

# MÉTHODE DE MESURES TERRAIN DE L'ATTÉNUATION F-MIRE DE PROTECTEURS AUDITIFS DURANT UN QUART DE TRAVAIL

Marc-André Gaudreau<sup>1</sup>, Frédéric Laville<sup>1</sup>, Hugues Néliste<sup>2</sup> et Jérémie Voix<sup>1</sup>

<sup>1</sup>École de technologie supérieure, 1100, rue Notre-Dame Ouest, Montréal, Canada, H3C 1K3,

<sup>2</sup>IRSST, 505, Boul. De Maisonneuve Ouest, Montréal, Canada, H3A 3C2

[gaudream@cdrummond.qc.ca](mailto:gaudream@cdrummond.qc.ca), [flaville@etsmtl.ca](mailto:flaville@etsmtl.ca), [nelisse.hugues@irsst.qc.ca](mailto:nelisse.hugues@irsst.qc.ca), [jvoix@jerevox.com](mailto:jvoix@jerevox.com)

## ABSTRACT

Nowadays, hearing protection devices (HPD) are widely used to protect workers against industrial noise, however, a question worth examining is: "Is the worker truly provided with, at all times, protection that is as effective as what the manufacturer is advertising, based on standardized testing?" It is a commonly known and well documented fact that compared to values obtained from various existing field studies laboratory-measured noise attenuation values overestimate the actual protection being provided to workers. Too few studies are available on this topic, and the issues concerning HPD field measurement are still far from being resolved. Even if several field measurement methods have been developed, none has succeeded in being recognized as a standard. Therefore, the need for a new field measurement method, one which could become a recognized reference, is as relevant as ever.

This paper presents a new field measurement method developed to quantify the in-field attenuation HPDs provide to workers. This method is designed to take ongoing measurements during a complete work shift (8 hours) and enable the measurement of the actual attenuation being provided to the worker in his work environment, for different types and levels of industrial noise. The measurement method is based on the F-MIRE protocol using a miniature double microphone that allows for simultaneous measurement of the sound pressure inside the protector and the sound field surrounding the worker. The time signals recorded are then analyzed in order to determine the overall protection, and also, to assess performance over time. Results from preliminary measurements obtained from factory workers are presented in order to fully illustrate the range of analysis possibilities of this new field measurement method.

## SOMMAIRE

L'usage des protecteurs auditifs est répandu comme moyen de protéger les travailleurs en milieu bruyant, mais, une question quant à leur usage mérite d'être posée : « Est-ce que le travailleur bénéficie en tout temps d'une protection aussi efficace que celle annoncée lors des mesures normalisées? ». Il est connu et accepté que la certification des protecteurs auditifs, en comparaison avec les différentes études « terrain » disponibles, surévalue l'atténuation réelle obtenue par les travailleurs. Trop peu d'études traitant de ce sujet sont disponibles et la problématique des mesures « terrain » de l'atténuation, malgré ces données, reste entière à ce jour. Même si plusieurs méthodes de mesures ont été développées, aucune n'a encore réussi à s'imposer pour devenir un standard reconnu et le besoin de développement d'une méthode de mesures « terrain » qui pourrait s'imposer comme référence en la matière est encore bien actuel.

Cet article vise à présenter une nouvelle méthode de mesures « terrain » qui permet de quantifier l'atténuation réelle que procurent les protecteurs auditifs en milieu industriel. Les mesures se font en continu sur un quart de travail (8 heures) et permettent de mesurer l'atténuation en situation réelle de travail, pour différents types de protecteur dans différents types de bruits industriels. Le système utilise la méthode F-MIRE à doublets microphoniques miniatures et permet ainsi la mesure simultanée de la pression sonore à l'intérieur du protecteur ainsi que le champ sonore dans lequel le travailleur se trouve, cela pour les 2 oreilles. Les signaux temporels enregistrés sont ensuite analysés afin de déterminer la protection globale, mais aussi l'évolution de la protection en fonction du temps. Des résultats de mesures préliminaires réalisées en usine sont présentés afin de permettre de bien visualiser toutes les possibilités d'analyse que la nouvelle méthode de mesure offre.

## 1. INTRODUCTION

Une étude récente a évalué à plus de 9 millions le nombre de travailleurs aux Etats-Unis qui risquent une perte auditive induite par le bruit (Noise-induced hearing loss, NIHL) parce qu'ils sont exposés à un niveau de bruit équivalent pour 8 heures par jour (Time weighted average, TWA), de 85 dB(A) et plus [1]. Au Québec seulement, on parlait déjà, il y a 10 ans, de plus de 500 000 travailleurs soumis à ces niveaux de bruit [2]. Ces chiffres nous démontrent l'urgence de développer des solutions de réduction du niveau de bruit qui affecte les travailleurs. Bien que la réduction des bruits à la source soit la solution qui devrait être privilégiée, dans plusieurs situations, seule la protection auditive est envisageable[3]. D'où l'importance d'accorder une attention particulière à la protection auditive individuelle en milieu de travail.

L'usage des protecteurs auditifs est bien répandu, mais est-ce qu'ils protègent efficacement le travailleur en milieu bruyant? En ce qui concerne leur certification, il est connu et cité dans de nombreux articles traitant du sujet[4-9] que les résultats des tests réalisés en laboratoire pour la certification des protecteurs auditifs sont significativement plus élevés que les valeurs obtenues lors de mesures réalisées dans le cadre d'études dites « terrain », études réalisées directement dans l'environnement du travailleur. La surévaluation lors de la certification nous empêche de connaître la protection réelle obtenue par le travailleur et rend douteux, voir même dangereux, de se fier à l'indice de réduction de bruit (NRR, noise reduction ratio) affiché sur les emballages des protecteurs lorsque vient le temps d'en faire le choix.

