURE 2

Signaux inadéquats ayant des fréquences supérieures à 3000 Hz

Conditions ambiantes : Boudineuse #5118

Sujet : Homme 55 ans

Fréquence centre bandes de tiers d'octave (Hz)	Niveau de Bruit masquant (dB SPL)	Fénetre de niveaux perceptibles d'un signal (dB SPL)	Niveaux sonores des avertisseurs Alimentation polyéthylène
125	57.4	74-87	
160	60.7	74-87	
200	63.2	79-92	
250	61.8	79-95	
315	66.1	82-95	
400	68.8	83-96	
500	67.2	83-96	
630	68.1	83-96	
800	68.6	83-96	
1000	67.8	83-96	
1250	69.1	83-96	
1600	67.4	83-96	
2000	67.7	81-94	
2500	67.6	81-94	
3150	67.2	80-93	
4000	67.1		
5000	66.0		84
6300	67.5		86
8000	65.8		94
10000	63.9		88



Caractérisation des conditions de perception de l'avertisseur de défaut d'alimentation de polyéthylène au poste de contrôle de la boudineuse #5118 tel que mesuré à l'oreille d'un auditeur normal (homme de 55 ans).

TABLEAU ET FIGURE 3

Signaux inadéquats ayant moins de 4 spectres audibles.

Tableau Niveaux de pression acoustique (dB SPL) requis (minima et maxima de la fenêtre de conception) pour un signal avertisseur en présence de différents bruits, tels qu'estimés en fonction des capacités auditives moyennes d'hommes âgés de 55 ans.

Conditions ambiantes : Extrudeuse 5419-panneau de contrôle Sujet : Homme 55 ans

Fréquence centre bandes de tiers d'octave (Hz)	Niveau de Bruit masquant (dB SPL)	Fenêtre de niveaux perceptibles d'un signal (dB SPL)	Niveaux sonores des avertisseurs Buzzer (contrôle)
125	53	69-82	
160	54	69-82	
200	56	72-85	
250	56	72-88	
315	59	75-88	
400	62	77-90	
500	65	79-92	
630	66	80-93	
800	67	81-94	
1000	68	82-95	76
1250	65	80-93	84
1600	65	80-93	76
2000	64	79-91	75
2500	62	76-89	88
3150	61	74-87	78

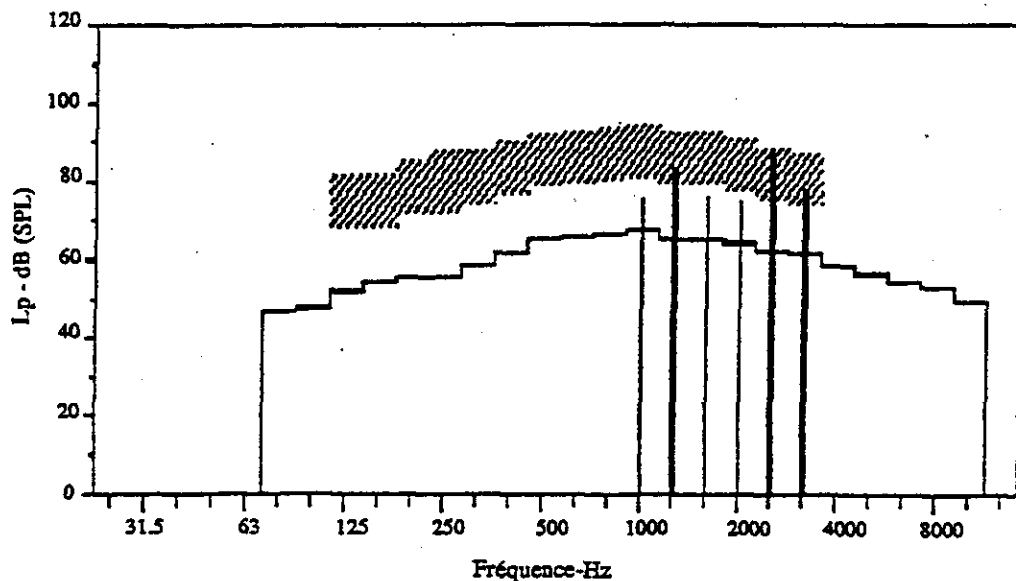


Figure Caractérisation des conditions de perception du ronfleur ("buzzer") en présence du bruit de l'extrudeuse 5419 au panneau de contrôle, tel que mesuré à l'oreille d'un auditeur normal (homme de 55 ans).

TABLEAU ET FIGURE 4

Signaux inadéquats comportant des fréquences dépassant la limite supérieure de 25 dB

Tableau . Niveaux de pression acoustique (dB SPL) requis (minima et maxima de la fenêtre de conception) pour un signal avertisseur en présence de différents bruits, tels qu'estimés en fonction des capacités auditives moyennes d'hommes âgés de 55 ans.

Conditions ambiantes : Extrudeuse 5419-panneau de contrôle Sujet : Homme 55 ans

Fréquence centre bandes de tiers d'octave(Hz)	Niveau de Bruit masquant (dB SPL)	Fenêtre de niveaux perceptibles d'un signal (dB SPL)	Niveaux sonores des avertisseurs défaut d'alimentation
125	53	69-82	
160	54	69-82	
200	56	72-85	
250	56	72-88	
315	59	75-88	
400	62	77-90	
500	65	79-92	
630	66	80-93	
800	67	81-94	
1000	68	82-95	74
1250	65	80-93	
1600	65	80-93	
2000	64	79-91	
2500	62	76-89	96*
3150	61	74-87	92*

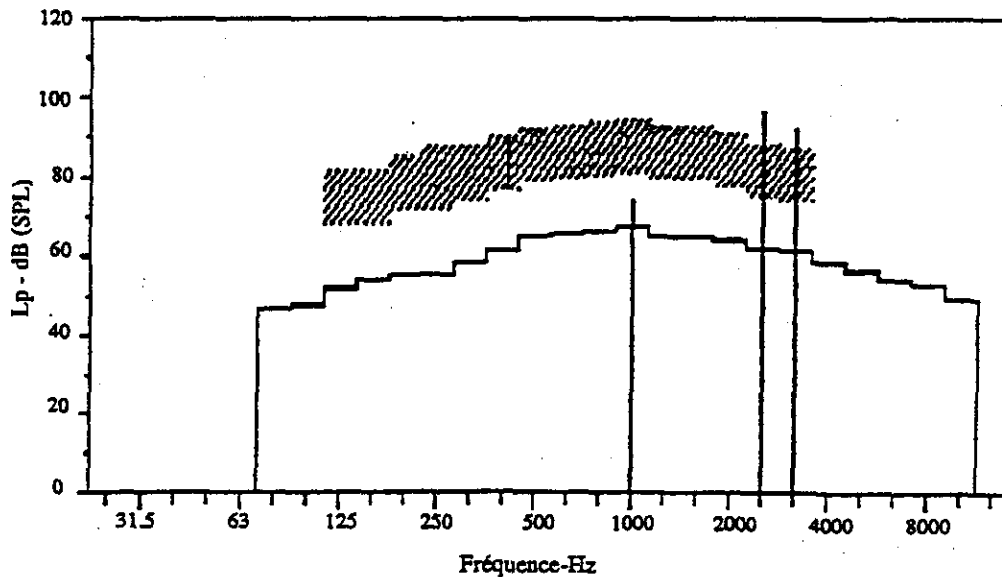


Figure . Caractérisation des conditions de perception de l'avertisseur de défaut d'alimentation en présence du bruit de l'extrudeuse 5419 au panneau de contrôle, tel que mesuré à l'oreille d'un auditeur normal (homme de 55 ans).

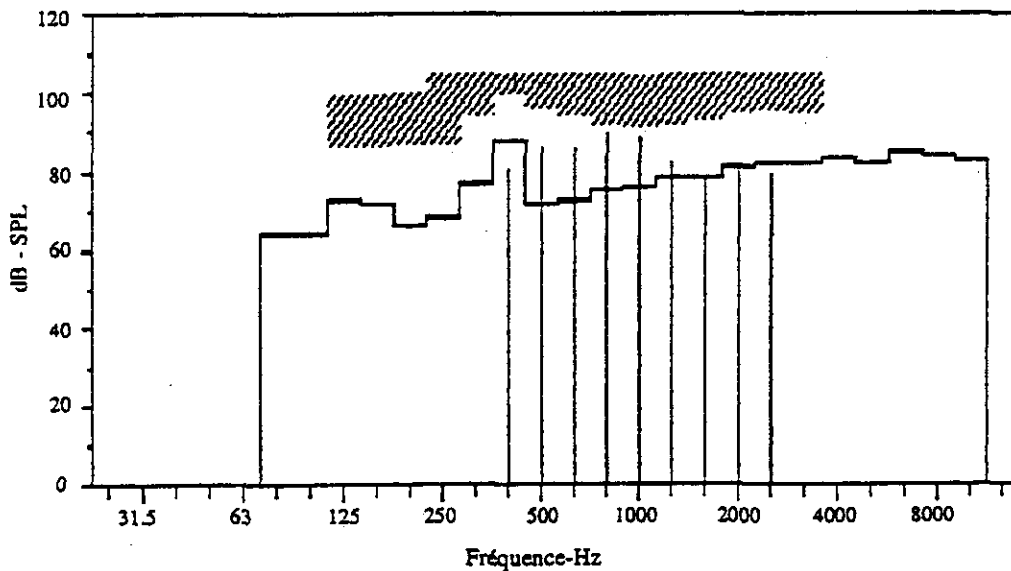
TABLEAU ET FIGURE 5

Signaux inadéquats comportant des fréquences sous la limite inférieure des 13 dB requis par la fenêtre de conception

Conditions ambiantes : Baie 2 - Meulage

Sujet : Homme 55 ans

Fréquence centre bandes de tiers d'octave(Hz)	Niveau de Bruit masquant (dB SPL)	Fénetre de niveaux perceptibles d'un signal (dB SPL)	Niveaux sonores des avertisseurs Pont Dombrico
125	73	87-100	
160	72	87-100	
200	67	87-100	
250	69	87-105	
315	77	95-105	
400	88	100-105	81
500	72	96-105	86
630	73	94-105	86
800	76	92-105	90
1000	76	91-104	89
1250	79	92-105	82
1600	78	94-105	78
2000	82	95-105	80
2500	82	95-105	79
3150	82	95-105	



Caractérisation des conditions de perception de l'avertisseur du pont roulant Dombrico en présence du bruit de l'atelier de meulage (Baie 2) tel que mesuré à l'oreille d'un auditeur normal (homme de 55 ans).

