

LA PLANIFICATION DE LA SIGNALISATION ACOUSTIQUE EN MILIEU INDUSTRIEL : CRITÈRES DE CONCEPTION DES AVERTISSEURS SONORES DE DANGER

Hung Tran Quoc, Raymond Héту

Groupe d'acoustique de l'université de Montréal
C.P.6128, succ. Centre Ville, Montréal, H3C 3J7

SUMMARY

An efficient use of warning signals in noisy workplaces is submitted to many psychoacoustic and physic constraints, particularly when the security of the workers is concerned. Firstly, the use of warning signals in industry is not regulated. Secondly, the design of these signals is based on traditionnal practices, with little consideration of the hearing capabilities of the workers. An analysis of the interaction between the hearing capabilities and the environmental demands in terms of compatibilty leads us to a general set of critieria to design safety warning signals in industry.

SOMMAIRE

L'utilisation des avertisseurs sonores de danger en milieu industriel est soumise à un ensemble de contraintes. Pour assurer une utilisation efficace de ces signaux, en particulier quand il s'agit de questions de sécurité, il est essentiel de considérer ces contraintes. D'une part, pratiquement aucun contrôle n'est exercé sur l'usage des signaux sonores en milieu bruyant, d'autre part, l'utilisation des avertisseurs sonores en milieu industriel repose sur des pratiques intuitives, sans tenir compte nécessairement de la limite fonctionnelle de capacité auditive des travailleurs qui y oeuvrent. L'analyse de l'interaction entre la capacité auditive et le milieu de travail industriel nous a permis d'aboutir à des règles précises de conception d'avertisseurs sonores de danger .

1. Introduction

En milieu de travail industriel, les avertisseurs sonores sont utilisés pratiquement partout pour remplir diverses fonctions [1]. D'une part, la sécurité des travailleurs est directement liée à la détection, la reconnaissance et la localisation des signaux avertisseurs de danger, d'autre part, des personnes atteintes de déficience auditive peuvent se voir perdre ou refuser un emploi en milieu potentiellement bruyant. L'une des principales raisons justifiant un refus d'emploi en milieu industriel à des personnes malentendantes est l'incapacité à entendre et à reconnaître les avertisseurs sonores de danger [2]. Le respect des droits de la personne et la prévention de la discrimination pour raisons de déficience auditive font appel à l'adaptation des postes de travail aux contraintes imposées par une déficience auditive. En matière de perception d'avertisseurs sonores, ces contraintes sont déterminées par les capacités d'un individu donné à percevoir un signal spécifique dans un milieu de travail bruyant et réverbérant.

Dans le cadre de l'axe de recherche 'Bruit et sécurité en milieu de travail' développé au Groupe d'acoustique de l'université de Montréal, nous avons entrepris d'examiner en profondeur la question de conception ergonomique des avertisseurs sonores de danger et de rechercher des solutions qui favorisent la

sécurité des travailleurs en fonction de leurs capacités auditives. La figure 1 représente les facteurs qui gouvernent la capacité de perception des avertisseurs sonores de danger en soulignant le fait que les différentes capacités auditives exigées par une tâche vont varier selon le type de sources de signaux sonores à traiter et selon les conditions et les modes de transmission de tels signaux. Il s'agit d'une perspective écologique permettant l'examen de la compatibilité entre exigences du poste de travail et capacités des travailleurs. Ce cadre d'analyse est particulièrement utile puisque la recherche expérimentale sur la perception auditive a été poursuivie indépendamment des question très pratiques de la signalisation acoustique en milieu industriel. En effet, d'une manière générale, on peut considérer que la psychoacoustique a étudié la perception sonore en mettant l'emphase sur le fonctionnement du système auditif, tandis que l'utilisation des avertisseurs sonores en milieu de travail repose sur des pratiques intuitives. Ainsi, à la figure 1, on note que les caractéristiques des sources sonores, du milieu ambiant, des conditions de propagation et des conditions de réception des signaux sonores imposent des contraintes spécifiques qu'il faudra confronter aux capacités auditives d'auditeurs normaux ou déficients auditifs. Les capacités auditives constituant les caractéristiques non modifiables, la question se pose alors de déterminer les paramètres des exigences au plan auditif qui seront compatibles avec celles-ci.

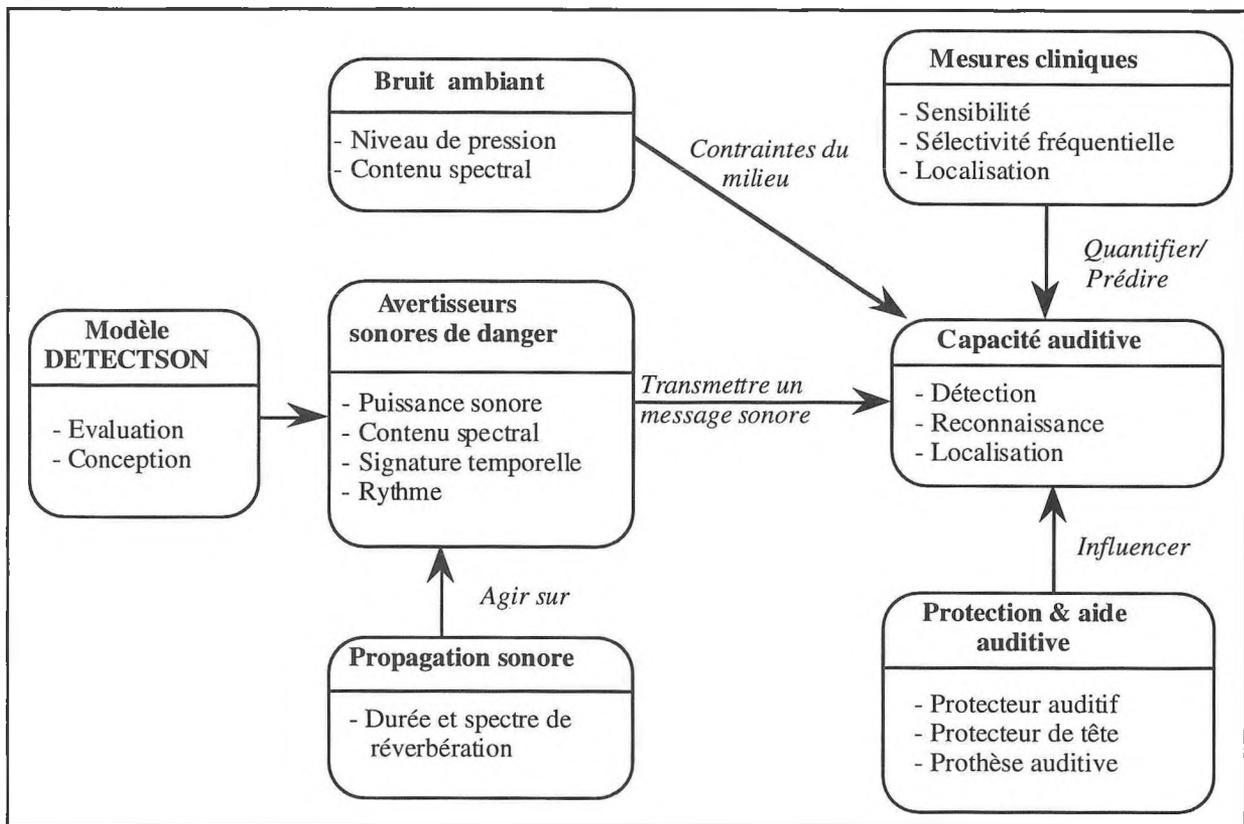


Figure 1. Modèle conceptuel décrivant les facteurs qui gouvernent la capacité de perception d'avertisseurs sonores de danger en milieu industriel.