La différence entre les mesures de certification et les mesures « terrain » est expliquée en partie par « la méthodologie utilisée qui vise la performance optimale des protecteurs, ce qui ne représente pas la réalité terrain » [4], mais aussi par la difficulté de prendre des mesures « terrain » qui soient représentatives. Bien qu'explorée dans plusieurs études [10-14], la problématique des mesures « terrain » de l'atténuation reste entière et les données disponibles sur le sujet sont bien insuffisantes pour nous permettre de comprendre l'ensemble du problème. La question mainte fois posée reste donc actuelle : « Est-ce que le travailleur bénéficie en tout temps d'une protection aussi efficace que celle annoncée lors des mesures normalisées? ».

Parmi les méthodes développées pour mesurer l'atténuation en milieu industriel, aucune n'a encore réussi à s'imposer pour devenir un standard reconnu. Dans un article précédent, les chercheurs de l'équipe ont présenté une revue de l'ensemble des méthodes de mesures « terrain »[15] et de cet article se dégage certains critères importants qu'une méthode novatrice de mesure terrain devrait posséder afin de pouvoir s'imposer comme standard reconnu :

- méthode basée sur des mesures objectives

- méthode qui limite le temps de production perdu
- mesure directement dans l'environnement de travail
- méthode qui ne modifie pas les habitudes de travail

Inspiré par les récents développements dans les méthodes objectives (F-MIRE) ainsi que par la miniaturisation des équipements d'enregistrement, l'idée du développement d'une nouvelle méthode de mesure terrain, telle que prédite par Lancaster dans sa revue des techniques utilisant la méthode MIRE (Microphone in Real-Ear) [16], a pris forme. La méthode devrait permettre à la fois des mesures objectives, qui ne causeraient aucune perte de production et qui permettraient de mesurer le sujet dans son environnement réel sans modifier ses habitudes de travail. De plus, la méthode possède l'avantage de travailler à partir de fichiers audio. Cela rend possible, en post traitement, de « retourner dans le temps » afin d'écouter ce qui s'est passé lors d'un événement particulier et ainsi être en mesure d'associer, par exemple, une chute rapide de l'atténuation à un problème de communication avec un collègue qui aurait forcé le sujet à enlever ses protecteurs momentanément.

L'atténuation intrinsèque d'un protecteur est un phénomène acoustique mesurable, liée aux matériaux utilisés ainsi qu'à sa géométrie. Par contre, outre les propriétés physiques du protecteur, l'atténuation « réelle » variera en fonction de causes liées à l'utilisation. Tandis que tous reconnaissent que ces causes ont une influence significative sur la performance réelle des protecteurs, très peu d'études ont regardé en détail la protection effective en fonction du temps, cela en situation réelle de travail.

La méthode développée, en plus de répondre aux quatre critères importants cités précédemment, permettra d'apporter un éclairage sur les causes, liée à l'utilisation même des protecteurs, qui créent une variation de l'atténuation, constituante importante de la problématique des mesures « terrain ». Voici une liste non exhaustive de causes de variation de l'atténuation liées à l'utilisation des protecteurs :

- le manque de formation (training);  
Il a été prouvé qu'un employé formé (trained) au bon positionnement de ses protecteurs augmente de façon significative sa protection contre le bruit[12, 17].
- le port intermittent des protecteurs;  
L'efficacité des protecteurs est rapidement compromise par le port intermittent ou irrégulier[18].
- le manque de confort physiologique;  
Il est bien documenté que les protecteurs sont souvent inconfortables (serrent trop la tête, provoquent une douleur aux oreilles, etc.). Le confort est très difficile à étudier étant intrinsèquement un critère subjectif [19].

- le manque de confort perceptuel;  
Les protecteurs peuvent créer un inconfort perceptuel soit en étant une entrave à la communication par une trop forte atténuation, soit par l'effet d'occlusion ressenti par le port de protecteurs.
- les paramètres physiques du sujet et ce qu'il porte;  
Plusieurs études ont évalué l'impact négatif que des paramètres physiques tels que le port de la barbe, les cheveux longs ou simplement le port de lunettes de sécurité ou d'un casque de protection peuvent avoir.

La méthode de mesures développée devrait permettre d'étudier plusieurs de ces causes et de les mettre en perspective avec les variations de l'atténuation en fonction du temps.

Pour répondre à toutes ces attentes, la voie qui a été choisie est celle de l'enregistrement en continu, sur la durée complète d'un quart de travail (8 heures), et en simultanée, de la pression sonore à l'intérieur du protecteur ainsi qu'à l'extérieur (champ sonore dans lequel le travailleur se trouve), cela pour les 2 oreilles. Les signaux temporels enregistrés sont ensuite analysés afin de déterminer la protection globale, mais aussi de donner des informations sur l'évolution de la protection en fonction du temps, liée à l'utilisation.

L'article porte principalement sur la description de cette nouvelle méthode de mesure objective qui possède tous les critères importants afin de devenir une référence en matière de mesure « terrain » de l'atténuation. Il présente ensuite les résultats de mesures préliminaires réalisées en usine afin de permettre de bien visualiser toutes les possibilités d'analyse que la nouvelle méthode de mesure offre.

## 2. ÉQUIPEMENTS ET PROCÉDURES DE MESURES

Un système de mesures est constitué d'un système d'enregistrement (acquisition des données) et de deux microphones. Le système de mesures permettant de mesurer une seule oreille à la fois, deux systèmes complets sont nécessaires pour instrumenter chaque travailleur étudié, oreille gauche et oreille droite.