TABLEAU ET FIGURE 6

Avertisseurs sonores inadéquats ne répondant pas à plusieurs règles de conception ergonomique

Conditions ambiantes : Tunnel - 5114

Sujet : Homme 55 ans

Fréquence centre bandes de tiers d'octave(Hz)	Niveau de Bruit masquant (dB SPL)	Fénetre de niveaux perceptibles d'un signal (dB SPL)	Niveaux sonores des avertisseurs Buzzer #5114
125	53.8	74-87	
160	60.7	74-87	
200	64.4	78-91	
250	58.8	78-91	
315	60.4	78-91	
400	61.7	78-91	75
500	63.3	78-91	90
630	64.0	78-91	88
800	62.4	77-90	88
1000	61.9	77-90	99*
1250	63.1	77-90	97*
1600	60.9	76-89	85
2000	61.0	75-88	85
2500	59.5	73-86	93*
3150	60.0	73-86	84
4000	58.6		94
5000	57.2		83

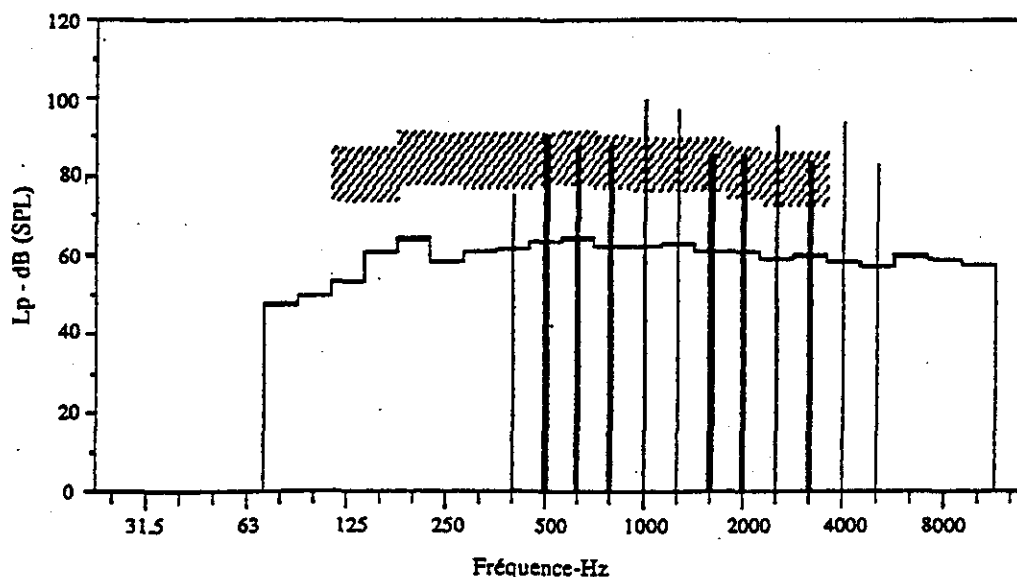


Figure Caractérisation des conditions de perception du ronfleur ("buzzer") à la boudineuse #5114 tel que mesuré à l'oreille d'un auditeur normal (homme de 55 ans).

TABLEAU ET FIGURE 7

Avertisseurs sonores adéquats répondant à toutes les règles de conception ergonomique.

Conditions ambiantes : Atelier 11 - Four à peinture

Sujet : Homme 55 ans

Fréquence centre bandes de tiers d'octave(Hz)	Niveau de Bruit masquant (dB SPL)	Fànetre de niveaux perceptibles d'un signal (dB SPL)	Niveaux sonores des avertisseurs
			Alarme d'arrêt du four à 3 m.
125	61	81- 94	
160	68	81- 94	
200	69	88-101	
250	74	88-102	
315	74	89-102	
400	75	91-104	
500	77	91-104	
630	77	91-104	
800	77	91-104	
1000	75	91-104	
1250	76	90-103	
1600	75	90-103	99
2000	75	89-102	93
2500	74	87-100	92
3150	74	87-100	96

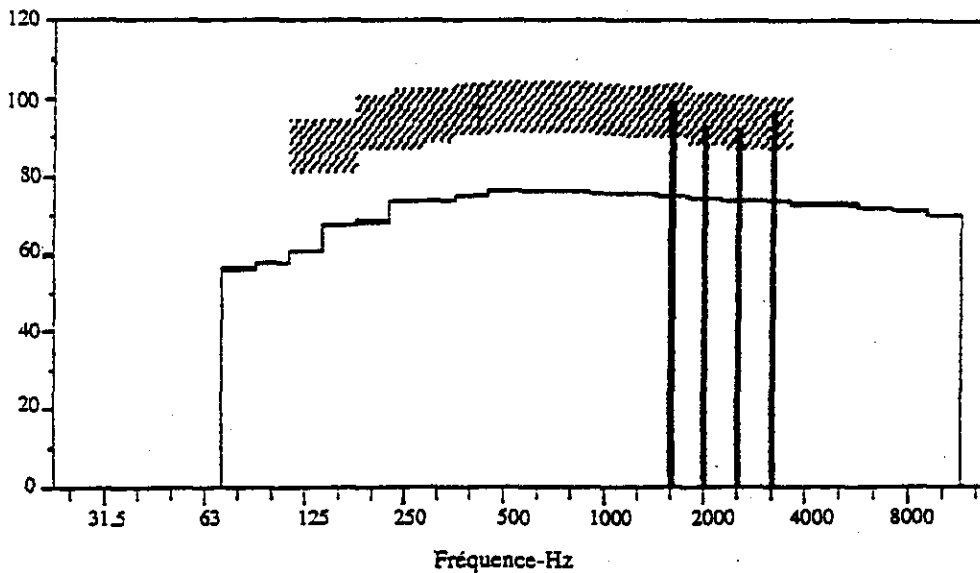


Figure Caractérisation des conditions de perception de l'avertisseur d'alarme du four à peinture tel que mesuré à l'oreille d'un auditeur normal (homme de 55 ans).

A la lumière des données recueillies dans les établissements, plusieurs rapports d'intervention soulignent le besoin d'une analyse systématique des conditions de perception des avertisseurs sonores: «*Puisque plusieurs avertisseurs utilisés actuellement ne satisfont pas des critères minima d'audibilité compte tenu du bruit, il y a lieu d'en examiner la pertinence et de faire une évaluation rigoureuse de leur fonction en particulier pour la sécurité des travailleurs. A cet égard, une étude ergonomique du rôle précis de ces avertisseurs serait probablement souhaitable. Elle pourrait conduire à une révision systématique de la conception des signaux eux-mêmes sur la base des résultats de la présente étude. Une telle révision devrait prendre en compte (a) la contribution éventuelle de la perte auditive conjuguée au port de protecteurs anti-bruit pour certains travailleurs et (b) les conditions de propagation des signaux faisant en sorte que le déplacement de la source sonore dans le cas des ponts roulants ne compromette pas l'audibilité du signal. L'étude pourrait également conduire au recours à d'autres formes de signalisation.*»⁶

Un suivi effectué en avril 1996 auprès de cinq établissements visités montre que tous ont réalisé au moins un début d'intervention visant à corriger les problèmes observés:

- ▶ préparation d'un plan d'action concernant les modifications à apporter à un poste de travail, changement de l'alarme d'incendie, vérification des avertisseurs des chariots élévateurs;
- ▶ plan d'action visant à adapter les avertisseurs de ponts roulants;
- ▶ modification de l'avertisseur d'un pont roulant pour passer d'une fréquence simple à une fréquence double;
- ▶ changements de l'avertisseur sonore dans une aire de travail et révision des tâches confiées à un travailleur atteint de surdité professionnelle;
- ▶ un programme visant à régler les problèmes de bruit à la source en changeant graduellement l'ensemble des meuses utilisées; plan d'action visant à adapter les avertisseurs dans certaines aires de travail et à rendre conformes les chariots élévateurs.

3.4 Les avertisseurs du matériel roulant

Pour illustrer la problématique des avertisseurs du matériel roulant (chariots élévateurs et véhicules de maintenance), examinons le rapport d'intervention de l'établissement H qui possède quatre chariots élévateurs et un véhicule de maintenance analysés par rapport aux douze (12) aires de travail dans lesquelles ils circulent.

6 Hétu, Raymond et S. Denis. *Caractérisation des avertisseurs sonores à [l'établissement AJ]. GAUM, mars 1995.*

3.4.1 Illustration de la problématique: le cas de l'établissement H

«Le Tableau 8 présente les caractéristiques spectrales des klaxons des différents types de véhicules. A noter que les signaux de recul ont été ignorés étant donné qu'ils sont le plus souvent jugés nuisibles et qu'ils ne transmettent généralement pas d'information utile. Comme l'indique le Tableau 8, les cinq types de klaxons sont différents, donc distinctifs. A l'exception du chariot électrique, ils comportent plusieurs composantes spectrales. Leurs niveaux sonores sont cependant très différents. Ainsi, on trouve des composantes à moins de 70 dB SPL (chariot électrique) et d'autres à plus de 90 dB SPL (chariot Caterpillar).

Lorsque l'on évalue l'audibilité de ces klaxons en fonction de l'aire de travail la plus bruyante, [...], un seul klaxon est clairement audible et ce, pour une seule composante spectrale. Cette situation est illustrée à la Figure 8. En somme, dans cette aire, l'usage d'un chariot élévateur signifie que les travailleurs ayant une audition normale ne pourraient pas réagir au son du klaxon même à faible distance (4 mètres), sauf, peut-être dans le cas du chariot Caterpillar. Même dans ce cas, si un travailleur présentait une perte auditive importante (de stade IV) et portait un protecteur anti-bruit dans des conditions optimales, ce signal ne serait pas perceptible...»⁷

TABLEAU 8

Niveaux de pression acoustique (dB SPL) en bande de tiers d'octave associés aux composantes spectrales des klaxons des véhicules opérés dans l'établissement «H».