2. Les principaux facteurs qui gouvernent la capacité de perception des avertisseurs sonores de danger

Il est maintenant bien établi que des lésions à l'oreille interne entraînent des détériorations de différentes fonctions du système auditif. En plus d'une baisse de sensibilité, elles sont généralement accompagnées d'autres phénomènes de distorsions temporelles et fréquentielles. Ces distorsions ont un impact direct sur notre capacité de perception des avertisseurs sonores de danger en milieu du travail bruyant :

a) La *perte de sensibilité auditive* est certainement la détérioration du système auditif la plus facile à quantifier. Elle est observable sur un audiogramme. Le seuil de sensibilité d'un individu représente le niveau minimal de pression acoustique des sons purs pour être juste audible dans le silence. Quand le niveau d'un signal est inférieur aux seuils d'audition, il ne sera pas perçu.

b) La *sélectivité fréquentielle* gouverne notre capacité de détecter un signal dans un bruit de fond quelconque. Une des questions qui a retenu l'intérêt des chercheurs est la relation entre la sensibilité et la sélectivité fréquentielle [3,4,5,6,7]. Si plusieurs études démontrent une certaine corrélation entre ces deux facteurs, leur relation n'est pas univoque même avec des groupes de sujets soigneusement sélectionnés et

entraînés [8,9,10]. Pour un même audiogramme, deux sujets peuvent présenter des réponses très différentes à une tâche de sélectivité [11,12,13].

A l'aide une procédure de mesure simplifiée, nous avons déterminé la relation entre FRE (Filtre Rectangulaire Équivalent) et seuil absolu chez 52 auditeurs présentant des seuils audiométriques variant entre 0 et 75 dB HL. Pour dégager cette relation, nous avons distingué les sujets appartenant à une population normale en terme de FRE de ceux montrant des filtres auditifs anormalement élargis. Le 95ième centile a été retenu comme valeur normative [14]. Les résultats de ces mesures sont illustrés à la figure 2. Nous pouvons observer que l'intersection entre la droite de régression des FRE par les seuils d'audition croise la valeur de 95ième centile des FRE à des seuils différents selon la fréquence testée. A 500 Hz, des filtres anormaux sont observables chez des gens présentant des seuils aussi bas que 6 ou 7 dB HL. A 4000 Hz, les FRE anormaux sont observés lorsque les seuils s'approchent ou dépassent 20 dB HL. Par ailleurs, on observe une forte variabilité inter-individuelle associée aux FRE, et de même, un élargissement anormal des filtres auditifs à des seuils audiométriques relativement faibles. Ces observations nous permettent de confirmer que la mesure des seuils audiométriques ne permet pas de prédire avec exactitude notre capacité de détection en milieu bruyant.

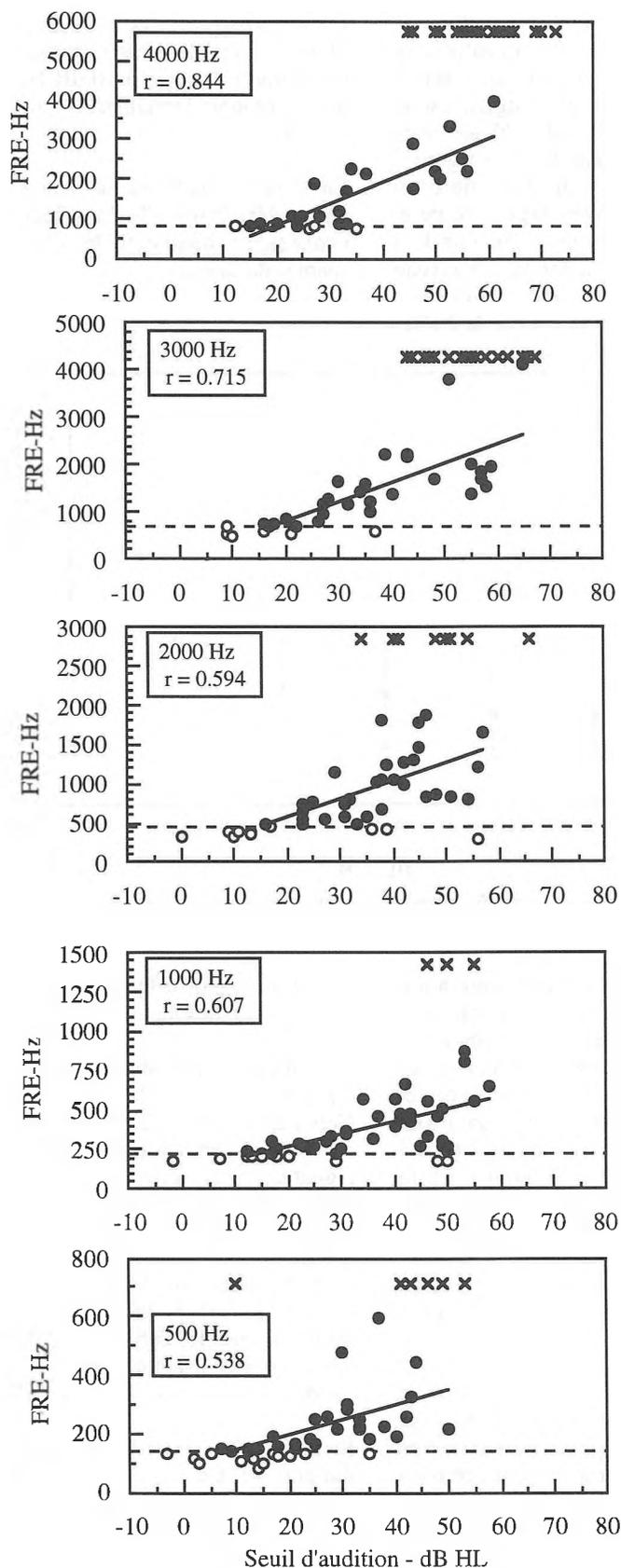


Figure 2. Largeur des FRE en fonction du seuil d'audition à 5 fréquences obtenu auprès de 52 sujets. Le trait pointillé indique le 95^{ème} centile des FRE dans une population normale. Les cercles vides représentent les cas de FRE normaux, les cercles pleins les cas de FRE anormalement élargis et les 'x', les cas de filtres absents ou indéterminés. r est le coefficient de corrélation.

En contexte de la capacité de perception des avertisseurs sonores de danger, une perte de sélectivité fréquentielle se traduit normalement par une augmentation des seuils masqués [14,15,16]. Le seuil masqué d'un signal est le niveau de pression acoustique minimal pour qu'il soit juste détectable dans un bruit. A titre d'illustration, la figure 3 montre des résultats de seuils de détection dans un bruit recueillis chez 52 sujets affectés à divers degrés de perte neuro-sensorielle. Le signal à détecter était un son pur de 3 kHz, et le bruit masquant était un bruit passe bas de niveau égal à 85 dBA, dont le spectre représente une décroissance approximative de 12 dB/Oct à partir de la fréquence de 2 kHz.

La performance de ces 52 sujets a été comparée avec celle obtenue chez 8 sujets normaux qui présentent des seuils d'audition inférieurs à 10 dB HL. Cette figure montre bien que le rapport Signal/Bruit *moyen* augmente avec le seuil d'audition.

En résumé, une baisse de sensibilité entraîne normalement une détérioration de la sélectivité fréquentielle, et par conséquent, augmente le seuil masqué des avertisseurs sonores de danger.