Pour faire l'acquisition des données, il faut un système d'enregistrement léger, confortable à porter et robuste afin de pouvoir obtenir des mesures valides, peu importe l'environnement dans lequel le travailleur évolue. Le choix d'un système d'enregistrement qui permet l'acquisition des signaux sonores (en fonction du temps) nous contraint à gérer des fichiers de données énormes, mais, en comparaison avec un système d'acquisition qui ne mesure que les niveaux de pression en fonction du temps, permet beaucoup plus de flexibilité lors de l'analyse des signaux. Il est donc aussi simple d'obtenir les spectres en tiers d'octave, en bandes fines ou autre, que d'évaluer la présence de paroles, les problèmes de communication, la présence de bruits non corrélés, etc.

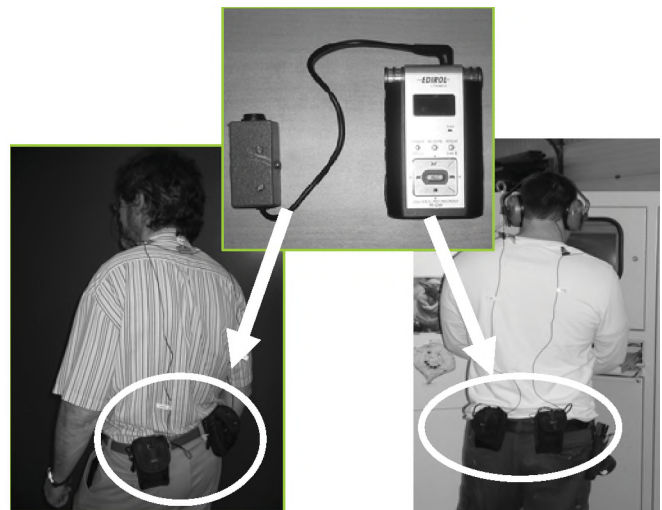


Figure 1 - Système d'enregistrement pour bouchons et coquilles, oreilles gauche et droite

Après plusieurs essais sur différents systèmes d'enregistrement, le système Edirol R-09[20] (24 bits / 44.1kHz) a été choisi. Il permet l'enregistrement, sur des cartes de 4 giga-octets, de fichiers sous le format « wav », format qui archive les données sans mode de compression. Avec un poids de moins de 100 grammes, il est suffisamment léger pour ne pas nuire aux travaux du sujet lors des tests.

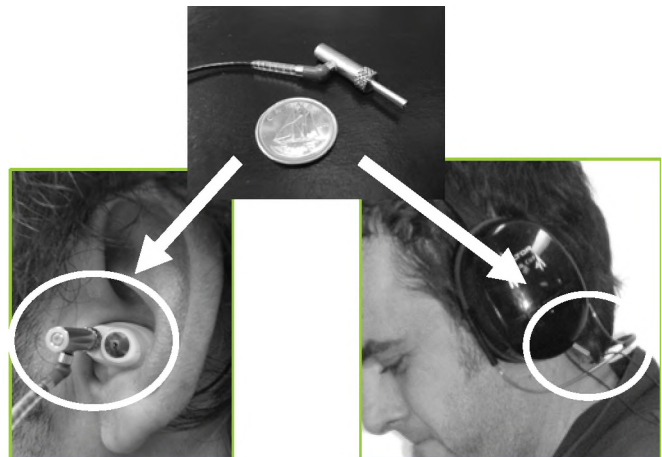


Figure 2 - Doublet microphonique miniature utilisant la technique F-MIRE, inséré dans bouchons et coquilles

Le système de mesures nécessite 2 microphones pour mesurer les pressions sous le protecteur ainsi qu'à l'extérieur du protecteur. Le doublet microphonique développé pour la méthode F-MIRE[21] a été choisi.

La méthode conventionnelle de mesure de l'atténuation étant basée sur la mesure subjective des sujets à leur seuil d'audition (REAT – Real ear attenuation at threshold), il est tentant de chercher à obtenir, lorsqu'on mesure l'atténuation, un résultat qui se compare à ce standard reconnu. Par contre, bien que la méthode F-MIRE permette

d'approximer le REAT[21], la nouvelle méthode de mesures terrain n'a pas cette visée pour le moment et seule la différence entre les pressions microphoniques sera considéré pour représenter l'atténuation. Il est important ici de spécifier que la valeur de l'atténuation mesurée par la différence des niveaux microphoniques ne donne qu'une valeur relative mais constitue, pour l'instant, un bon outil de comparaison.

Pour l'étude, il sera possible de mesurer 2 types de protecteurs : des coquilles anti-bruits (peu importe le modèle) et des bouchons moulés. Pour les coquilles, une modification mineure permet d'ajouter un canal de mesure vers l'intérieur de la cavité. Le modèle de bouchon choisi est déjà équipé d'un canal de mesure (sound bore) [22], donc aucune modification n'est nécessaire lors des tests. D'ailleurs, les facteurs de correction et de compensation permettant de comparer la valeur d'atténuation mesurée au REAT sont connus pour les bouchons moulés, mais ce travail reste à faire pour les coquilles.

Les 2 systèmes d'enregistrement sont attachés à la ceinture du sujet dans des pochettes contenant aussi le préamplificateur des microphones. Le fil de chacun des doublets microphoniques est maintenu en place avec une petite pince placée sur l'épaule du sujet. Avant de se rendre en usine pour des mesures, plusieurs tests ont été réalisés en laboratoire afin de valider la précision, le confort et la stabilité du système pour une période de port prolongée.

### 3. MESURES PRÉLIMINAIRES

Sur la base d'études sérieuses en laboratoire ainsi que de plusieurs enregistrements lors de visites d'industries[23] où le sujet était un des chercheurs de l'étude, des mesures sur des travailleurs en usine ont été tenues. Les mesures ont été réalisées en utilisant des coquilles anti-bruits, modèle Mustang de North Safety Products[24], qui ont été modifiées pour s'adapter à notre système de mesures. Il s'agit du modèle de protecteurs utilisé par les travailleurs de l'usine visitée, mais neufs.