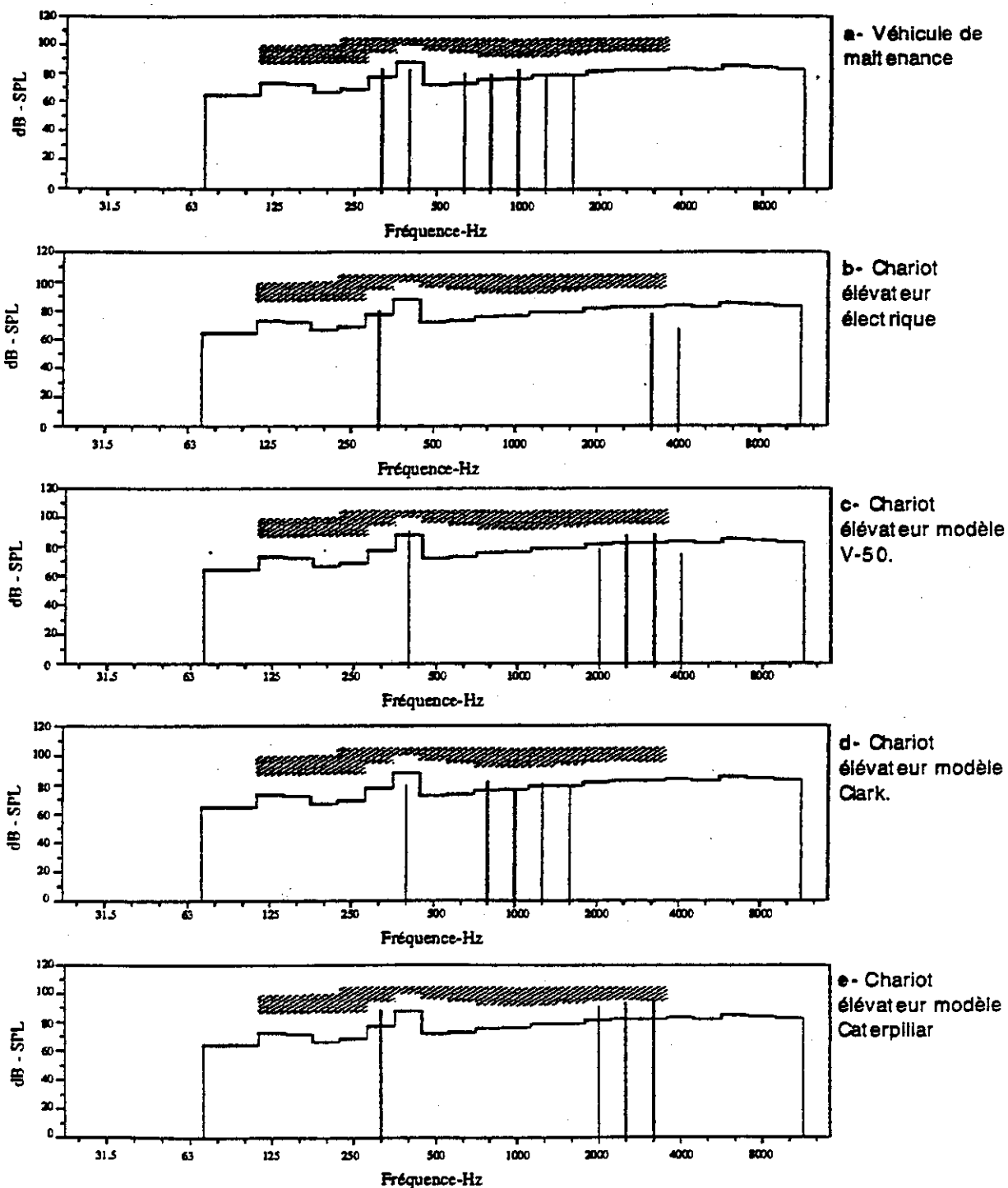
(mesure prise à une distance de 4 mètres à l'avant des véhicules)

Source sonore	Fréquence centre des bandes de tiers d'octave - kHz												
	0.25	0.315	0.4	0.5	0.63	0.8	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4
Véhicule de maintenance		83	82		80	80	82	78	79				
Chariot électrique		80										77	68
Chariot V-50			90							78	88	88	74
Chariot Clark			80			81	76	80	79				
Chariot Caterpillar		89								92	93	95	

7 Hétu, Raymond et S. Denis. *Caractérisation des avertisseurs sonores à [l'établissement H].*, GAUM, mars 1995.

FIGURE 8

Caractérisation des conditions de perception des klaxons des différents chariots élévateurs utilisés à l'établissement «H» pour une condition très bruyante (bruit de meulage) tel que mesurés à l'oreille d'un travailleur ayant une audition normale.



«Pour les autres aires de travail, la situation est très variable d'un modèle de véhicule à un autre, tel qu'indiqué au Tableau 9 [page suivante] qui reproduit le nombre de composantes spectrales clairement audibles en fonction des différentes aires de travail. Le klaxon le plus puissant, soit celui du chariot Caterpillar, est partout perceptible pour des auditeurs normaux, du moins sur la base d'une composante (95 dB SPL à 3150 Hz); mais celle-ci est trop forte pour 8 des aires de travail évaluées. Le klaxon du chariot V-50 est plus adéquat bien qu'il comporte un nombre très restreint de composantes audibles (entre 1 et 3) et que l'une d'elle soit parfois trop forte. Les deux autres modèles de chariots élévateurs, le chariot électrique et le chariot Clark, ainsi que le véhicule de maintenance sont clairement inadéquats pour la très grande majorité des aires de travail».⁸

8 Hétu, Raymond et S. Denis. *Caractérisation des avertisseurs sonores à [l'établissement HJ]. GAUM, mars 1995.*

TABLEAU 9

Nombre de composantes spectrales audibles des klaxons de chariots élévateurs selon les aires de travail de l'établissement «H».

Aires de travail	Véhicule de maintenance	Chariot électrique	Chariot V-50	Chariot Clark	Chariot Caterpillar
Baie #1 menuiserie	2/7	1/3	2/5*	2/5	1/4*
Baie #1 petite pièces	1/7	1/3	2/5*	0/5	1/4*
Baie #2 assemblage	4/7	1/3	2/5*	3/5	1/4*
Baie #2 meulage	0/7	0/3	0/5	0/5	0/4
Baie #4 ébavurage	0/7	0/3	1/5	0/5	3/4
Baie #5 alésage	0/7	0/3	3/5	0/5	4/4
Baie #6 chauffage pièces	0/7	0/3	0/5	0/5	0/4
Baie #6 meulage rouleaux	1/7	0/3	3/5	1/5	1/4*
Baie #6 tours verticaux	0/7	1/3	2/5	0/5	1/4*
Baie #7 rouleau	1/7	1/3	2/5*	0/5	1/4*
Baie #7 presse PB4	2/7	1/3	3/5*	0/5	1/4*
Baie #7 tours	0/7	0/3	2/5	0/5	2/4*

* Une ou plusieurs composantes excèdent les niveaux maxima requis.

3.4.2 Synthèse des observations et analyse des données recueillies

Le tableau suivant résume les observations qui proviennent des huit établissements visités.

TABLEAU 10
Observations et analyses des véhicules roulants dans les établissements visités

Établissement	Véhicules	Observations
A	3 véhicules 8 aires de travail	le véhicule de maintenance et un des 2 chariots ne peuvent être entendus à aucun poste de travail; l'autre chariot peut être entendu dans une seule des 8 aires de travail.
B	4 véhicules 13 aires de travail	le véhicule de maintenance peut être entendu dans 10 aires de travail mais il comporte au moins un spectre trop fort; 2 chariots ne peuvent être entendus dans aucune aire de travail; un chariot peut être entendu dans 4 aires de travail mais il comporte des spectres trop forts à trois endroits.
C	4 chariots 4 aires de travail	aucun chariot ne peut être entendu dans les aires de travail observées.
D	10 chariots 11 aires de travail	5 chariots ne peuvent être entendus dans les aires de travail observées; 2 peuvent être entendus dans deux des trois aires de travail observées; 3 autres chariots peuvent être entendus dans 8 des 22 situations étudiées.
E	4 chariots et 3 aires de travail	aucun chariot ne peut être entendu dans les aires de travail observées.
F	4 véhicules et 4 aires de travail.	aucun chariot ne peut être entendu dans les aires de travail observées.
G	2 véhicules 6 aires de travail	le chariot ne peut être entendu nulle part; le véhicule de maintenance peut être entendu dans une des 6 aires de travail.
H	5 véhicules 12 aires de travail	le véhicule de maintenance et un seul chariot peuvent être entendus dans une seule des 12 aires de travail; trois chariots ne peuvent être entendus dans aucune aire de travail.

Au total, 36 véhicules opérant dans 61 aires de travail ont été examinés, pour un total de 235 situations différentes. Le Tableau 11 présente la synthèse des résultats observés quant à l'audibilité des avertisseurs du matériel roulant des huit établissements visités, eu égard aux critères de conception ergonomique.

TABLEAU 11

**Performance des avertisseurs de véhicules roulants
(chariots élévateurs et véhicules de maintenance)**

Établissement	Aires de travail	Nombre de véhicules	Nombre de situations	Situations adéquates
A	8	3	24	1
B	13	4	52	14 ^a
C	4	4	16	0
D	11	10	43 ^b	12
E	3	4	12	0
F	4	4	16	0
G	6	2	12	1
H	12	5	60	2
TOTAL	61	36	235	30

a dans 13 situations sur 14, au moins un spectre est trop fort par rapport au bruit ambiant.

b tous les chariots et véhicules n'ont pas accès à toutes les aires de travail.

Dans ses rapports d'intervention produits en mars 1995 pour les établissements A et H, le professeur Héту conclut qu'*idéalement, il faudrait disposer d'un klaxon à multiples composantes dont le niveau sonore serait ajustable automatiquement en fonction du bruit ambiant*⁹.