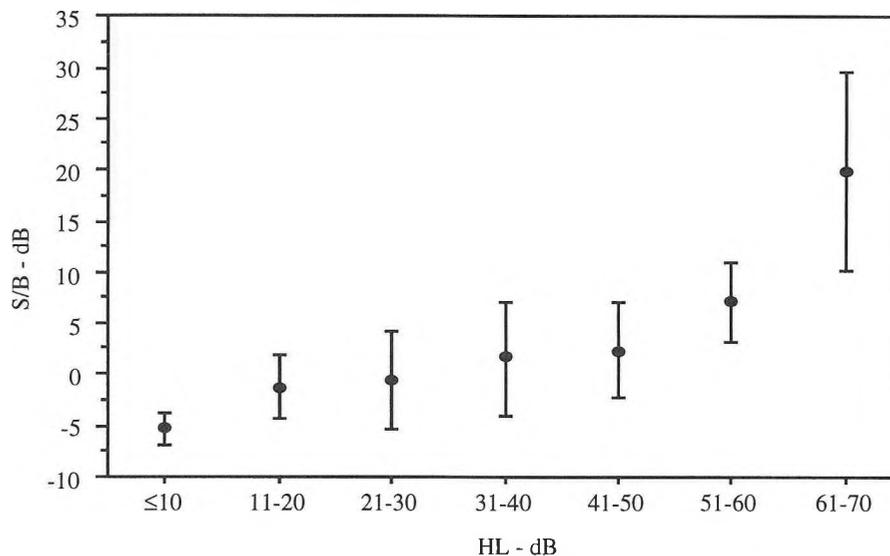


Figure 3. Moyenne et écart type du rapport Signal/Bruit en fonction du seuil d'audition absolu mesuré à 3 kHz, utilisant un bruit de masque de 85 dBA. Données obtenues chez 8 sujets normaux et 52 sujets déficients auditifs.

C) La *reconnaissance* d'un signal sonore représente notre capacité d'attribuer immédiatement à ce signal une signification non-ambiguë. Les principes de conception des avertisseurs sonores qui maximisent leurs reconnaissances ont été proposés par Patterson [17] dans le cadre d'un projet de rationalisation des avertisseurs sonores dans les cabines de pilotage d'avions commerciaux. Ces principes ont été retenus par les manuels d'ergonomie au chapitre de la conception des avertisseurs sonores [18] et ont récemment subi certains raffinements en vue de maximiser la perception de l'urgence [19].

Si les caractéristiques spectrales des signaux gouvernent le pouvoir de détection, leurs caractéristiques temporelles en déterminent la capacité de reconnaissance. En effet, la configuration temporelle impose une empreinte sonore distinctive à chaque signal et contribue largement à sa reconnaissance. Par exemple, des signaux sonores très distincts peuvent ainsi être créés en leur attribuant certaines caractéristiques s'apparentant à une phrase musicale facile à retenir. Des essais en laboratoire ont d'ailleurs montré que des auditeurs peuvent apprendre très rapidement à distinguer sans erreur jusqu'à 7 signaux différents [17]. Ces principes ont été appliqués à la conception des signaux sonores pour des cabines de pilotage d'avions civils et militaires [20], de

même que pour différents équipements utilisés en salle de chirurgie ou de soins intensifs en milieu hospitalier [21].

La capacité de reconnaissance des avertisseurs sonores chez les déficients auditifs n'a pas fait l'objet d'aucune étude. Cependant, il y a lieu de croire que la déficience auditive n'affecte pas en tant que telle la capacité de reconnaître une signature temporelle dans les conditions d'écoute idéales, pourvu que les signaux sonores représentent des durées d'impulsions supérieures à 100 msec. Dans les conditions d'écoute réverbérantes, les intervalles d'impulsions sont systématiquement diminués dû à l'effet de propagation sonore [22,23]. Sachant que la résolution temporelle est diminuée chez les déficients auditifs [24], il est à prévoir que ces personnes seront plus vulnérables à la reconnaissance des avertisseurs sonores en milieu réverbérant.

D) La question de la *localisation* des avertisseurs sonores de danger est très importante pour un grand nombre de situations de travail puisque les klaxons ou autres avertisseurs sonores sont systématiquement utilisés pour indiquer le mouvement des véhicules (chariots élévateurs, chargeuses, etc.) ou de charges (ponts roulants, échafaudages mobiles, etc.). Sur les chantiers de construction, les avertisseurs sonores sont systématiquement générés pour

indiquer le recul des camions. En contexte de sécurité du travail, ces situations exigent que les travailleurs doivent être capables non pas seulement d'entendre ces avertisseurs sonores, mais aussi d'être capables d'identifier leurs provenances. La capacité de localisation des sources sonores dans l'espace fait appel à des comparaisons d'indices acoustiques associés à chacune des oreilles et ainsi qu'au processus de filtrage associé à la fonction de transfert de l'oreille externe. En général, le jugement d'une source sonore venant de la droite ou de la gauche dépend étroitement de : a) la différence de phase entre les oreilles résultant du décalage des temps d'arrivée de l'onde sonore à l'une et l'autre oreille, et b) la différence d'intensité sonore résultant de l'effet d'écran de la boîte crânienne [25]. Le jugement d'une source sonore venant de l'avant ou de l'arrière dépend alors à l'interaction entre le contenu fréquentiel du signal et la fonction de transfert de l'oreille externe.

En champ réverbérant, la localisation des sources sonores est en général gouvernée par l'effet d'antériorité [26,27], la direction apparente d'une source sonore étant déterminée le signal qui parvient le premier aux oreilles.

En milieu de travail bruyant, la capacité de localisation dépendra aussi de la sélectivité fréquentielle du système auditif. Pour obtenir une même performance de localisation, on doit prévoir que le niveau du signal sonore sera ajusté à un niveau d'intensité supérieur pour les auditeurs déficients auditifs que pour les auditeurs normaux [28].

La perception de la distance d'une source sonore installée sur un objet mobile pourrait être critique pour la sécurité. La variation continue du niveau de la source sonore mobile nous permet d'estimer sa distance et par conséquent nous permet de juger si elle s'éloigne ou elle s'approche de nous. En milieu de travail bruyant et réverbérant, cette capacité est surestimée chez les normaux [29]. Chez le

déficient auditif, à cause de la distorsion de la fonction de sonie, on doit s'attendre à ce que cette capacité soit aussi très distorsionnée.

3. L'influence des protecteurs auditifs et des protecteurs de tête

L'utilisation des protecteurs auditifs et des protecteurs de tête peut détériorer la capacité de perception des avertisseurs sonores de danger [30,31,32]. L'effet des protecteurs auditifs sur la capacité de détection et de localisation des signaux est bien connu. Chez les déficients auditifs, l'utilisation de ces protecteurs contribue à augmenter les seuils de détection, particulièrement si les signaux comportent plusieurs composantes de hautes fréquences [33]. Un exemple de cette situation est illustré avec des résultats de prédiction des seuils de détection obtenus chez un sujet normal et un sujet déficient auditif utilisant le modèle de prédiction DETECTSON [34]. La figure 4 représente les audiogrammes de ces deux sujets. Le sujet déficient auditif montre une perte de sensibilité prononcée dans la zone de fréquence entre 2 et 6 kHz. La figure 5A représente le spectre d'un bruit masquant de niveau 85 dBA et les seuils de détection du sujet normal avec et sans les bouchons anti-bruit EAR. Cette figure montre bien que les bouchons anti-bruit ne détériorent pas la capacité de détection du sujet normal. La figure 5B représente les mêmes résultats obtenus chez le sujet déficient auditif. Une très grande différence entre les seuils protégés et non-protégés est observable dans la zone de fréquences supérieures à 1 kHz. Cette situation est explicable par la combinaison entre les seuils de sensibilité élevés et les fortes atténuations imposées par les bouchons anti-bruit, de telle sorte que ce sont les seuils protégés du sujet qui dominent la capacité de détection.