#### ○ Lieu des tests :

L'essai sur des travailleurs a été réalisé dans une petite manufacture de meuble avec environ 10 employés de production au moment des tests et où les niveaux de bruit ambiant sont relativement faibles en moyenne (entre 75 et 85 dB(A)) par contre, avec des pointes autour de 95 dB(A). Les sources de bruit de l'usine sont des scies à ruban, des scies à onglet, une fraiseuse à commande numérique, des sableuses ainsi que des enceintes acoustiques diffusant une station de radio locale.

#### ○ Sujets de test et déroulement :

Deux sujets (sujets A et B) ont été instrumentés avec deux systèmes d'enregistrement chacun (binaural). Les sujets étaient, tour à tour, opérateurs de scie à onglet et de fraiseuse à commande numérique. Les mesures ont été réalisées en avant-midi entre 7h30am et 11h00am, incluant une pause de 15 minutes vers les 9h30.

À la fin des mesures, un questionnaire simple a été remis aux sujets afin de valider si le système est confortable, voir s'il a modifié leur façon de travailler et si, par exemple, les tâches réalisées durant l'enregistrement ressemblent à une journée type de travail.

Une fois les signaux temporels téléchargés des cartes mémoire, il est possible de faire un post traitement en utilisant des routines développées pour l'étude dans l'environnement MATLAB.

### 4. ANALYSE DES RÉSULTATS

La quantité d'informations archivée pour ces tests permet d'étudier la protection sous plusieurs angles et il reste encore à découvrir toutes les possibilités de post traitement que le système offre. A ce jour, les données ont été analysées en bandes de tiers d'octave entre 100Hz à 8000 Hz avec un pas d'analyse de 5 secondes ce qui permet de considérer autant le domaine fréquentiel que le domaine temporel. Les niveaux de pression mesurés sont donnés en décibel et l'échelle du temps en seconde. L'analyse permet d'extraire les niveaux de pression mesurés à l'intérieur des protecteurs et ceux mesurés par les microphones extérieurs.

#### ○ Usage de la fonction de transfert (TF) pour le calcul de l'atténuation

Pour déterminer l'atténuation, une simple soustraction des deux niveaux est possible. Par contre, lors de l'expérimentation en laboratoire, il a été déterminé que, conformément à ce qui est fait dans la méthode F-MIRE, l'usage de la fonction de transfert entre les signaux des 2 microphones était plus pertinent puisqu'en corrélant le signal mesuré par le microphone intérieur aux bruits environnants, les bruits « internes » produits par le sujet sont largement éliminés du résultat. Les données présentées dans le texte utilisent la fonction de transfert lorsqu'il est question de l'atténuation mesurée.

#### ○ Analyse temps-fréquence

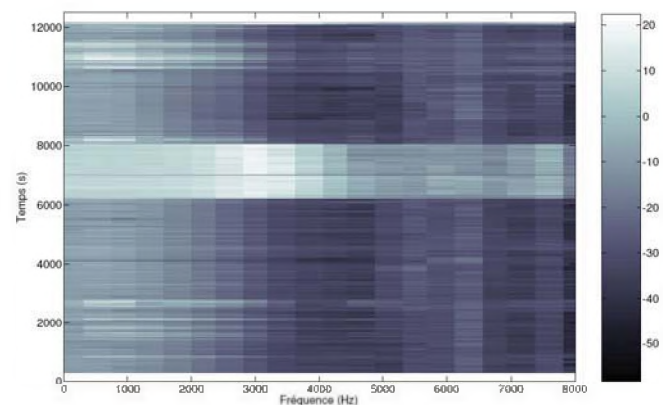


Figure 3 - Atténuation (dB par bandes tiers d'octave) mesurée par la fonction de transfert entre le micro extérieur et le micro intérieur pour l'oreille droite du sujet A.

Une méthode pour présenter les résultats de façon synthétique est d'utiliser une représentation temps-

fréquence. La Figure 3 présente, sous forme de spectrogramme, l'atténuation (TF) pour l'oreille droite du sujet A. On y voit clairement qu'entre 6100 et 7900 secondes (environ 30 minutes), le sujet avait enlevé ses protecteurs auditifs (la protection étant, pour cette période, presque nulle). La pause a été tenue entre 6100 et 7100 secondes, mais en écoutant la bande audio, on peut retracer que le sujet était en conversation (coquilles enlevées pour limiter l'entrave à la communication) durant les 15 minutes qui ont suivi cette pause. La ligne plus foncée au milieu de la zone horizontale plus pâle est expliquée par le fait que le sujet a repositionné ses coquilles après la pause pour ensuite les enlever quelques secondes plus tard afin de continuer une discussion.

#### ○ Analyse temporelle par bande de fréquence

Une autre façon de traiter l'information est de présenter sur une même figure, le niveau de pression extérieur, le niveau de pression intérieur ainsi que l'atténuation par la fonction de transfert. Par exemple, la Figure 4 présente les données du sujet A, oreille droite en fonction du temps pour la bande tiers d'octave centrée à 1000 Hz.

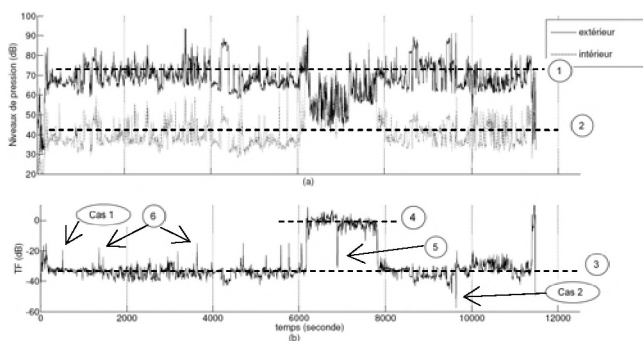


Figure 4 - Niveau de pression des micros extérieur et intérieur (a) et atténuation mesurée par la fonction de transfert (b) pour le sujet A, oreille droite, à la bande de fréquence de 1000 Hz.