9 Héту, Raymond et S. Denis. *Caractérisation des avertisseurs sonores à [l'établissement A ET H]*. GAUM, mars 1995.

Quelques mois plus tard, à la suite d'observations dans les établissements B et C, sa recommandation est différente: *«L'inefficacité des signaux de recul est à examiner en tenant compte de plusieurs contraintes ergonomiques, notamment le fait que le signal soit opéré de manière continue durant des périodes de temps plus ou moins longues et que l'opérateur soit exposé à ce signal étant donné la proximité de sa source... Il y a lieu de réexaminer la pertinence de ces signaux et de les remplacer éventuellement par un signal lumineux stroboscopique»*.¹⁰

10 Hétu, Raymond et S. Denis. *Caractérisation des avertisseurs sonores à [l'établissement B ET C]*. GAUM, juin 1995.

4.0 ADAPTATION DE POSTES DE TRAVAIL

4.1 Les situations étudiées

Ce sont deux conseillères en réadaptation de la Direction régionale de l'Île de Montréal (secteur 2) de la CSST qui ont manifesté le besoin d'une **évaluation des conditions d'adaptation d'un poste de travail aux contraintes imposées par la surdité professionnelle** de deux travailleurs, situés dans des établissements différents, pour qui des limitations fonctionnelles avaient établi à 85 dBA le niveau maximum de bruit auquel ils devaient être exposés. L'intervention consistait à analyser leurs conditions de travail, eu égard au bruit, et à proposer des éléments de solution qui leur permettraient de conserver leur emploi malgré leurs limitations fonctionnelles.

Dans les deux cas, l'adaptation du poste de travail devait tenir compte de deux contraintes: le travailleur ne devait pas être exposé à plus de 85 dBA et il devait être capable de percevoir les avertisseurs sonores normalement utilisés dans les aires de travail. Pour Monsieur G, les solutions proposées devaient lui permettre, sur une base régulière, de communiquer verbalement avec d'autres travailleurs dans plusieurs départements de l'établissement, de participer à certaines réunions et de répondre au téléphone.

Ces études ont aussi été l'occasion d'évaluer l'efficacité des avertisseurs sonores pour l'ensemble des travailleurs des établissements concernés.

4.2 Les caractéristiques de l'intervention

Dans les deux établissements étudiés, la démarche comportait d'une part, une analyse du bruit ambiant dans les aires de travail, une caractérisation des avertisseurs sonores, une identification de la fenêtre de conception en tenant compte du niveau de surdité professionnelle du travailleur, une proposition de moyens devant permettre le maintien du lien d'emploi du travailleur. La méthodologie utilisée correspond à celle qui a été décrite à la section 3.2, si ce n'est que, pour l'établissement F, *«les cycles d'opération ont été identifiés et caractérisés en termes de niveau équivalent continu de pression acoustique pondéré A pour la durée T d'un cycle.»*¹¹

Des rencontres privées ont eu lieu entre le professeur Héту et le travailleur, complétées par des rencontres avec les membres du Comité de santé-sécurité de l'établissement. Dans les deux cas, un rapport d'intervention a été déposé au travailleur et au Comité de santé et de sécurité, prenant en compte la situation particulière du travailleur et aussi celle de l'établissement.

11 Héту, Raymond et S. Denis. *Caractérisation des avertisseurs sonores à [l'établissement F]*. GAUM, décembre 1994.

4.3 La caractérisation des avertisseurs sonores

Voici quelles sont les observations retenues par le professeur Héту pour l'analyse de la situation des travailleurs F et G.

Travailleur et établissement F

«Les niveaux sonores associés aux klaxons diffèrent selon le modèle de chariot élévateur. Tout se passe comme si la puissance acoustique du klaxon était fonction non pas du bruit ambiant dans l'aire de déplacement prévue mais plutôt de la puissance mécanique du chariot.

Les composantes dominantes se trouvent en hautes fréquences pour [deux] chariots. Il s'agit de fréquences pour lesquelles l'acuité auditive est souvent déficiente chez des travailleurs exposés au bruit. Pour une personne qui souffre d'une perte auditive due au bruit, comme [Monsieur F.], même le klaxon le plus puissant est inaudible s'il porte des protecteurs anti-bruit. En l'absence de protection, tous les klaxons sont perceptibles par [M.F.] à condition que le niveau de bruit ambiant soit de 20 à 25 dB inférieur à celui mesuré pour les différentes composantes spectrales des signaux se situant en deça de 2kHz. Il s'agit d'une situation impossible dans le contexte des opérations de l'usine.»

Le klaxon du chariot électrique et du balai, de même que les signaux de reculs de tous les chariots sont trop peu puissants pour être entendus dans un environnement quelque peu bruyant, même pour des personnes ayant une excellence acuité auditive.

Les résultats montrent qu'aucun signal ne rencontre les niveaux requis, si l'on tient compte de la nécessité de disposer de 4 composantes audibles par signal.»¹²

Travailleur et établissement G

«Les niveaux sonores associés aux avertisseurs d'opération des ponts roulants sont très variables d'une source à l'autre... Certains avertisseurs ont une puissance acoustique définitivement trop faible pour assurer une audibilité en présence d'opérations particulièrement bruyantes...

Le nombre de composantes spectrales est relativement élevé, condition favorable à l'audibilité et à la reconnaissance des signaux. De plus, les composantes dominantes se trouvent généralement entre 1 et 1,6 kHz; il s'agit de fréquences pour lesquelles l'acuité auditive est généralement peu affectée par l'exposition au bruit. En ce sens, la composition spectrale des signaux est satisfaisante bien que les niveaux sonores méritent une révision systématique.

Les signaux de recul des chariots élévateurs sont constitués de sons purs (une seule ou deux fréquences). Il s'agit des conditions les plus défavorables à la détection et à la localisation auditive. Toutefois, avant toute révision de ces signaux, il faut examiner leur pertinence pour la sécurité des gens.»¹³

12 Héту, Raymond et S. Denis. *Caractérisation des avertisseurs sonores à [l'établissement F]*. GAUM, décembre 1994.

13 Héту, Raymond et S. Denis. *Caractérisation des avertisseurs sonores à [l'établissement G]*. GAUM, janvier 1995.

4.4 L'adaptation des avertisseurs aux contraintes imposées par la surdité

Travailleur et établissement F

«Etant donné l'ampleur et la configuration de la perte auditive de M.[F], on peut considérer deux alternatives: (a) modifier tous les avertisseurs de façon à faire en sorte que les composantes spectrales soient inférieures à 2kHz, tout en maintenant le caractère distinctif des signaux; (b) acheminer les signaux sonores sous une autre modalité, au moyen d'un émetteur et d'un récepteur MF couplé à un capteur vibratoire et lumineux porté à la ceinture. La première solution est envisageable mais représente des contraintes très strictes au plan de la faisabilité...

La deuxième solution implique d'installer des capteurs appropriés aux klaxons existants ou corrigés et de vérifier la compatibilité du système MF avec les conditions normales d'opération des klaxons, d'une part, et les activités de travail de M.F., d'autre part. Cette solution implique la participation d'un audioprothésiste et d'un technicien pour l'installation du système et la vérification de la compatibilité des équipements [environ 2500\$].»

«Si M... est appelé à travailler à la presse à extrusion, il y a lieu de prévoir l'installation d'un indicateur visuel pour l'informer de la condition d'astreinte du compresseur...» 6

«Dans le cas où M... occuperait un poste de travail où il doit communiquer verbalement avec un autre opérateur, il y aurait lieu de prévoir l'utilisation d'un nouveau type de prothèse auditive couplée à un récepteur FM lequel recevrait le signal verbal du compagnon de travail via un émetteur MF et d'un microphone portés par ce dernier. L'embout de l'aide auditive devrait être munie d'un événement variable ("select-a-vent") que l'utilisateur pourrait fermer durant les heures de travail au moyen d'un bouchon approprié. En l'absence de communication, l'aide auditive devrait être mise hors-circuit. Dans un cas comme dans l'autre, l'embout agirait comme un protecteur anti-bruit étanche [environ 1500\$].»¹⁴

Travailleur et établissement G

«La contrainte majeure du poste de travail [...] est la communication verbale avec des travailleurs disséminés dans l'usine. Pour faciliter la communication, nous recommandons que [M. G.] porte deux aides auditives (adaptées à la configuration de sa perte), dont l'une serait munie d'une entrée audio couplée à un microphone directionnel porté à la main. L'aide auditive devrait comporter un système de compression de façon à limiter rigoureusement le niveau de sortie en présence de bruits intenses qui n'auraient pas pu être évités. Le microphone devrait être muni d'un écran pare-poussière; ce microphone porté à la main pourra augmenter considérablement le rapport signal-bruit en l'orientant vers la personne qui parle. Il devrait également capter les avertisseurs sonores s'ils sont suffisamment puissants; des essais seront nécessaires pour vérifier cette condition. Les embouts des deux aides auditives doivent être obturants de manière à agir comme protecteurs auditifs. L'aide qui n'est pas branchée à un microphone externe devrait être portée hors-circuit lors des déplacements dans l'usine. Par ailleurs, elle pourra être mise en opération dans des locaux de réunions et des endroits non-bruyants afin de faciliter l'écoute et la communication. L'aide devrait également être munie d'un télécapteur pour l'écoute du téléphone. Il faudrait par ailleurs s'assurer que tous les récepteurs téléphoniques de l'usine soient compatibles avec l'usage d'aides auditives.»¹⁵

14 Héту, Raymond et S. Denis. *Caractérisation des avertisseurs sonores à [l'établissement F]*. GAUM, décembre 1994.

15 Héту, Raymond et S. Denis. *Caractérisation des avertisseurs sonores à [l'établissement G]*. GAUM, janvier 1995.

4.5 La mise en oeuvre des solutions proposées

Après vérification auprès des conseillères en réadaptation, on peut affirmer que le projet de démonstration a permis d'adapter les postes de travail aux contraintes imposées par la surdité professionnelle des travailleurs. La démarche a aussi permis de sensibiliser le milieu à la nécessité d'une révision exhaustive des avertisseurs sonores pour l'ensemble de l'établissement.

Dans le cas de l'établissement et du travailleur F¹⁶, plutôt que de recourir au système émetteur-récepteur MF, les intervenants impliqués ont décidé que Monsieur F. ne travaillerait que dans les aires de travail moins bruyantes, qu'il recevrait une formation supplémentaire sur une autre machine; de plus, il a été convenu de changer la plupart des avertisseurs sonores de l'établissement, en conformité avec les recommandations du professeur Héту. Enfin, Monsieur F. a reçu l'aide de l'Institut Raymond Dewar pour son problème d'acouphènes.