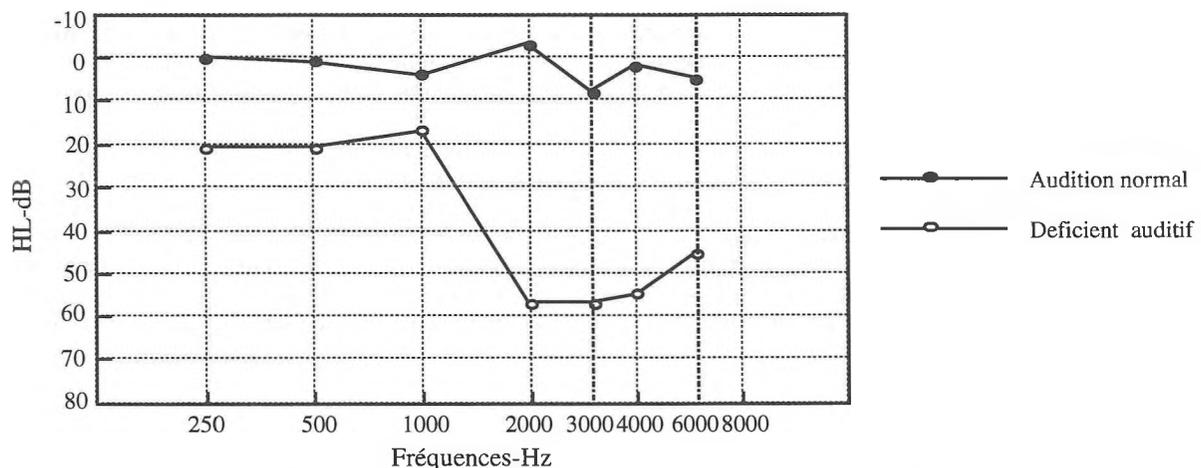


Figure 4. Seuils d'audibilité absolus d'un sujet normal et d'un sujet ayant une déficience auditive

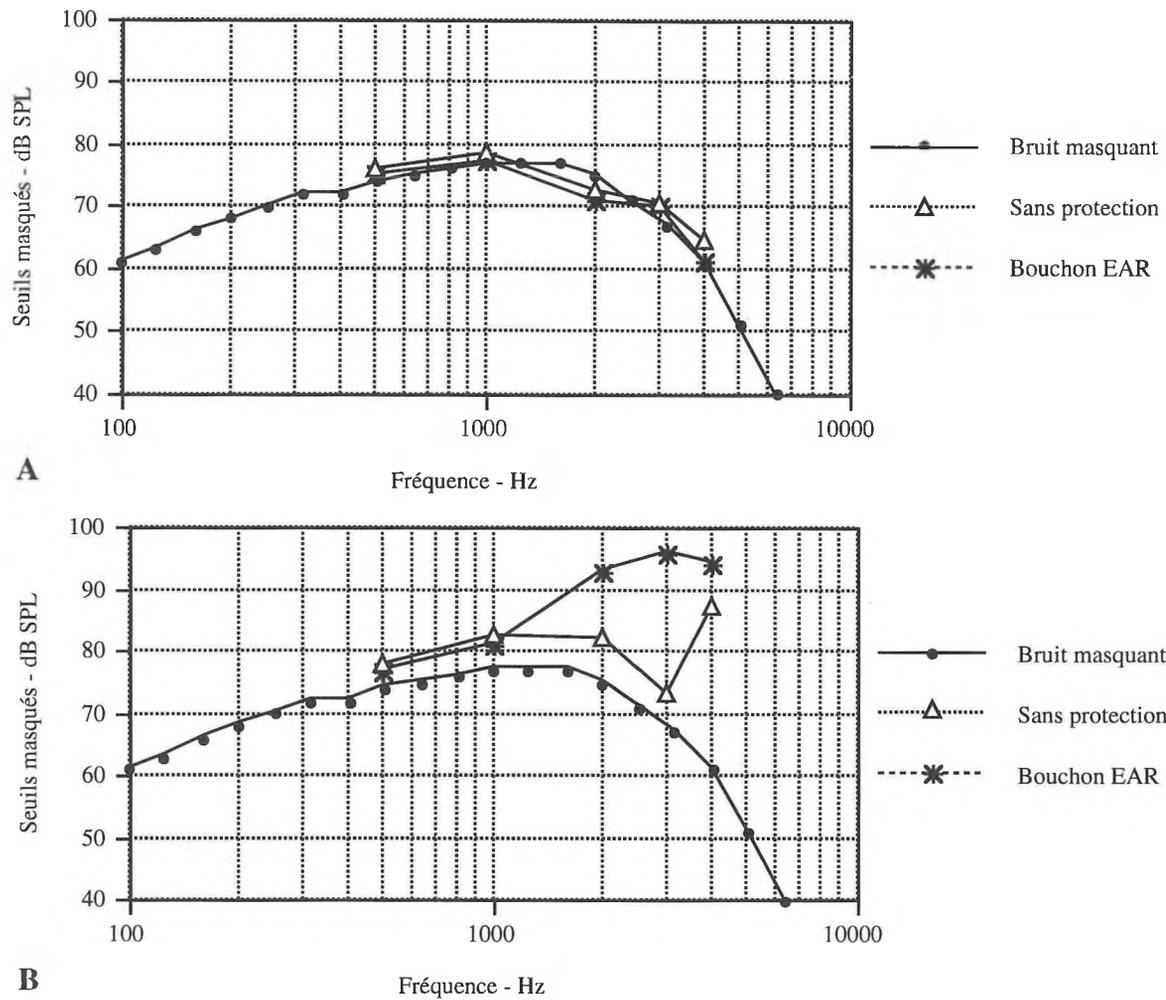


Figure 5. Prédiction des seuils masqués dans un bruit de masque de bande large chez un sujet normal (A) et un sujet déficient auditif (B) pour 2 situations : sans protection et avec les bouchons EAR.

On ne dispose que de peu de données sur l'effet éventuel concernant l'influence des protecteurs de tête sur la capacité de perception des avertisseurs sonores de danger. Toutefois, les mesures réalisées au laboratoire du Groupe d'acoustique de l'université de Montréal sur quelques protecteurs de tête confirment que ce type de protecteurs influence de façon très complexe la perception des signaux sonores [35]. A titre d'illustration, la figure 6 représente la perte par insertion d'un masque de soudage en fonction de la direction de la source sonore. Une analyse de ces résultats montre que ce masque perturbe de façon très complexe le champ acoustique autour de la tête. Par exemple, des pertes par insertion sont observées aux fréquences supérieures à 1 kHz lorsque la source sonore est située à l'avant du masque; alors que des

gains par insertion sont observables sur pratiquement toute la gamme de fréquences lorsque la source est située du côté opposé de l'oreille cible, mais à l'arrière. Ces résultats nous laissent croire que l'influence de ce type de protecteur sur la capacité de détection est difficile à prévoir. Pour illustrer cette situation particulière, les figures 7A,B représentent les seuils de détection si le masque de soudage est porté par les deux sujets, dont les seuils d'audition sont présentés à la figure 4. Le bruit masquant venait de l'arrière à un azimuth de 180° et le signal venait de l'avant à un azimuth de 0°. Ces résultats montrent une détérioration de la capacité de détection tant pour le sujet normal que pour le sujet déficient auditif.