De la Figure 4, on tire des informations pertinentes pour l'analyse à cette bande de fréquence :

- ① Les niveaux de bruits sont d'environ 75 dB;
- ② Les niveaux protégés sont faibles (entre 40 et 60 dB);
- ③ La protection mesurée est bonne et assez constante durant l'avant-midi (environ 30 dB);
- ④ Le sujet A a enlevé ses protecteurs durant sa pause. En enlevant ses protecteurs, il soumet les 2 microphones aux mêmes niveaux de pression. Son niveau de protection est alors nul;
- ⑤ Après la pause, il a remis ses coquilles pendant quelques secondes avant des les enlever à nouveaux;
- ⑥ Il apparait des événements qui semblent « anormaux » avec des pointes où l'atténuation chute ou augmente considérablement (voir analyse à la section suivante).

#### ○ Analyse des événements « anormaux »

Les événements « anormaux » méritent d'être regardés de plus près et c'est grâce aux bandes audio qu'il est possible de le faire. Deux événements sont étudiés avec plus de détails : Cas 1 à la seconde 505, l'atténuation chute de plus de 10 dB. Cas 2 à la seconde 9635, l'atténuation augmente de près de 20 dB.

#### Cas 1 – perte de l'atténuation

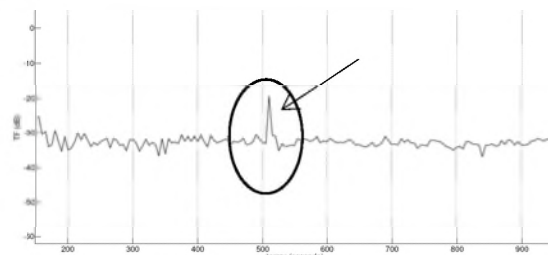


Figure 5 - Agrandissement autour de la seconde 505, atténuation mesurée par la fonction de transfert (TF) de l'oreille droite du sujet A à 1000 Hz.

Le cas 1 (Figure 5) présente une perte d'atténuation d'environ 10 dB survenue autour de la seconde 505. A l'écoute, on entend le sujet éternuer. Les niveaux de bruits internes générés lors d'un éternuement sont normalement supérieurs à ceux transmis au microphone extérieur et comme les 2 signaux sont corrélés (ils viennent du même événement), l'effet produit par l'éternuement apparait dans la fonction de transfert (TF). D'autres événements du genre se sont produits durant la matinée, en réécoutant, on entend alors le sujet parler, siffler ou tousser.

#### Cas 2 – Augmentation de l'atténuation

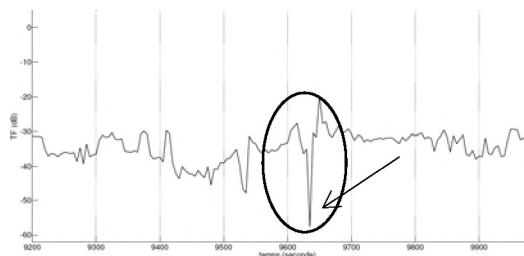


Figure 6 - Agrandissement autour de la seconde 9635, atténuation mesurée par la fonction de transfert (TF) de l'oreille droite du sujet A à 1000 Hz.

Le cas 2 (Figure 6) présente une augmentation de près de 20 dB de l'atténuation à la seconde 9635. Le sujet utilisait, à ce moment, une soufflette à air comprimé, le jet a touché le microphone extérieur et créé une turbulence locale que le microphone a traduit en signal acoustique. Nécessairement, le signal de turbulence n'a pas été mesuré par le microphone interne, ce qui a fait monter l'atténuation d'un seul coup.

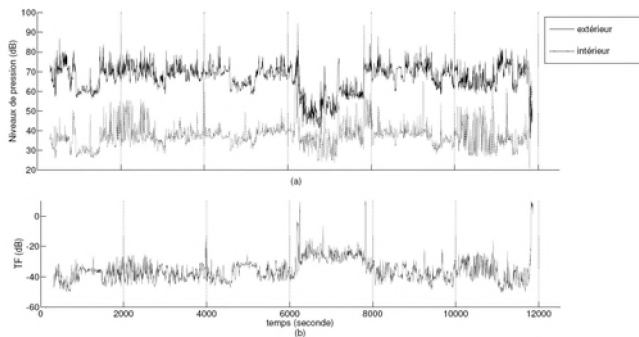


Figure 7 - Niveau de pression des micros extérieur et intérieur (a) et atténuation mesurée par la fonction de transfert (b) pour le sujet B, oreille gauche, à la bande de fréquence de 1000 Hz.

Le même type d'analyse (temporelle) a été effectué avec le sujet B et des résultats semblables ont été mesurés (voir Figure 7). De la même façon, certains événements anormaux sont observés. À l'écoute, on établit qu'il s'agit des mêmes causes que pour le sujet A.

#### ○ Analyse de la pause café – cas spécial du repositionnement des coquilles

En comparant la Figure 4 et la Figure 7 pour la période entre 6100 et 7900 secondes, période de la pause du matin, on remarque que la protection du sujet B (dans la bande de fréquence de 1000 Hz) reste autour de 20 dB, même durant la pause alors que la protection du sujet A est presque nulle. La photographie suivante (Figure 8), prise lors de la pause, permet d'expliquer cette différence. Le sujet A a enlevé ses coquilles et les a posées autour de son cou alors que le sujet B les a repositionnées sur sa tête (au dessus de ses oreilles) donnant ainsi l'impression, en regardant les données, que le travailleur est encore protégé.



Figure 8 - Positionnement des coquilles durant la pause (le sujet A porte ses coquilles autour du cou et le sujet B, les portent au dessus de ses oreilles)

Il s'agit là d'une faiblesse du protocole de mesures dont il faudrait tenir compte lors d'une campagne de mesure à plus grande échelle. Il faudrait alors indiquer clairement aux sujets d'éviter ce comportement.