Pour l'établissement et le travailleur G., les recommandations du professeur Héту ont été mises en application et le travailleur a pu maintenir son emploi. Les observations effectuées en fonction des problèmes particuliers de ce travailleur ont aussi amené une réflexion et des décisions sur le contrôle du bruit ambiant généré par certains outils de travail. Pour le travailleur, on a eu recours à *«l'usage d'aides auditives permettant de communiquer verbalement, tout en minimisant l'exposition sonore sans empêcher la perception des avertisseurs sonores.»* Les solutions proposées tiennent compte à la fois *«de la protection contre le bruit ambiant, de la détection des avertisseurs et de la communication verbale.»*¹⁷

4.6 Les problèmes résiduels

Pour le professeur Héту, *«ces résultats montrent qu'il serait nécessaire d'entreprendre une révision de ces avertisseurs de manière à assurer qu'ils soient clairement audibles dans les conditions défavorables de bruit. Dans une telle hypothèse, il y aurait lieu de tenir compte de l'influence (a) de la perte auditive dont pourrait être affectés certains opérateurs et (b) du port de protecteurs individuels dans les aires de travail les plus bruyantes.»*^{16 et 17}

Il ajoute qu'on devrait *«examiner la pertinence des signaux de recul des chariots élévateurs, celle-ci étant remise en question dans plusieurs milieux de travail»*, et effectuer une vérification minutieuse de l'alarme d'incendie.

16 Héту, Raymond et S. Denis. *Caractérisation des avertisseurs sonores à [l'établissement F].* GAUM, décembre 1994.

17 Héту, Raymond et S. Denis. *Caractérisation des avertisseurs sonores à [l'établissement G].* GAUM, janvier 1995.

5.0 APPRÉCIATION DES RÉSULTATS DE L'INTERVENTION

Les résultats du projet de démonstration peuvent être appréciés en fonction de notre capacité à diagnostiquer les problèmes reliés aux avertisseurs sonores, à supporter le maintien en emploi des travailleurs atteints de surdité professionnelle et à contribuer à la prévention des lésions professionnelles qui peuvent être causées par l'incapacité à entendre les avertisseurs.

5.1 La capacité diagnostique

Les observations réalisées dans 65 aires de travail montrent que les connaissances nécessaires au diagnostic de l'audibilité des avertisseurs sonores sont disponibles, efficaces et efficaces. On peut maintenant:

- ▶ caractériser les avertisseurs sonores en termes de fréquences par tiers d'octave et de pression acoustique,
- ▶ caractériser le bruit ambiant selon les mêmes variables,
- ▶ déterminer la fenêtre d'audibilité et de conception du signal, en tenant compte des caractéristiques d'audition des travailleurs et du port de protecteurs individuels.

Les outils techniques disponibles sont les appareils de mesure identifiés à la section 3.2 du rapport et le logiciel Détectson développé par le GAUM et commercialisé par Sonométric Inc.

5.2 La capacité à supporter le maintien du lien d'emploi

- ▶ Les interventions réalisées dans le but de maintenir en emploi un travailleur atteint de surdité professionnelle sont bien accueillies par les membres des Comités de santé et de sécurité et par les dirigeants des établissements.
- ▶ Ce type d'intervention nécessite qu'un audiogramme détaillé soit disponible et qu'on puisse retenir les services d'un audioprothésiste.
- ▶ Les changements ont été effectués soit au niveau du travailleur lui-même, par le recours à des prothèses auditives, soit au niveau de l'environnement de travail, par le changement des avertisseurs sonores inadéquats ou par une délimitation des aires de travail conformes aux limitations fonctionnelles du travailleur.
- ▶ Le fait que le maintien du travailleur à son emploi, malgré ses limitations fonctionnelles, soit conditionné par le succès de l'intervention maximise les chances de succès de la démarche.

- ▶ L'atteinte des objectifs est facilitée par le fait que les coûts reliés au maintien du lien d'emploi sont assumés par la CSST dans le cadre de ses indemnités de réadaptation.
- ▶ Les interventions reliées au maintien du lien d'emploi provoquent une réflexion plus globale sur l'audibilité des avertisseurs sonores pour l'ensemble des travailleurs de l'établissement.

5.3 La capacité à prévenir les lésions professionnelles

- ▶ Le niveau de conscience des problèmes qui peuvent être reliés aux avertisseurs sonores est très faible; les avertisseurs sont généralement installés depuis longtemps et personne ne se pose de question à leur égard; lorsqu'un avertisseur fait défaut, on s'adresse à un fournisseur pour le remplacer, sans trop savoir quoi lui demander en terme de caractéristiques spécifiques.
- ▶ La révision des avertisseurs sonores n'est pas une priorité pour les Comités de santé et de sécurité et pour les établissements; dans un contexte où les ressources financières sont limitées, plusieurs autres problèmes perçus comme plus importants sont traités en priorité.
- ▶ Dans plusieurs aires de travail, le niveau de bruit ambiant peut varier au cours d'un quart de travail, ce qui fait varier la fenêtre d'audibilité et de conception: un avertisseur audible dans certaines circonstances pourrait ne plus l'être si le bruit ambiant augmente ou pourrait être trop puissant dans un autre contexte.
- ▶ Les avertisseurs des chariots élévateurs et des véhicules de maintenance sont presque toujours inadéquats; on peut même s'interroger sur la pertinence d'avoir des avertisseurs sonores sur les chariots et les véhicules; le cas échéant, ils devraient être programmables pour s'adapter aux conditions de bruit ambiant dans les aires de travail qu'ils parcourent; d'autres systèmes d'avertisseurs de danger pourraient être étudiés.
- ▶ Les fournisseurs d'avertisseurs sonores contactés ne connaissent pas les caractéristiques fréquentielles de leurs produits et ne peuvent fournir un équipement conforme aux limites définies par la fenêtre de conception.
- ▶ Dans plusieurs aires de travail où le bruit ambiant est élevé, les intervenants sont amenés à intervenir «à la source» pour tenter de diminuer le bruit ambiant, la fenêtre de conception étant trop étroite pour qu'un avertisseur sonore rencontre les critères de conception ergonomique.
- ▶ La problématique des avertisseurs sonores doit être abordée dans une perspective plus large de réduction du bruit ambiant; à plusieurs endroits, une révision complète des avertisseurs doit être effectuée, à commencer par une identification de leur fonction.

6.0 CONCLUSION

Ce projet a démontré que les connaissances développées par l'équipe de recherche du GAUM pouvaient être utilisées pour s'assurer de l'audibilité des avertisseurs sonores, quelles que soient les capacités auditives des travailleurs. Au-delà de certaines difficultés de mise en application, l'équipe a constaté la nécessité de s'interroger sur la place que doivent occuper les avertisseurs sonores parmi l'ensemble des avertisseurs de dangers.

A la lumière des résultats obtenus, il appartient maintenant aux intervenants d'examiner comment et jusqu'à quel point la démarche proposée peut être généralisée et utilisée dans le cadre d'activités de maintien du lien d'emploi et de prévention des lésions professionnelles.

Enfin, est-il nécessaire de rappeler que les énergies consacrées aux avertisseurs de dangers ne doivent pas remplacer la réflexion et les interventions ayant pour but l'élimination des dangers à la source.

Jean-Charles Guindon, avec la collaboration de
Raymond Héту, Laurent Gratton et Pierre-Luc Arsenault.

ANNEXE 1

**Extraits d'un rapport de recherche
déposé à l'IRSST en septembre 1995**

par

Raymond Héту, Hung Tran Quoc et Richard Larocque

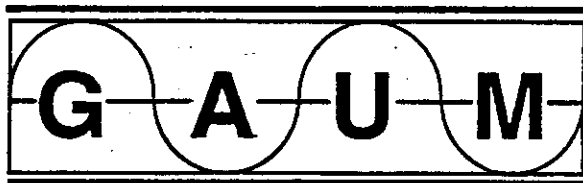
intitulé

***Conception ergonomique des avertisseurs sonores de danger
pour les milieux de travail réverbérants et bruyants***

**Conception ergonomique des avertisseurs sonores de
danger pour les milieux de travail réverbérants et
bruyants**

Subvention N/D PE-93-01
Rapport Final
Programme de recherche subventionnée
IRSST

Raymond Hétu, Hung Tran Quoc et Richard Larocque



Groupe d'acoustique de l'université de Montréal

Septembre 1995

Annexe 1

Guide de conception d'avertisseurs sonores pour les milieux industriels

- La signification apprise des signaux:

Par convention et par tradition, les sirènes sont associées à un message d'urgence et de danger (Lazarus et Höge, 1986). Il y a donc lieu de tirer parti de cette situation en réservant leur usage à ce type de message. Tel que décrit dans le présent rapport, les sons modulés en fréquence que les sirènes génèrent résistent bien à l'effet de la réverbération sonore sur la reconnaissance des signaux. Il s'agit donc d'un marqueur privilégié pour les alarmes d'incendie ou autres urgences majeures. Dans ce contexte, il est hautement souhaitable d'en limiter le recours à ce type d'usage. Par ailleurs, dans certains milieux de travail, un certain type de signal a pu être utilisé depuis de nombreuses années dans un certain contexte: par exemple, l'opération d'un ronfleur ("buzzer") pour informer les opérateurs de l'arrêt du procédé. Il est souhaitable de tenir compte de cette pratique et du fait que les employés ont déjà attribué une signification spécifique à un tel signal en limitant son recours à cet usage, dans la mesure où il rencontre bien les différentes contraintes imposées par le milieu telles que décrites plus bas.

La planification de la signalisation acoustique fait donc appel à un examen des pratiques en cours de façon à rationaliser l'usage des signaux sonores. Par ailleurs, l'implantation de nouveaux signaux ou l'optimisation des signaux déjà en place fait appel à l'analyse des contraintes propres à la signalisation acoustique en milieu industriel, lesquelles sont résumées plus bas.

2. Principales contraintes à satisfaire

Les principales contraintes à satisfaire pour une conception ergonomique des avertisseurs sonores en milieu industriel sont les suivantes: la prise en compte du bruit ambiant et de la réverbération, la multiplicité et la fréquence d'émission des signaux, la mobilité de certaines sources sonores. Chacune d'entre elles est examinée et des règles générales de conception des avertisseurs sonores sont proposées. Ces règles sont résumées au Tableau A1.

Tableau A1. Règles générales de conception des avertisseurs sonores pour les milieux de travail industriels.