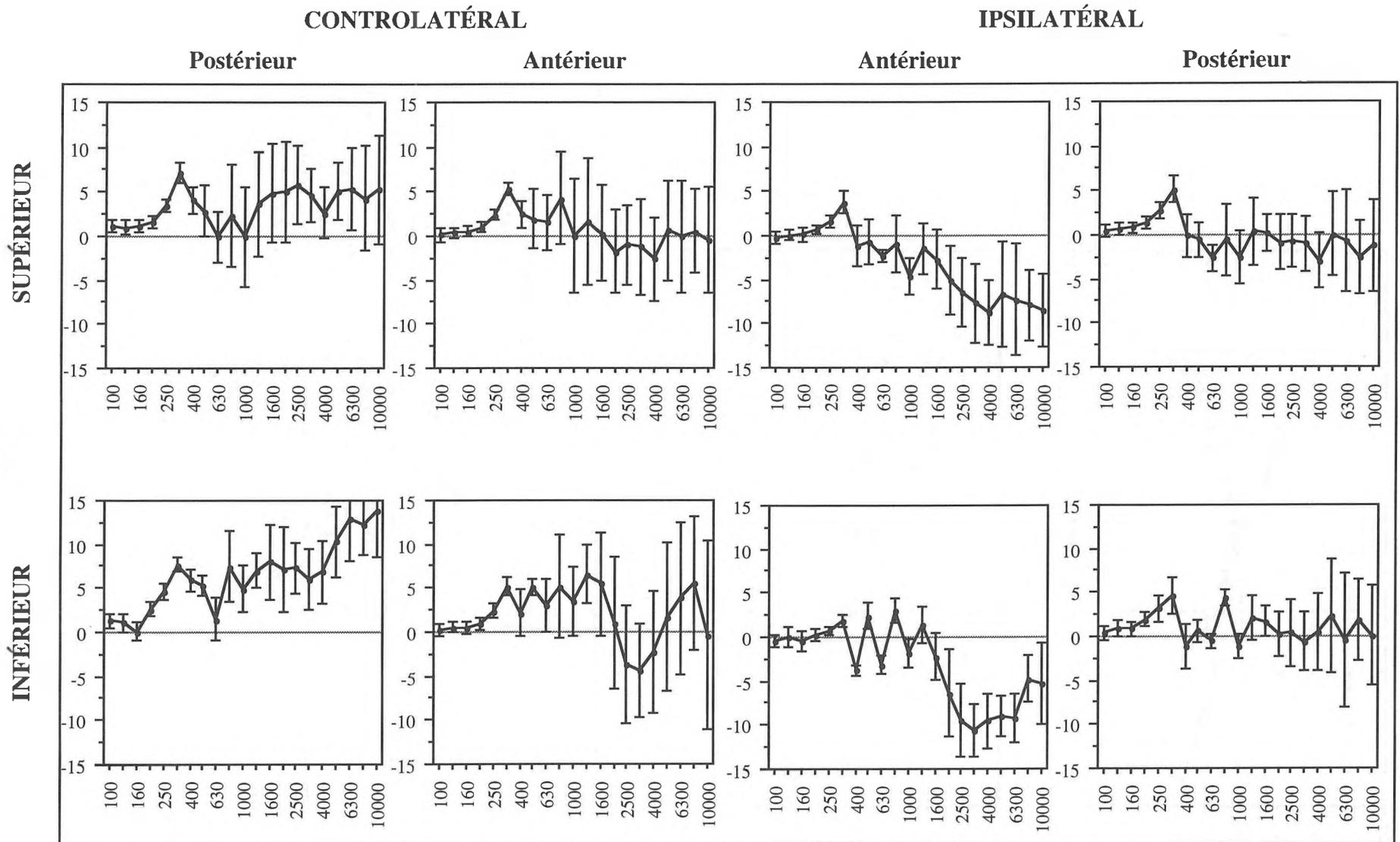


Figure 6. Gain ou perte par insertion associé au port du masque de soudage: valeurs moyennes et écart-types par quadrant horizontal pour les élévations de 0° à $+90^{\circ}$ (supérieur) et de 0° à -30° (inférieur). L'azimuth et l'élévation de la source sonore ont été variés par pas de 10° .

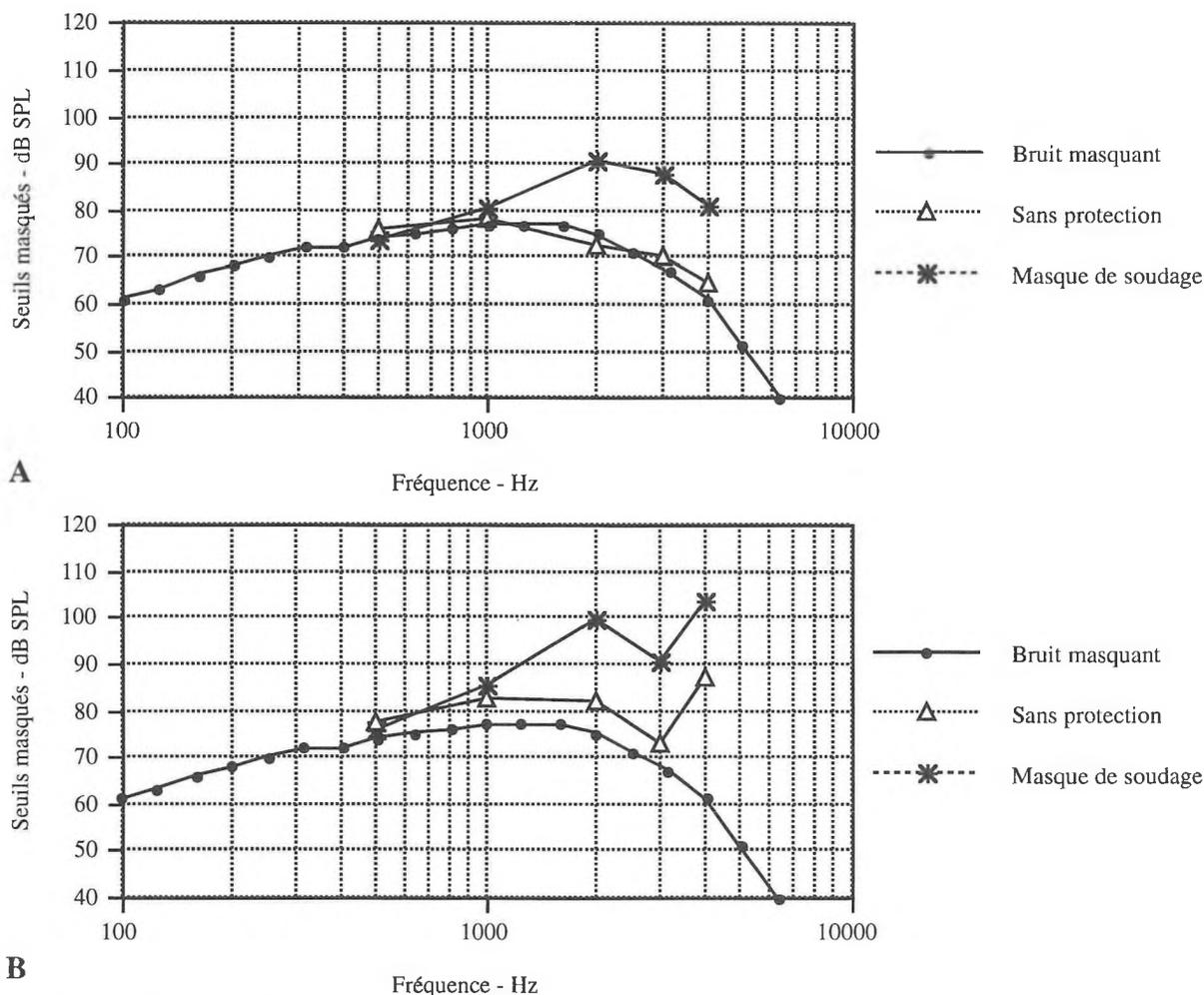


Figure 7. Prédiction des seuils masqués dans un bruit de masque de bande large chez un sujet normal (A) et un sujet déficient auditif (B) pour 2 situations : sans protection et avec un masque de soudage. L'azimuth du bruit était de 180° et celui du signal de 0°.