#### ○ Temps de non-port et confort des protecteurs

Une des forces du système de mesure, bien que non essentielle pour le calcul de l'atténuation globale, est de pouvoir déceler lorsque le sujet enlève ses protecteurs. Un protecteur, tout aussi efficace qu'il soit, s'il n'est pas porté, ne procure aucune protection au travailleur et lorsque porté, son efficacité décroît rapidement si le port est intermittent ou irrégulier. Comme exemple, un travailleur portant un protecteur procurant réellement une atténuation de 25 dB voit sa protection diminuer à environ 17 dB si, durant son quart de travail de 8 heures, il ne porte pas ses protecteurs durant 30 minutes[18].

Outre le calcul du temps de non-port, il est intéressant, et maintenant possible, d'étudier chacun des événements individuellement. Comme le système de mesure permet, grâce à la bande audio, de réécouter les événements, il est possible de déterminer pourquoi le travailleur a retiré ses protecteurs à telle ou telle occasion.

À l'analyse des mesures préliminaires, l'équipe a été surprise de constater que les 2 sujets évalués n'ont pas enlevé leurs protecteurs une seule fois en zone bruyante, hormis quelques très courtes périodes de quelques secondes afin de repositionner leurs coquilles. Un taux de port aussi élevé ne concorde d'ailleurs pas avec la littérature sur le sujet[10, 25], mais comme les sujets évalués sont les responsables de l'implantation du programme de protection de l'ouïe dans leur usine, on peut supposer qu'étant bien conscientisés à l'importance de la protection auditive, ils agissent de cette façon en temps normal et qu'il n'ont pas modifié leur comportement pour le temps des mesures. Il a tout de même été possible de déceler que la raison du repositionnement des coquilles à plusieurs reprises était reliée au manque de confort des protecteurs.

Pour les tests, des coquilles anti-bruits de même modèle que celles utilisées par les sujets, mais neuve, ont été adaptées avec le conduit de mesure permettant d'insérer le microphone à l'intérieur du protecteur, alors que les protecteurs normalement utilisés par les 2 sujets étaient vieux et usés. Sur des coquilles, lorsque l'arceau de serrage ainsi que le coussin d'appui sont usés, il est connu que l'atténuation des coquilles est grandement affectée[26], par contre, le confort en est souvent amélioré. Afin de prendre en compte la réalité de l'usure des protecteurs, si d'autres tests étaient réalisés avec cette méthode de mesure, il serait important de réaliser les tests directement avec le protecteur du travailleur. S'il s'agit de coquilles, la modification nécessaire pour l'installation du conduit de mesure pourrait se faire entre 2 quarts de travail. À la fin des mesures, des coquilles neuves du même modèle pourraient être données aux sujets afin de remplacer celles qui auront été modifiées.

#### ○ Questionnaire de validation

À la fin des travaux, lors de la journée de test, un questionnaire a été remis et rempli par les 2 sujets dans le but de vérifier directement avec eux, leur appréciation du

système de mesures mais aussi afin de vérifier si les mesures s'étaient déroulées comme une journée normale de travail.

Aux questions portant sur les habitudes de travail, les sujets étaient unanimes pour dire que le système n'a pas modifié leur façon de travailler, qu'il est très confortable à porter et qu'ils répéteraient volontiers l'expérience. Il s'agit là d'éléments très importants afin de s'assurer d'obtenir des résultats significatifs lors des enregistrements. Le seul commentaire négatif était en relation avec l'utilisation des protecteurs neufs qui serraient plus qu'à l'habitude sur leurs oreilles.

#### ○ Variabilité des mesures

Les mesures préliminaires obtenues grâce au système présentent une grande variabilité, les niveaux de protections pouvant varier de près de 10 dB. Ce détail a obligé les chercheurs de l'étude à se pencher sur un phénomène qui n'avait pas été pris en compte lors de la mise en œuvre de l'étude : la variation de l'atténuation en fonction de l'angle d'incidence du bruit[27]. En effet, il a été trouvé que pour un champ sonore directif constant, l'atténuation procurée par un protecteur (bouchon ou coquille) peut varier en fonction de l'angle d'incidence de cette source de bruit sur le protecteur, pour certaines bandes de fréquence.

Lors d'autres tests dans une usine où le champ sonore était beaucoup plus élevé (plus de 100 dB(A)) mais aussi plus diffus, il a été trouvé que les niveaux d'atténuation variaient moins que dans une usine où le champ sonore est dominé par des sources localisées à certains endroits précis, produisant ainsi un champ sonore plus directif[23].

Pour mieux comprendre le phénomène de directivité, d'autres tests devront être fait et les résultats des ces tests devraient permettre de tenir compte de l'influence de la directivité sur l'atténuation mesurée afin d'améliorer la méthode de mesures développée.

## 5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le défi était de concevoir une méthode de mesures qui serait objective, qui limiterait le temps de production perdu et qui permettrait les mesures directement dans l'environnement de travail du sujet, sans en modifier ses habitudes de travail. Bien que la méthode soit encore à ses premiers pas, les résultats obtenus sont encourageants.

Les travaux de calibration du système ainsi que les essais préliminaires en industrie auront permis de prendre conscience et de régler certaines faiblesses de la méthode (ex : l'influence du positionnement des coquilles sur les temps, l'instrumentation des coquilles usagées au lieu des neuves). Bien qu'une variabilité de la protection soit mesurée à l'aide du système, l'analyse, en parallèle avec l'écoute des bandes audio a permis de valider les résultats.