- (R1) S'assurer que le niveau du signal excède de +13 dB celui du bruit, l'un et l'autre étant mesurés en bandes de tiers d'octave.
- (R2) Limiter le niveau du signal à +25 dB au-dessus du niveau (en bandes de tiers d'octave) de celui du bruit et à un maximum absolu de 105 dB SPL.
- (R3) Limiter au minimum la durée de montée et de descente du signal à 20 milli-secondes.
- (R4) Imposer une limite supérieure à la plage fréquentielle des signaux à 3000 Hz.
- (R5) Eviter rigoureusement l'usage de sons purs; un signal résistant aux effets de masque, facile à reconnaître, doit compter un minimum de 4 composantes fréquentielles.
- (R6) Imposer des durées de montée et de descente de l'enveloppe de pression égales ou supérieures à 20 ms.
- (R7) Imposer une limite inférieure à la plage fréquentielle des signaux à 300 Hz.
- (R8) Limiter la distance source-récepteur à la distance critique et multiplier les sources afin de couvrir une aire de travail donnée.
- (R9) Dans le cas où il s'avère impraticable de limiter la distance source-récepteur, il est préférable de recourir à un signal modulé en fréquence.
- (R10) Graduer l'urgence ou la priorité de l'avertissement en élevant la fréquence fondamentale du signal et en accroissant le nombre total de pulsations sonores.
- (R11) Associer une variation systématique du contenu fréquentiel à la variation de l'intervalle inter-pulsation lorsque plusieurs signaux pulsés ont pour cible un même récepteur.
- (R12) Limiter à 6 le nombre de signaux sonores distincts ayant pour cible un même poste de travail.
- (R13) Eviter de recourir à un signal sonore si l'avertissement doit être émis durant plusieurs dizaines de secondes.
- (R14) Eviter de recourir à un signal sonore si l'avertissement doit être émis de manière hautement répétitive.

Dans le cas de signaux dont il faut localiser la source

- (R15) Réduire le front de montée du signal à moins de 10 ms.
- (R16) Eviter de recourir à des sources directionnelles.
- (R17) Maximiser le nombre de composantes spectrales et la gamme fréquentielle du signal.
- (R18) S'assurer que la durée totale du signal soit supérieure à 1 seconde.
- (R19) Eviter de recourir à un signal sonore pour informer du déplacement d'une masse dans le plan vertical.

1. Introduction

L'utilisation de signaux sonores avertisseurs en milieu de travail industriel est soumise à un ensemble de contraintes. Pour assurer l'efficacité de tels signaux, en particulier quand il s'agit de questions de sécurité, il est essentiel de satisfaire ces contraintes. Le paragraphe qui suit passe en revue en retenant les dispositions et spécifications qu'elles imposent à la conception des signaux.

2. Planification de la signalisation acoustique en milieu industriel

Dans l'état actuel des pratiques, la signalisation acoustique en milieu industriel a un caractère plutôt anarchique en ce sens qu'elle ne fait pratiquement l'objet d'aucune planification. C'est ce que révèlent les résultats d'études descriptives menées récemment dans des industries québécoises (Héту, 1994; Héту et Denis, 1995). Il y a d'ailleurs toutes les raisons de croire que la même situation prévaut dans d'autres pays industrialisés. Des signaux sont implantés et opérés sans égard aux signaux déjà en place dans une aire de travail, sans ajustement rigoureux par rapport au niveau du bruit ambiant qui prévaut et aux distances qui séparent la source des cibles visées. Il arrive souvent qu'un même type de source, par exemple, une cloche ou une sirène, soit utilisée à des fins très différentes dans plusieurs aires de travail. On trouve des cas où il y a surabondance de signaux sans marques acoustiques de priorité des uns par rapport aux autres. De manière générale, les avertisseurs sonores sont conçus et réglés par les fournisseurs des divers équipements installés ou opérés dans une usine, c'est-à-dire par des intervenants extérieurs à l'environnement spécifique dans lequel ils sont utilisés. Le cas des klaxons et des signaux de recul des chariots élévateurs est particulièrement éloquent à cet égard.

En contexte de sécurité du travail, il y a lieu de planifier soigneusement la signalisation acoustique. Pour ce faire, on peut recourir aux six repères suivants:

- La définition de la fonction du signal:

Avant d'installer un nouveau signal avertisseur ou au moment de rationaliser la signalisation acoustique d'un milieu de travail, il est essentiel de préciser le besoin auquel le recours à un signal sonore doit répondre. Des observations sur le terrain nous ont montré que plusieurs signaux étaient opérés par tradition sans que leur utilité ne puisse être confirmée par les opérateurs ou les responsables de la sécurité du travail. L'exemple le plus commun est fourni par les signaux de recul des chariots élévateurs. Ils sont installés de façon systématique sur tous les véhicules. Leur opération quasi-continue est gênante sinon dangereuse pour le conducteur du véhicule tout en étant ignorée par les personnes qui se trouvent dans son aire de circulation. Les questions suivantes peuvent aider à définir le besoin auquel doit répondre l'avertisseur: quelle information doit-il la transmettre, à qui doit-elle être transmise et dans quelles circonstances?

Le fait de préciser la fonction exacte du signal à concevoir ainsi que le contexte de son opération, lorsque un tel signal est jugé pertinent, facilite sa conception.

- L'univocité du signal:

L'usage des sirènes est très fréquent en usine, à un point tel qu'elles sont utilisées pour transmettre des messages très différents: par exemple, le déplacement d'un pont roulant et l'alarme d'un incendie. En contexte de sécurité, on ne peut prendre de risques que la signification d'un signal soit confondue avec celle d'un autre. C'est pourquoi il faut attribuer une signification unique à un type de signal de sécurité pour l'ensemble d'un milieu de travail. Les possibilités de différenciation des signaux par manipulation de leurs paramètres acoustiques sont très grandes. Il est difficilement concevable que l'on s'en tienne à deux ou trois types de signaux (e.g. cloches, sirènes et ronfleurs) pour transmettre toute information sonore.

- La priorité et la compatibilité des signaux:

Puisque les avertisseurs sonores sont couramment utilisés tant à des fins de sécurité que pour informer de l'état du procédé de production, il est essentiel de marquer clairement la priorité de chacun. On trouve par exemple des cloches qui opèrent de façon ininterrompue jusqu'à l'intervention d'un opérateur pour attirer son attention sur l'ajustement d'une machine; au même endroit, le déplacement d'une charge de plusieurs tonnes par un pont roulant est signalé par un son d'une durée de moins d'une seconde. Tel que décrit plus bas, il est possible de concevoir un signal transmettant un appel urgent par sa seule conception acoustique. Certaines caractéristiques physiques du signal lui confère d'emblée un message d'urgence. Il est important d'utiliser ces indices de façon appropriée. D'une manière générale, il est souhaitable de rendre compatible la signification du signal avec ce que sa seule signature acoustique évoque.

2.1 La prise en compte du bruit ambiant

La présence de bruits plus ou moins intenses constitue un dénominateur commun des milieux industriels. Indépendamment de la conformité des niveaux d'exposition sonore avec les règlements en vigueur, les ambiances sonores imposent des contraintes importantes à la capacité des travailleurs à percevoir les signaux sonores.

Une première contrainte d'ordre très général est caractérisée par l'effet de masque du bruit sur la détection d'un signal. Cet effet dépend du rapport Signal/Bruit dans les bandes de fréquences qui correspondent aux filtres auditifs sollicités par les composantes du signal. A l'effet de masque, on doit ajouter l'effet du bruit ambiant sur la capacité à prêter attention à la présence d'un signal ainsi qu'à la capacité de reconnaître celui-ci. On estime qu'un rapport Signal/Bruit de +13 dB mesuré en bandes de tiers d'octave assure la détection, la sollicitation de l'attention et la possibilité de reconnaître un signal distinctif dans le bruit (ISO, 1986). Le logiciel DETECTSON permet de caractériser directement le niveau des composantes fréquentielles d'un signal étant donné le spectre du bruit ambiant à un emplacement donné, en tenant compte de la capacité auditive d'une population normale (Tran Quoc et al., 1992).

Une deuxième contrainte est associée précisément au fait que le bruit ambiant plus ou moins élevé constitue une source de gêne pour les travailleurs (Hétu, 1993). Le fait de sur-ajouter des avertisseurs sonores contribue souvent à accuser cette gêne d'autant plus que la fréquence d'émission est élevée. Deux dispositions sont nécessaires pour limiter la gêne associée aux avertisseurs sonores eux-mêmes, soit la limite du rapport Signal/Bruit à un maximum de +25 dB et le maintien des durées de montée et de descente à plus de 20 ms (Patterson, 1982). De plus, il est nécessaire d'imposer une borne supérieure au niveau de pression acoustique des signaux sonores. En effet, un signal ne doit pas induire une fatigue auditive et ne doit pas constituer en lui-même un risque d'atteinte auditive permanente par l'énergie acoustique générée pour le transmettre en milieu bruyant. Une limite absolue de 105 dB SPL en bandes de tiers d'octave constitue une telle borne (GAUM, 1992, p. 38]. Le logiciel DETECTSON applique systématiquement ces règles pour ce qui concerne le niveau sonore du signal. Quant aux durées de montée et de descente, on doit intégrer celles-ci à une stratégie générale de conception de conception d'avertisseurs.

La troisième contrainte qu'impose la présence de bruits intenses en milieu de travail industriel est l'effet de la conjugaison de pertes auditives et du port de protecteurs individuels. En industries bruyantes, la prévalence de pertes auditives d'origine professionnelle est très élevée (Hétu et al., 1987) tout comme le recours aux moyens individuels de protection. Or, dans de tels cas, l'affaiblissement sonore du protecteur s'additionne à l'élévation du seuil d'audition, faisant en sorte qu'en hautes fréquences en particulier, les seuils de détection peuvent atteindre des niveaux voisins de ou supérieurs à 100 dB SPL (Hétu et al., 1995a). Ce phénomène est également prévisible au moyen du logiciel DETECTSON.

La règle qui en découle (R4: voir Tableau A1) signifie, en pratique, d'éviter rigoureusement d'utiliser des cloches et des sifflets comme sources sonores, leur contenu en fréquences étant généralement au-delà de 3000 Hz. La règle suivante (R5) invite à remplacer systématiquement les avertisseurs installés par les fournisseurs d'équipements industriels lorsque ils sont constitués de sources tonales (une seule fréquence, généralement très élevée) par une source à composantes multiples.