Plusieurs études ont montré que les protecteurs auditifs perturbent notre capacité de localisation des sources sonores [36,37]. La plupart des protecteurs tendent à créer des confusions de types Avant-Arrière, tant chez les auditeurs normaux que chez les auditeurs déficients auditifs. En fait, cet effet est à prévoir en tenant compte que les protecteurs auditifs imposent de fortes atténuations dans la zone de fréquences intermédiaires et hautes. Quant aux protecteurs de tête, ils perturbent énormément le champ acoustique autour de la tête à cause principalement de leurs formes. Cette perturbation du champ acoustique autour de la tête contribue à augmenter la difficulté de localisation des sources sonores. Cependant, des études préliminaires effectuées à notre laboratoire montrent que les confusions dues à l'utilisation des protecteurs de tête pourraient être diminuées en augmentant la durée totale du signal acoustique [38].

3. L'utilisation des prothèses auditives en milieu de travail bruyant

Les personnes affectées de surdité d'origines autres que le bruit et qui utilisent une prothèse auditive n'ont pas accès à des emplois en milieu industriel parce qu'elles sont évaluées comme étant en danger pour elles-mêmes et pour les autres travailleurs. Par ailleurs, plusieurs travailleurs atteints de surdité professionnelle ne bénéficient pas d'une prothèse auditive parce qu'ils occupent encore un poste de travail bruyant. L'utilisation de la prothèse peut constituer une cause d'aggravation de leurs pertes d'audition [2]. C'est pourquoi les professionnels sont généralement réticents à leur prescrire une prothèse malgré les bénéfices considérables que celle-ci peut offrir.

En contexte de la capacité de perception d'avertisseurs sonores de danger, les travaux réalisés au Groupe d'acoustique de l'université de Montréal démontrent que l'utilisation de la prothèse auditive n'est pas incompatible en milieu de travail bruyant [39,40,41]. Nos résultats ont

montré qu'il était possible de réunir des conditions optimales de détection sonore avec une aide auditive, moyennant certaines conditions techniques. En effet, le pouvoir d'atténuation des prothèses auditives portées hors-circuit est égal, sinon supérieur aux bouchons ou aux coquilles anti-bruit conventionnels et ce, quel que soit le modèle de prothèse utilisé, à la condition que l'embout soit parfaitement étanche et ne soit pas muni d'un évent. Par ailleurs, nous avons montré que la prothèse pouvait servir à capter efficacement des signaux sonores avertisseurs de danger. En effet, l'utilisation des signaux magnétiques captés à l'aide de la bobine d'induction de la prothèse permet d'acheminer les signaux à des niveaux sonores au-dessus de ceux imposés par le bruit ambiant, puisque l'embout de la prothèse agit comme un atténuateur du bruit ambiant, alors que la prothèse elle-même agit comme un amplificateur du signal.

En somme, moyennant certaines dispositions techniques, il s'avère tout à fait possible de réunir les conditions pour qu'une personne présentant une surdité exigeant une correction auditive puisse travailler en milieu relativement bruyant et ce, même lorsque la perception des signaux avertisseurs de danger est nécessaire.

4. Planification de la signalisation acoustique en milieu industriel

En milieu de travail, les avertisseurs sonores sont utilisés pratiquement partout pour remplir diverses fonctions:

a) Avertissement d'un danger :

- alarme d'un incendie.
- signal d'approche ou déplacement d'un équipement mobile (chariots élévateurs, ponts roulants, chargeuses).
- alarme avertissant d'un dérèglement de système appelant une action à court terme (fuites de liquides ou de gaz, baisse ou montée dangereuse de pression dans des conduites).
- signaux d'entrée en opération d'une machine automatisée, informant l'opérateur de s'en écarter, car souvent, diverses machines identiques sont situées côte à côte, leur opération déclenchant, pour chacune d'elle, une alarme.

b) Appel d'une intervention dans le procédé de production :

- signal informant l'arrêt d'une machine, sollicitant l'intervention d'un opérateur affecté simultanément à plusieurs machines.
- signal informant du dérèglement d'une machine, sollicitant une intervention plus ou moins urgente de l'opérateur dans un délai relativement court.
- signal informant de la nécessité de communiquer avec un autre opérateur (par exemple une sonnerie de téléphone pour la communication entre les extrémités d'une chaîne de production).
- signal informant des horaires d'activités (début d'une période de production, pause, etc.)

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. Les résultats d'une étude descriptive menée auprès de 8 usines au Québec montraient qu'un signal sur deux était trop faible pour être détecté et identifié, alors que près de 50 % des signaux installés sur les objets mobiles étaient beaucoup trop forts [42]. Il y a d'ailleurs toutes les raisons de croire que la même situation prévaut dans d'autres pays industrialisés. Des signaux sonores sont installés et opérés sans égard aux signaux déjà en place dans une aire de travail, sans ajustement rigoureux par rapport au niveau de bruit ambiant et aux distances qui séparent la source des cibles visées. Il arrive souvent qu'un même type de source sonore, par exemple, une cloche ou une sirène, soit utilisé à des fins très différentes dans plusieurs aires de travail. On trouve des cas où il y a surabondance de signaux sonores sans marque acoustique de priorité des uns par rapport aux autres. De manière générale, les avertisseurs sont conçus et réglés par des intervenants extérieurs à l'environnement spécifique dans lequel ils sont utilisés. Les cas des klaxons et des signaux de recul des chariots élévateurs sont particulièrement éloquentes à cet égard. Par ailleurs, les caractéristiques physiques de ces signaux, tel que le contenu spectral, la signature temporelle, la durée, etc. font pratiquement l'objet d'aucune planification qui tient compte de la capacité fonctionnelle des individus.

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

-La définition de la fonction du signal sonore :

Avant d'installer un nouveau signal avertisseur sonore 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 acoustique 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 celui des 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 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, lorsqu'un tel signal est jugé pertinent, facilite sa conception.

-L'univocité du signal :

Nos observations sur le terrain montraient que 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 le risque que la signalisation d'un signal soit confondue avec celle d'un autre. C'est pourquoi il faut attribuer une signalisation unique à un type de signal de sécurité pour l'ensemble d'un milieu de travail. Les possibilités de

différentiation des signaux par manipulation de leurs paramètres acoustiques sont très grandes. Il est inconcevable que l'on s'en tienne seulement à deux ou trois types de signaux différents (e.g. cloches, sirènes et ronfleurs) pour transmettre toutes les informations sonores. Par ailleurs, les types de signaux mentionnés ne sont pas nécessairement ceux qui optimisent notre capacité de reconnaissance.

-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 loin dans ce texte, il est possible de concevoir un signal transmettant un appel urgent par sa seule conception acoustique. Certaines caractéristiques physiques du signal lui confèrent d'emblée un message d'urgence (par exemple la cadence). Il est donc 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. Pour ce faire, la priorité de chaque signal doit être clairement prédéfinie.

-La signification apprise des signaux :

Par convention et par tradition, les sirènes sont associées à un message d'urgence et de danger [43]. Il y a donc lieu de tirer parti de cette situation en réservant leur usage à ce type de message. Les sons modulés en fréquence que les sirènes génèrent résistent bien à l'effet de réverbération du local sur la reconnaissance des signaux [43]. 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 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.