Un aspect intéressant de la méthode de mesures, outre sa capacité de fournir des réponses sur la question de l'atténuation en milieu industriel, est sa capacité de permettre d'observer et de mieux comprendre les causes qui font varier l'atténuation dues à l'utilisation. Et bien que le système ne fasse que commencer à révéler toutes ses capacités d'analyse sur cet aspect, il nous a été possible, pour le cas de cet étude, de faire un lien avec les quelques repositionnements de leurs protecteurs et le manque de confort des protecteurs neufs utilisés pour l'étude.

Les techniques de mesures objectives ayant évoluées au cours des dernières années, particulièrement avec le développement du protocole F-MIRE, en y additionnant la miniaturisation des systèmes d'enregistrement, il est maintenant possible de mesurer l'atténuation réelle que procurent les protecteurs d'un travailleur, de façon continue et cela dans son environnement de travail, sans modifier sa façon de travailler.

La nouvelle méthode de mesures terrain développée par l'ÉTS en partenariat avec l'IRSST devrait permettre, dans un futur rapproché, de fournir un nouvel éclairage sur la protection réelle des travailleurs et sur les habitudes de port des protecteurs. A terme, la méthode devrait faciliter le choix de protecteurs personnalisés au besoin du travailleur, voir même, devenir un outil de conception pour le développement de protecteurs plus performants et plus confortables.

Il reste encore à développer un protocole plus poussé d'analyse des mesures qui permettra de mettre en évidence l'effet de multiples facteurs comportementaux, physiques et environnementaux.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'IRSST pour son soutien financier et Sonomax santé auditive pour son soutien logistique.

## RÉFÉRENCES

1. Nelson DI, et al., *The Global Burden of Occupational Noise-Induced Hearing Loss*. American Journal of Industrial Medicine, 2005. **Vol. 48** (no. 6): p. 446-458.
2. Commission de la santé et de la sécurité au travail, *Pour mieux s'entendre - Répertoire des ressources*. 1998.
3. Voix, J. and F. Laville, *Problématiques associées au développement d'un bouchon d'oreille "intelligent"*. Pistes, 2005. **Vol. 7** (no. 2).
4. ANSI, *American National Standard Method for the measurement of the real-ear attenuation of hearing protectors*, American National Standard Institute, Editor. 1984.
5. Berger, E.H., *Using the NRR to Estimate the Real-World Performance of HPDs*. Sound and Vibration, 1983. **vol. 17** (no. 1): p. 12-18.
6. Berger, E.H. *Development of a laboratory procedure for estimation of the field performance of hearing*

- protectors. in *Hearing Conservation Conference*. 1992. Lexington, KY.
7. Berger, E.H., J.R. Franks, and F. Lindgren, *International review of field studies of hearing protector attenuation*, in *Scientific Basis of Noise-Induced Hearing Loss*, A. Axelsson, H. Borchgrevink, R. P. Hamernik, P. Hellstrom, D. Henderson, and R. J. Salvi, Editor. 1996, Thieme Medical: New-York. p. 361-377.
  8. Hager, L. and J. Voix. *Individual field fit testing of hearing protectors – an Field-MIRE approach*. in *American Society of Safety Engineers (ASSE)*. 2006. Seattle, WA.
  9. Lemstad, F. and R. Kluge. "Real-world" attenuation of muff-type hearing protectors: The effect of spectacles. in *Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting 2004*. 2004. Mariehamn, Åland.
  10. Neitzel, R. and N. Seixas, *The effectiveness of hearing protection among construction workers*. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2005. **Vol. 2** (no. 4): p. 227-238.
  11. Goff, R.J. and W.J. Blank, *A Field Evaluation of Muff-Type Hearing Protection Devices*. *Sound and Vibration*, 1984. **Vol. 18** (no. 10 ): p. 16-22.
  12. Barham, T.D., M.F. Russell, and D. Gooding, *Improving the Protection Afforded by Earmuffs to Employees who are Exposed to Noise*. *Noise Control Eng. J.*, 1989. **Vol. 33** (no. 2): p. 67-76.
  13. Kotarbinska, E., E. Kozlowski, and W. Barwicz. *Evaluation of individual exposure to noise when earmuffs are worn*. in *Noise at Work 2007*. 2007. Lille, France.
  14. Seixas, N., et al., *Prospective noise induced changes to hearing among construction industry apprentices*. *Occupational and Environmental Medicine*, 2005. **Vol. 62** (no. 5): p. 309-317.
  15. Gaudreau, M.-A., et al. *État de l'art et perspectives sur la mesure des performances effectives des protecteurs auditifs en milieu de travail*. in *CIRI 2007 - Congrès International sur l'ingénierie des risques industriels*. 2007. Montréal, Qc.
  16. Lancaster, J. and J.G. Casali. *An Integrated MIRE Field Measurement Technique for Predicting Real-Ear Attenuation of a Custom Molded Earplug: Instrumentation and Validation*. in *NHCA - 30th Annual Hearing Conservation Conference*. 2005. Tucson, AZ.
  17. Chung, D.Y., R. Hardie, and R.P. Gannon, *The Performance of Circumaural Hearing Protectors by Dosimetry*. *J. Occup. Med.*, 1983. **Vol. 15** (no. 9): p. 679-682.
  18. Voix, J. and F. Laville, *New method and device for customizing in situ a hearing protector*. *Journal of Canadian Acoustical Association*, 2004. **Vol. 32** (no. 3): p. 86-87.
  19. Park, M.-Y. and J.G. Casali, *Empirical study of comfort afforded by various hearing protection devices: laboratory versus field results*. *Applied Acoustics*, 1991. **Vol. 34** (no. 3): p. 151-179.
  20. [www.edirol.net](http://www.edirol.net)
  21. Voix, J., *Mise au point d'un bouchon d'oreille "intelligent"*. 2006, École de technologie supérieure Montréal, Canada, 223 p.
  22. Voix, J. and F. Laville. *Expandable earplug with smart custom fitting capabilities*. in *InterNOISE 2002*. 2002. Dearborn, MI, USA.
  23. Nelisse, H., et al. *A preliminary study on the measurement of effective hearing protection device attenuation during a work shift*. in *Noise at Work 2007*. 2007. Lille, France.
  24. [www.northsafety.com](http://www.northsafety.com)
  25. Abel, S.M. and D. Rokas, *The Effect of Wearing Time on Hearing Protector Attenuation*. *J. Otolaryngol.*, 1986. **Vol. 15** (no. 5): p. 293-297.
  26. Lenzuni, P. *An educated guess of the workplace variability of earmuff attenuation*. in *Noise at Work 2007*. 2007. Lille, France.
  27. Gaudreau, M.-A., et al. *Variabilité de l'atténuation des protecteurs auditifs mesurée par la méthode Field-MIRE en fonction de la direction du son incident et des bruits du porteur*. in *CAA annual conference*. 2007. Montréal, Qc.