2.2 La prise en compte de la réverbération sonore

La réverbération impose un ensemble de contraintes sur la conception des signaux avertisseurs. La première est liée aux interférences géométriques ou effets modaux observables avec des sons purs, en particulier, en basses fréquences. En pratique, la propagation des sons de fréquences inférieures à 300 Hz est très sujette à des effets modaux dans les locaux de grandes dimensions tels qu'on les rencontre en milieu industriel. En conséquence, en plus d'éviter l'usage de sons purs, il est fortement souhaitable d'imposer une borne inférieure de 300 Hz à la plage fréquentielle des signaux.

Par ailleurs, les résultats de la présente étude montrent que la distance source-récepteur peut jouer un rôle significatif sur la reconnaissance de signaux pulsés ou modulés en amplitude. En contexte de sécurité du travail, on pourra éviter de compromettre la reconnaissance de tels signaux en maintenant au minimum la distance entre la source et le récepteur, la limite étant la distance critique. Cette disposition assure le contrôle non seulement de l'allure temporelle du signal en

milieu réverbérant, mais aussi du niveau sonore à l'emplacement du récepteur. En effet, lorsque le signal émerge d'une seule source dans un local de grandes dimensions, il parvient à un niveau souvent excessif aux travailleurs qui se situent à proximité de celle-ci et à un niveau insuffisant à ceux qui en sont éloignés.

Limiter la distance source-récepteur permet par ailleurs d'optimiser la spécificité des cibles visées par un même signal. Plus la distance est faible, plus il est facile de contrôler le niveau sonore du signal de manière à ce qu'il ne soit clairement audible qu'aux postes de travail concernés. Ce contrôle prévient la gêne due à des signaux inutiles (Hétu, 1993) et l'habituation à certains avertisseurs qui pourraient s'avérer pertinents de façon occasionnelle.

Dans certaines situations, il pourrait s'avérer impraticable de limiter la distance source-récepteur. Sur la base des résultats rapportés plus haut, on peut affirmer que le recours à un signal modulé en fréquence en assurera la reconnaissance malgré la réverbération du local.

L'usage des sons pulsés offre une grande versatilité dans la conception de signaux distinctifs. Il permet en outre de traduire de façon immédiate et très efficace l'urgence de l'avertissement (Hellier et al. 1993). Dans ce contexte, le caractère périodique de la pulsation est prépondérant par rapport à d'autres configurations temporelles. Plus l'intervalle inter-pulsation est court, plus le signal est perçu comme véhiculant l'urgence. Toutefois, en milieu fortement réverbérant, il n'est pas possible de manipuler de façon fidèle l'intervalle inter-pulsation. Celui-ci doit être limité au minimum à 150 ms conformément aux résultats rapportés plus haut. Par ailleurs, la reconnaissance de pulsations périodiques s'est avérée sensible à l'effet de la réverbération. Dans ces conditions, il est préférable de recourir à un marqueur d'urgence plus résistant aux effets de la réverbération soit la fréquence fondamentale du signal. Plus celle-ci est élevée, plus le signal est perçu comme avertissement d'urgence (Hellier et al. 1993). En outre, le nombre total de pulsation et, par conséquent, la durée totale du signal, peuvent être utilisés pour souligner le caractère urgent de l'action à poser.

Par ailleurs, il pourrait être utile de recourir à des signaux pulsés malgré la présence de conditions réverbérantes. Dans ce cas, on évitera toute confusion éventuelle en associant une composition spectrale distinctive à chaque type de pulsation.

Enfin, dans le cas de sources sonores mobiles dont il faut localiser la provenance, la réverbération peut compromettre ou ralentir l'identification de l'origine du signal par le récepteur. Pour minimiser l'influence de la réverbération dans ce contexte, il est souhaitable d'imposer un front de montée raide au signal. La durée de montée devrait alors être de l'ordre de 5 à 10 ms (Rakerd et Hartman, 1986). Cette disposition risque toutefois de rendre le signal gênant (R3: voir Tableau A1). Il faut donc y recourir le moins possible.

2.3 La multiplicité des signaux à un poste de travail donné

Le recours aux avertisseurs sonores est relativement commode du fait de leur pouvoir de mobilisation immédiate de l'attention. Toutefois, on ne peut multiplier indéfiniment le nombre de signaux à reconnaître. L'exemple des salles de chirurgie et de soins intensifs est instructif à cet égard. Les équipements utilisés génèrent jusqu'à 24 signaux différents alors que le personnel soignant n'en reconnaît qu'une dizaine (Momtahan et al., 1993). On trouve parfois des situations analogues en industrie lorsque plusieurs machines installées à proximité les unes des autres sont munies chacune d'un assortiment d'avertisseurs sonores.

Des essais en laboratoire ont montré qu'il est facile d'apprendre à reconnaître 5 ou 6 signaux distinctifs; mais au-delà de ce nombre, l'effort pour apprendre augmente, et la persistance de l'apprentissage diminue (Patterson, 1982). Il faut donc planifier le recours aux signaux sonores avertisseurs de manière à limiter le nombre ayant pour cible un même poste de travail. Pour limiter la multiplicité des avertisseurs sonores, on peut associer un nombre restreint de signaux sonores à un affichage visuel capable de transmettre une information variée et relativement complexe.

2.4 La fréquence d'émission des avertisseurs sonores

Le pouvoir de sollicitation de l'attention d'un signal sonore est lié au contraste que lui confèrent ses caractéristiques par rapport au bruit ambiant. Certains avertisseurs sont opérés de façon répétitive ou très fréquentes faisant en sorte qu'ils s'intègrent au fond sonore. Ils perdent alors le pouvoir de sollicitation de l'attention et peuvent devenir très gênants. C'est le cas notamment des signaux de recul de chariots élévateurs lorsque ceux-ci sont opérés de façon quasi-

continue dans un même emplacement. L'avertisseur perd alors complètement son caractère informatif. On ne dispose pas de données empiriques permettant de baliser les limites en fréquence d'émission des avertisseurs sonores. Toutefois, on peut retenir deux règles générales applicables à un ensemble de situations (R13 et R14): éviter de recourir à un signal sonore si l'avertissement doit être émis (a) durant plusieurs dizaines de secondes ou (b) de manière hautement répétitive.

2.5 La mobilité des sources sonores

Tel que mentionné au paragraphe 2.2, lorsque l'avertisseur prévient du déplacement d'une masse ou d'un véhicule, le récepteur doit en localiser l'origine. Outre les effets de la réverbération (R15), cette exigence impose des contraintes importantes à la conception des signaux.

La première est évidemment liée aux interférences géométriques des ondes sonores (R5). En effet, le recours aux sons purs peut résulter en des atténuations de l'ordre de 20 dB à quelques mètres à peine de la source, c'est-à-dire du véhicule, par effets de diffraction et de réflexions du signal (Laroche et al., 1993). Ces phénomènes compromettent non seulement la possibilité de localiser la source mais aussi de la détecter à certains emplacements spécifiques. Ainsi, les signaux de recul des véhicules lourds ou des chariots élévateurs, tels qu'ils sont conçus présentement, sont presque tous inadéquats du seul fait qu'ils sont constitués de sons purs.

Pour des raisons semblables, il faut éviter d'utiliser des sources sonores hautement directionnelles lorsque celles-ci doivent être localisées par des travailleurs (R16). La source doit propager dans toutes les directions si l'on veut que le signal qu'elle émet atteigne une cible pouvant se situer n'importe où dans l'espace environnant. Il arrive parfois que la façon dont une source sonore est installée sur un véhicule en augmente considérablement la directivité. C'est, par exemple, le cas des signaux de recul dont la source est installée sous le capot du chariot élévateur ou de la chargeuse.

Par ailleurs, le contenu spectral d'un signal sonore dont on doit localiser la source doit couvrir une gamme de fréquence la plus large possible pour maximiser les indices spatiaux et temporels de localisation. En d'autres termes, il est préférable d'utiliser un bruit qui couvre la gamme utile de 0.3 à 3 kHz ou encore un son harmonique à composantes multiples couvrant la gamme de 0.5 à 3 kHz (R17). De tels signaux résistent aux effets modaux et transmettent les informations les plus importantes pour la localisation dans le plan horizontal, soit le déphasage inter-aural aux fréquences inférieures à 1.5 kHz et la variation inter-aurale de niveau de pression acoustique aux fréquences supérieures (Canévet, 1988).

Par ailleurs, on sait qu'en limitant le contenu spectral d'un signal à 3 kHz, on prive un auditeur du seul indice permettant de distinguer les sources arrière des sources avant (Canévet, 1988). C'est en effet l'interaction du spectre entre 4 et 10 kHz avec le filtrage exercé par l'oreille externe qui permet de différencier la provenance avant ou arrière des sons. De plus, l'usage de protecteurs auditifs (Noble et al., 1990) ou de tête (Hétu et al., 1995) compromet sérieusement la réception et le traitement de cette information. En l'absence de celle-ci, les confusions avant-arrière sont résolues par le mouvement de la tête à la recherche de la source sonore (Fortin et Hétu, 1995). Ce mouvement exige toutefois un délai minimum, de l'ordre de 1 à 1.5 seconde. En conséquence, la durée d'un signal dont il faut localiser la source doit excéder 1 seconde (R18).

Enfin, la localisation dans le plan vertical exige de disposer d'informations en très hautes fréquences, c'est-à-dire entre 4 et 10 kHz. Il est très difficile de satisfaire une telle exigence en milieu industriel du fait de la perte d'audition due au bruit et à l'effet de l'âge chez un grand nombre de travailleurs ainsi que de l'utilisation de protecteurs auditifs ou de protecteurs de tête (Noble et al. 1990; Hétu et al., 1995b). Par conséquent, il est préférable d'éviter de recourir à la signalisation acoustique pour informer du déplacement vertical d'une masse (R19).