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.

5. Principales règles de conception à satisfaire

Les principales contraintes à considérer 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 1.

5.1. 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 [44]. Le logiciel DETECTSON [48] 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 .

Une deuxième contrainte est associée précisément au fait que le bruit ambiant plus ou moins élevé constitue une source de gêne pour les travailleurs [45]. 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 [17]. 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 [46]. 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 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 [47], 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, les seuils de détection peuvent atteindre des niveaux voisins de ou supérieurs à 100 dB SPL. Ce phénomène est également prévisible au moyen du logiciel DETECTSON.

La règle qui en découle (R5: voir Tableau 1) 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 (R7) 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 fréquentielles multiples.

Tableau 1. 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 ms.
- (R4) Imposer des durées de montée et de descente de l'enveloppe de pression égales ou supérieures à 20 ms.
- (R5) Imposer une limite supérieure à la plage fréquentielle des signaux à 3000 Hz.
- (R6) Imposer une limite inférieure à la plage fréquentielle des signaux à 300 Hz.
- (R7) 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.
- (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) Grader 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.

5.2. 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 nos études [22,23], 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 travaux concernés. Ce contrôle prévient la gêne due à des signaux inutiles [45] 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 dans nos études, 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 [48]. 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 [23]. 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 [48]. 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 [27]. Cette disposition risque toutefois de rendre le signal gênant (R3: voir Tableau 1). Il faut donc y recourir le moins possible.

5.3. La multiplicité des signaux à un poste de travail

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 [49]. 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 [17]. 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.

5.4. 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 fréquente 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.

5.5. La mobilité des sources sonores

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 (R7). 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 [50]. 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 que l'on doit localiser doit couvrir une gamme de fréquences 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 [25].

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 [25]. 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 [37] ou de protecteurs de tête [35] 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 [38]. 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 [35,37]. Par conséquent, il est préférable d'éviter de recourir à la signalisation acoustique pour informer du déplacement vertical d'une masse (R19).

6. Modèle informatisé 'DETECTSON' pour évaluer l'efficacité des avertisseurs sonores de danger

Considérant les nombreux facteurs qui affectent la capacité de perception des avertisseurs sonores de danger en milieu bruyant, un modèle informatisé DETECTSON a été mis au point par le Groupe d'acoustique de l'université de Montréal [33,34]. DETECTSON permet de prédire, sur une base *statistique*, les conditions de détection et de reconnaissance des avertisseurs sonores de danger en fonction de l'environnement sonore. Ce logiciel est en voie de modifications afin de permettre de :

- (a) Spécifier les caractéristiques des signaux sonores qui seraient compatibles avec les capacités *individuelles* telles qu'évaluées au moyen d'une procédure de mesure simple [14].
- (b) Prendre en compte une utilisation éventuelle des protecteurs de tête ou d'une prothèse auditive par les travailleurs.

7. Conclusion

Les connaissances acquises en psychoacoustique pour décrire le fonctionnement de la perception sonore du système auditif sont énormes. Cependant, peu de ces connaissances sont appliquées quand il s'agit de se questionner sur la compatibilité des exigences de la tâche au plan auditif en milieu de travail bruyant et la capacité de perception des avertisseurs sonores de danger. L'analyse de l'interaction entre l'individu et son milieu de travail nous a permis d'aboutir à des règles précises de conception d'avertisseurs sonores de danger. Par ailleurs, cette analyse nous a aussi permis de conclure que le problème de la conception et de l'utilisation sécuritaires des avertisseurs sonores de danger en milieu industriel exige une planification rigoureuse. Celle-ci doit passer par la caractérisation des contraintes du milieu de travail en fonction de la limite fonctionnelle de la capacité auditive.

Remerciements

Les résultats des travaux présentés dans cet article ont été obtenus grâce à une subvention de recherche de l'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec.

Références

- [1] Héту, R. (1994) Mismatches between auditory demands and capabilities in the industrial work environment. *Audiology*, 33: 1-14.
- [2] Héту, R. (1993) Critères auditives, critères d'embauche et droits de la personne. *Canadian Acoustics*, 21(2): 3-14.
- [3] Glasberg, B., Moore, B.J.C. (1986) Auditory filter shapes in subjects with unilateral and bilateral cochlear impairments. *J.Acoust.Soc.Am.* 75(2): 536-544.
- [4] Laroche, C., Héту, R., Tran Quoc, H., Josserrand, B., Glasberg, B. (1992) Frequency selectivity in worker with noise-induced hearing loss. *Hearing Res.* 64: 61-72.
- [5] Tyler, R.S (1986) Frequency resolution in hearing-impaired listeners. Dans 'Frequency selectivity in hearing'. Academic press Inc., chapitre 6: 309-371.
- [6] Webster, J.C., Himes, H.W, Lichtensien, M. (1950) San Diego county fair hearing survey. *J.Acoust.Soc.Am.*, 22: 473-490.
- [7] Webster, J.C., Lichtensien, M., Gates, R.S. (1950) Individual differences in noise masked threshold. *J.Acoust.Soc.Am.*, 22: 483-490.
- [8] Jeffress, L.A., McFadden, D. (1971) Differences of interaural phase and level in detection and lateralization. *J.Acoust.Soc.Am.* 49: 1169-1179.
- [9] McFadden, D., Jeffress, L.A., Russell., W.E. (1973) Individual differences in sensitivity to interaural difference in time and level. *Per.Mot.Skills.* 37: 755-761.
- [10] Moore, B.J.C (1973) Some experiments relating to the perception of complex tones. *Q.J.Exp.Psychol.* 3: 129-140.
- [11] David, M.J., Watson, C.S, Jensen, J.K (1986) Individual differences in auditory capabilities. *J.Acoust.Soc.Am.* 81(2): 427-438.