# In a Class of its Own

The unmistakable look of Hand-held Analyzer Type 2270 can overshadow a number of discrete yet significant distinctions which make this powerful instrument the complete toolbox for sound and vibration professionals. These include:

- Integrated digital camera
- Two-channel measurement capability
- Integrated LAN and USB interfaces for fast data transfer to PC and remote control and monitoring of Type 2270
- Environmental protection IP44

## Versatile in the Extreme

Type 2270 also boasts a wide range of application software modules that can be licensed separately so you get what you need when you need it.

Currently available measurement software includes:

- Sound Level Meter application
- Real-time frequency analysis
- Logging (noise level profiling)
- Sound and vibration recording
- Building acoustics
- Tonal assessment

Type 2270 meets the demands of today's wide-ranging sound and vibration measurement tasks with the accuracy and reliability associated with Brüel & Kjær instrumentation.

To experience the ease-of-use of Type 2270, just go to [www.bksv.com](http://www.bksv.com) and view the on-line video demonstrations.

*For more information please contact your local Brüel & Kjær representative*

HEADQUARTERS: DK-2850 Nærum · Denmark · Telephone: +4545800500  
Fax: +4545801405 · [www.bksv.com](http://www.bksv.com) · [info@bksv.com](mailto:info@bksv.com)

Australia (+61)29889-8888 · Austria (+43)18657400 · Brazil (+55)115188-8166  
Canada (+1)514695-8225 · China (+86)1068029906 · Czech Republic (+420)267021100  
Finland (+358)9-755950 · France (+33)169907100 · Germany(+49)42117870  
Hong Kong (+852)25487486 · Hungary (+36)12158305 · Ireland (+353)18037600  
Italy (+39)025768061 · Japan (+81)337798671 · Republic of Korea (+82)234730605  
Netherlands (+31)318 55 9290 · Norway (+47)66771155 · Poland (+48)228167556  
Portugal (+351)214711453 · Singapore (+65)3774512 · Slovak Republic (+421)254430701  
Spain (+34)916590820 · Sweden (+46)84498600 · Switzerland (+41)18807035  
Taiwan (+886)227139303 · United Kingdom (+44)1438739000 · USA (+1)8003322040

Local representatives and service organisations worldwide



Hand-held Analyzer *Type 2270*

**Brüel & Kjær** 

**West Caldwell Calibration Laboratories, Inc.**  
 uncompromised calibration  
 Web site: [www.wccl.ca](http://www.wccl.ca) E-mail: [info@wccl.ca](mailto:info@wccl.ca)

Head Office: 1575 State Route 96, Victor, NY 14564  
 Phone: 585-586-3900 Fax: 585-586-4327  
 Branch Office: 31 Ready Court, Brampton, ON L6Y 4T4  
 Phone: 905-595-1107 Fax: 905-595-1108

**A SINGLE SOURCE LABORATORY**  
 for Calibration and Repair of Sound, Vibration, and Electronic Test Instrumentation

**SPECIALIZING IN:**

- Accelerometers
- Microphones
- Sound Level Meters
- Field Calibrators
- Audiometric Equipment
- Vibration Meters
- Frequency Analyzers
- Vibration Test Equipment

**OUR AUTOMATED FACILITY ASSURES YOU OF:**

- Calibrations Traceable to N.I.S.T.
- Certification: ISO 9001:2000
- Accreditation: ISO/IEC 17025:2005
- Compliance: ISO 10012-1, MIL-STD-45662A, ANSI/NCSL 2540-1-1994
- Superior Workmanship
- Complete Test Documentation
- Quick Turnaround time:
  - 48 Hour Calibration Service Available for an Additional Fee
  - 5-10 Days Standard Turnaround



**Authorized Calibration and Repair Center for**

- Rion
- Ono-Sokki
- Scantek Inc.

**We service equipment manufactured by:**

- ACO Pacific\*
- Brüel & Kjær\*
- CEL\*
- Dytran\*
- Endevco\*
- Fluke
- G.R.A.S.\*
- Hewlett-Packard
- Larson Davis\*
- Metrosonics\*
- Norsonic\*
- Norwegian Electric\*
- PCB\*
- Rion\*
- Simpson
- Syminex\*
- Quest
- and others

**FREE INITIAL OR NEXT CALIBRATIONS COMPLIMENTS FROM WCCL**  
 Your cost of the instrument will be manufacturers list price.  
 \* We will be pleased to order any instrument for you from the manufacturers marked with an '\*\*'



*Freedom Step*

Convert a standard floor to a superior floor with the Freedom Step Acoustical & Impact Isolation Subfloor

**AcoustiFloat®**  
 Acoustical & Impact Subfloor Systems

**WILREP LTD.**  
 Tel. (905) 625-8944 Toll Free 1-888-625-8944  
[www.acoustifloat.com](http://www.acoustifloat.com)



**Gym Rooms Playrooms Home Theaters Dance Floors**

AcoustiFloat is a registered Trademark of WILREP LTD.