Références

- Canévet, G. (1988) Audition binaurale et localisation auditive: aspects physiques et psychoacoustiques. In Botte, M.C., Canévet, G., Demany, L., Sorin, C (eds.) *Psychoacoustique et Perception auditive*. Paris: Editions INSERM, pp. 83-122.
- Fortin, M., Héту, R. (1995) Sound Source Localization with Head Protection. *Canadian Acoustics/Acoustique canadienne*, 23(3): sous presse.
- GAUM (1992) DETECTSON: Manuel de l'utilisateur. Groupe d'acoustique de l'Université de Montréal, 43p.
- Hellier, E., Edworthy, J., Dennis, I. Improving auditory warning design: Quantifying and predicting the effects of different warning parameters on perceived urgency. *Human Factors*, 35: 693-706.
- Héту, R. (1993) Le bruit comme source de stress en milieu de travail. Groupe d'acoustique de l'université de Montréal, 15p.
- Héту, R. Mismatches between auditory demands and capacities in the industrial work environment. *Audiology*, 1994, 33: 1-14.
- Héту, R., Denis, S. (1995) A Field Investigation of Conditions of Use of Auditory Warning Signals in Industry. *Canadian Acoustics/Acoustique canadienne*, 23(3): sous presse.
- Héту, R., Boudreault, V., Fortier, P., Lemoine, O., Phaneuf, R. Protocole d'enquête audiométrique en usine bruyante. *Cahier des Notes Documentaires de l'I.N.R.S.(France)*, 1987, 128: 407-415.
- Héту, R., Getty, L., Tran Quoc, H. I (1995a) Impact of occupational hearing loss on Workers' lives. *Occupational Medicine, State of the Art Review*, 10(4):1-18.
- Héту, R., Tran Quoc, H., Denis, S. (1995b) Effets éventuels de protecteurs de tête sur la perception des avertisseurs sonores de danger en milieu de travail bruyant. Rapport final. Montréal: Institut de recherche en santé et sécurité du travail, N/D PE-93-11,91-167, sous presse.
- Laroche, C., Ross, M.J., Lefebvre, L., Larocque, R., Héту, R., L'Espérance, A. Sound propagation of reverse alarms used on heavy vehicles. *Canadian Acoustics/Acoustique canadienne*, 1993, 21(3):29-30.
- ISO 7731 (1986) : Danger signals for workplaces - Auditory danger signals. Geneva: International Standardization Organization.
- Lazarus, H., Höge, H. (1986) Industrial safety: Acoustic signals for danger situations in factories. *Applied Ergonomics*, 17: 41-46.
- Montahan, K. Héту, R., Tansley, B. Audibility and identification of auditory alarms in the operating room and intensive care unit. *Ergonomics*, 1993, 36(10): 1159-1176.
- Noble, W., Murray, N., Waugh, R. (1990) The effect of various hearing protectors on sound localization in the horizontal and vertical planes. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 51: 370-377.
- Patterson, R.D. (1982) : Guidelines for auditory warning system on civil aircraft. London : Civil Aviation authority (CAA-82017).
- Rakerd, B., Hartman, W.M. (1986) Localization of sound in rooms, III: onset and duration effects. *Journal of the Acoustical Society of America*, 80: 1695-1703.

ANNEXE 2

Principales informations recueillies dans les établissements visités

PRINCIPALES INFORMATIONS RECUEILLIES DANS LES ÉTABLISSEMENTS VISITÉS

Établissements et aires de travail	Plage couverte par les avertisseurs sonores	Bruit masquant (dB SPL pour 315-3150 Hz)	Fenêtres de conception (dB SPL pour 315-3150 Hz)	Avertisseurs sonores (dB SPL)	nombre total de spectres	nombre de spectres adéquats	nombre de spectres trop forts	nombre de spectres trop faibles
A-1	1000-2500	68-77	87-104	82-87	5			5
A-2	1000-1600	51-60	66-86	78-87	3	2	1	
A-3	1000-2500	51-60	66-86	71-79	3	2		1
A-4	1600-3150	74-77	87-103	92-99	4	4		
A-5	1250-3150	65-67	78-95	79-94	4	1	1	2
A-6	0400-2500	81-90	94-105	92-111	7	2	1	4
A-7	0400-2500	63-73	82-99	77-97	4	1	1	2
A-8	0400-2500	63-73	82-99	71-81	3			3
A-9	1600-3150	62-69	77-96	78-81	2	1		1
A-10	3150	63-69	78-96	78	1			1
B-01	2500-3150	61-64	75-95	75-84	2	2		
B-02	5000-10000	54-69	79-97	77-88	4			4
B-03	3150	54-69	79-97	90	1	1		
B-04	400-5000	57-64	73-91	75-99	12	6	3	3
B-05	400-5000	57-64	73-91	75-84	7	6		1
B-06	5000-10000	64-69	80-96	84-94	4			4
B-07	630-8000	46-72	75-99	73-83	6	1		5

Établissements et aires de travail	Plage couverte par les avertisseurs sonores	Bruit masquant (dB SPL pour 315-3150 Hz)	Fenêtres de conception (dB SPL pour 315-3150 Hz)	Avertisseurs sonores (dB SPL)	nombre total de spectres	nombre de spectres adéquats	nombre de spectres trop forts	nombre de spectres trop faibles
B-08	630-8000	56-69	76-96	71-84	6	1		5
B-09	2500-10000	48-72	80-99	77-90	6			6
B-10	630-3150	48-72	80-99	75-88	8	3		5
B-11	1000-5000	48-72	80-99	82-91	6	3		3
B-12	8000	54-73	81-101	76	1			1
B-13	8000	48-68	75-95	76	1			1
B-14	4000-6300	60-75	84-102	75-80	3			3
B-15	1600-6000	60-75	84-102	74-85	6			6
B-16	3150-4000	47-56	62-86	64-65	2	1		1
B-17	1000-8000	62-78	83-105	75-93	5			5
C-01	100-3150	59-68	74-95	75-88	6	3		3
C-02	100-3150	59-68	74-95	74-96	3		2	1
C-03	1000-3150	61-70	78-97	68-80	3	1		2
C-04	1600-6300	61-70	78-97	74-80	3			3
C-05	1000-3150	61-70	78-97	71-83	6	1		5
C-06	2500-3150	57-76	74-104	81-83	2			2
C-07	2500-3150	57-76	74-104	70-78	2			2
C-08	255-3150	57-76	74-104	76-80	2			2
C-09	500-3150	57-79	74-104	67-81	9			9

Établissements et aires de travail	Plage couverte par les avertisseurs sonores	Bruit masquant (dB SPL pour 315-3150 Hz)	Fenêtres de conception (dB SPL pour 315-3150 Hz)	Avertisseurs sonores (dB SPL)	nombre total de spectres	nombre de spectres adéquats	nombre de spectres trop forts	nombre de spectres trop faibles
C-10	500-3150	57-79	74-104	61-70	9			9
C-11	630-4000	63-78	80-105	78-92	9	3		6
C-12	2500-3150	63-78	80-105	79-86	2	1		1
C-13	2500-3150	67-75	81-101	77-84	2	1		1
C-14	400-4000	73-84	88-105	76-88	11			11
C-15	800-3150	73-84	88-105	74-89	6			6
D-01	500-2500	69-78	84-105	66-85	8			8
D-02	500-2500	70-82	85-105	68-91	8			8
D-03	200-1000	70-76	85-104	63-86	8			8
D-04	500-2500	70-91	86-105	63-86	8			8
D-05	500-2500	67-74	82-102	65-84	8			8
D-06	500-2500	67-80	84-105	64-83	8			8
D-07	500-2500	63-74	80-101	63-81	8			8
D-08	500-2500	54-63	70-90	62-81	8	3		5
D-09	500-2500	55-61	70-88	60-81	8	4		4
D-10	500-2500	58-63	71-91	68-89	8	3	1	4
D-11	630-2500	67-74	85-103	68-91	8	3		5
D-12	1250-3150	83-87	97-105	87-91	3			3
D-13	500-2500	83-88	97-105	68-91	8			8

Établissements et aires de travail	Plage couverte par les avertisseurs sonores	Bruit masquant (dB SPL pour 315-3150 Hz)	Fenêtres de conception (dB SPL pour 315-3150 Hz)	Avertisseurs sonores (dB SPL)	nombre total de spectres	nombre de spectres adéquats	nombre de spectres trop forts	nombre de spectres trop faibles	
D-14	500-2500	72-84	87-105	66-85	8			8	
E-01	630-1000	57-85	85-105	86-92	3			3	
E-02	500-2000	58-78	82-105	81-92	5	2		3	
E-03	630-2000	57-75	80-102	83-86	3			3	
E-04	1250-3150	60-88	88-105	89-99	3	1		2	
F	Dans cet établissement, seuls les chariots élévateurs ont été analysés.								
G-01	400-3150	74-91	90-105	73-99	8			8	
G-02	400-3150	81-91	101-105	73-99	8			8	
G-03	400-3150	81-95	99-105	73-99	8			8	
G-04	400-3150	73-88	92-105	73-99	8	1		7	
G-05	400-3150	68-78	85-104	73-99	8	5		3	
G-06	400-3150	66-70	79-98	73-99	8	4	3	1	
H-01	1600	56-73	70-99	72	1			1	
H-02	1000-3150	56-73	70-99	74-90	5	2	2	1	
H-03	1250-2500	56-73	70-99	78-88	6	3		3	
H-04	500-3150	57-70	70-97	75-88	9	6		3	
H-05	1000-3150	57-70	70-97	72-87	5		2	3	
H-06	630-3150	57-70	70-97	74-93	7	1	2	4	
H-07	400-2500	54-67	69-97	78-89	9	8		1	

Établissements et aires de travail	Plage couverte par les avertisseurs sonores	Bruit masquant (dB SPL pour 315-3150 Hz)	Fenêtres de conception (dB SPL pour 315-3150 Hz)	Avertisseurs sonores (dB SPL)	nombre total de spectres	nombre de spectres adéquats	nombre de spectres trop forts	nombre de spectres trop faibles
H-08	400-2500	72-88	91-105	79-90	9			9
H-09	2500-3150	86-97	101-105	73-84	2			2
H-10	800-2500	86-97	101-105	76-82	5			5
H-11	2500-3150	86-97	101-105	78-87	2			2
H-12	2500-3150	64-69	78-99	73-84	2	1		1
H-13	800-2500	60-75	74-102	76-82	5	1		4
H-14	2500-3150	60-75	74-102	78-87	2	2		
H-15	1250-3150	60-71	73-99	71-84	5	2		3
H-16	800-3150	60-71	73-99	73-85	5	3		2
H-17	1600-2500	58-73	72-102	71	2			2