- [12] Festen, J.M., Plomp, R. (1983) Relation between auditory functions in impaired hearing. *J.Acoust.Soc.Am.* 70(2): 652-662.
- [13] Ludvigsen, C. (1985) Relation among some psychoacoustics parameters in normal and cochlearly impaired listeners. *J.Acoust.Soc.Am.* 78(4): 1271-1280.
- [14] Héту, R., Tran Quoc, H (1994) Psychoacoustic performance in workers with NIHL. Dans Axelsson, A., Henderson, D., Salvi, R., Mermenick, R. (eds). 'Scientific basic of noise induced hearing loss'. Chapitre 22. New York : Thieme.
- [15] Héту, R., Tran Quoc, H. (1992) Validation of masked threshold among people with sensorineural hearing loss. *Canadian Acoustics.* 22(3): 84-83.
- [16] Patterson, R.D., Nimmo-Smith, I., Weber, D.L., Milroy, R. (1987) The deterioration of hearing with age : Frequency selectivity, the critical ratio, the audiogram, and speech threshold. *J.Acoust.Soc.Am.* 72(6): 1788-1803.
- [17] Patterson, R.D. (1982) : Guidelines for auditory warning system on civil aircraft. London : Civil Aviation authority (CAA-82017).
- [18] Sorokin, R.D. (1987) Design of auditory and tactile displays. Dans 'Handbook of human factors'. Salvendy, G. (eds). New York, Wiley : 549-576.
- [19] Edworthy, J., Loxley, S., Dennis, I. (1991) Improving auditory warning design : relationship between warning sound parameters and perceived urgency. *Human factors.* 33: 205-231.
- [20] Lower, M., Wheeler, P., Patterson, R., Edworthy, J., Shailer, M., Milroy, R., Rood, G., Chillery, J. (1986) The design and production of auditory warnings for helicopter 1 : The sea king. Minister of dedense Report. No. AC527-A.
- [21] Patterson, R., Edworthy, J., Shailer, M., Lower, M., Wheeler, P. (1986) Alarm sounds for medical equipment in intensive care areas and operating theatres. Departement of trade and industry. Report. No. AC598.
- [22] Héту, R., Tran Quoc, H., Hodgson, M. (1994) Reverberation as a constraint on auditory warning signal design for industrial settings. Proceeding of the 12th congress of the international Ergonomics Association. (sous presse).
- [23] Héту, R., Tran Quoc, H., Larocque, R. (1995) Conception ergonomique des avertisseurs sonores de danger pour les milieux de travail bruyant et réverbérant. Rapport d'étape. Montréal: Institut de recherche en santé et sécurité du travail, N/D PE-93-11,91-167.
- [24] Moore, B.J.C (1994) Temporal processing in subjects with NIHL. Effect of noise on hearing-Vth International Symposium, Gothenburg.
- [25] Canévet, G. (1988) Audition binaural 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.
- [26] Kunov, H., Abel, S.M. (1981) Effects of rise/decay time on the lateralization of interaurally delayed 1 kHz tones. *J.Acoust.Soc.Am.* 69: 769-773.
- [27] Rakerd, B., Hartman, W.M. (1998) Localization of sound in rooms, III : Onset and duration effects. *J.Acoust.Soc.Am.* 80: 1696-1703.
- [28] Canévet, G. (1985) Aspect physiques de la détection et de la localisation masquée. *Acustica* 57: 122-132.
- [29] McMurthy, P.L., Mershon, D.H. (1985) Auditory distance judgment in noise, with and without hearing protection. Dans Swezey, W (ed). Proceeding of the Human Factors Society. 29th Annual Meeting : 811-813.
- [30] Abel, S.M., Kunov, H., Pichora-Fuller, M.K., Alberti, P.W. (1985) Signal detection in industrial noise : Effects of noise exposure history, hearing loss, and the use of ear protection. *Scandinavian Audiology.* 14: 161-173.
- [31] Lazarus, H. (1980) The effects of hearing protectors on the perception of acoustic signal. *Zentrablatt für arbeitsmedizin.* 30: 204-212.
- [32] Wilkins, P., Martin, A.M. (1982) Hearing protection and warnings sound in industry- a review. *Applied acoustics.* 21: 267-293.
- [33] Laroche, C., Tran Quoc, H., Héту, R., McDuff, S. (1991) Detectsound : a computerized model for predicting the detectability of warning signals in noisy workplaces. *Applied Acoustics.* 32:193-214.
- [34] Tran Quoc, H., Héту, R., Laroche, C. (1992) Computerized assesment and prediction of the audibility of sound warning signals for normal and hearing impaired individuals. Dans Mattila, M., Karwonski, W. (eds). Computer applications in Ergonomics, Occupational safety and health. Elsevier Science Publishers. 105-112.
- [35] Héту, R., Tran Quoc, H., Denis, S. (1995) 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).
- [36] Mershon, D.H, Lin, L.J. (1987) Directional localization in high ambient noise with and without the use of hearing protectors. *Ergonomics.* 30: 1161-1173.
- [37] 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.
- [38] Fortin, M., Héту, R. (1995) Sound Source Localization with Head Protection. *Canadian Acoustics/Acoustique canadienne,* 23(3): sous presse.
- [39] Héту, R., Tran Quoc, H., Dennis, S. (1994) Contraintes d'utilisation de la prothèse auditive en milieu de travail bruyant. Rapport final. Montréal: Institut de recherche en santé et sécurité du travail, R-083.
- [40] Héту, R., Tran Quoc, H., Tougast, Y. (1993) The hearing aid as warning signal receiver in noise workplaces. *Canadian Acoustics.* 21(3): 27-28.
- [41] Héту, R., Tran Quoc, H., Tougast, Y. (1993) Can an inactivated hearing aid act as a hearing protector and as effective warning signal receiver in noisy workplaces ? *International Collegium of Rehabilitative Audiology Newsletter.* 6: 44-46.
- [42] 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).
- [43] Lazarus, H., Höge, H. (1986) Industrial safety: Acoustic signals for danger situations in factories. *Applied Ergonomics,* 17: 41-46.
- [44] ISO 7731 (1986) : Danger signals for workplaces - Auditory danger signals. Geneva: International Standardization Organization.
- [45] Héту, R. (1993) Le bruit comme source de stress en milieu de travail. Groupe d'acoustique de l'université de Montréal, 15p.

- [46] GAUM (1992) DETECTSON: Manuel de l'utilisateur. Groupe d'acoustique de l'Université de Montréal, 43p.
- [47] Héту, R., Boudreault, V., Fortier, P., Lemoine, O., Phaneuf, R. (1987) Protocole d'enquête audiométrique en usine bruyante. Cahier des Notes Documentaires de l'I.N.R.S.(France), 128: 407-415.
- [48] Hellier, E., Edworthy, J., Dennis, I. (1993) Improving auditory warning design: Quantifying and predicting the effects of different warning parameters on perceived urgency. Human Factors, 35: 693-706.
- [49] Momtahan, K. Héту, R., Tansley, B. (1993) Audibility and identification of auditory alarms in the operating room and intensive care unit. Ergonomics. 36(10): 1159-1176.
- [50] Laroche, C., Ross, M.J., Lefebvre, L., Larocque, R., Héту, R., L'Espérance, A. (1993) Sound propagation of reverse alarms used on heavy vehicles. Canadian Acoustics/Acoustique canadienne, 21(3):29-30.

Prix de l'ACA à la mémoire de Raymond Héту

L'assemblée des directeurs de l'Association canadienne d'Acoustique et le comité du Prix Raymond Héту ont décidé d'établir un nouveau prix, à la mémoire de Raymond Héту, qui serait financé en tout ou en partie par des dons des membres de l'ACA. A leur demande, j'invite donc les membres à faire parvenir leurs dons pour ce prix. Des fonds substantiels ont déjà été promis. S.v.p., me faire parvenir vos chèques libellés au nom de l'Association canadienne d'Acoustique et y inscrire, Re: Prix Raymond Héту.

CAA Prize in Memory of Raymond Héту

The Board of Directors of the Canadian Acoustical Association, and the Raymond Héту Prize Committee, have decided to establish a new prize in memory of Raymond Héту which would be financed all or in part by donations from the members of the CAA. At their request, I invite you to make donations towards this prize. Substantial funds have already been promised. Please send cheques made out to the Canadian Acoustical Association and marked Re: Raymond Héту Prize to me.

Murray Hodgson - *Président, Comité du Prix Raymond Héту / Chair, Raymond Héту Prize Committee*

VIBRASON INSTRUMENTS

Andy McKee at Vibrason Instruments offers the following products to the Canadian sound and vibration community:-

ACO Pacific	Microphones, Preamplifiers, Microphone Power Supplies Calibrators, Sound Intensity Probes, Accessories
BEASY	Boundary Element Analysis Software for Acoustics, Stress, Crack Growth, Thermal, Cathodic Protection
HEAD Acoustics	Artificial Head Binaural Measurements for objective and subjective evaluations in Sound Quality, Telecom
HEIM Recorders	DATaRec A-series DAT Recorders with modular signal conditioning inputs (microphone, direct, ICP, strain)
Monitran	Piezoelectric and piezoresistive accelerometers, Vibration Meters, accessories (cables, magnets, studs)
ZIEGLER Instruments	Modular PC based multichannel analysis systems with software modules for analysis, modal, orders, animation. Up to 16 channels. Data recording to hard disk

430 Halford Road, Beaconsfield, Quebec, H9W 3L6 Tel./Fax (514)426-1035
email 103671.3331@compuserve.com