

**PRESENTATION D'UNE NOUVELLE STRATEGIE DE MESURAGE DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS SOUMIS A DES BRUTS FLUCTUANTS.**

L. Thiéry (1), M. Bénard (2)

(1) I.N.R.S., Centre de Recherche, B.P. 27, 54501 Vandoeuvre cedex, France.

(2) C.R.A.M. de Bretagne, C.I.M.P.O., 236 rue de Chateaugiron, 35030 Rennes cedex, France.

**1. INTRODUCTION**

La directive européenne relative à la protection des travailleurs contre les risques dus à l'exposition au bruit [1] impose le mesurage de l'exposition sonore. Deux indicateurs sonométriques sont nécessaires : le niveau d'exposition sonore quotidienne, la valeur maximale de la pression acoustique instantanée non pondérée. Les résultats doivent être comparés avec les valeurs seuils légales, compte tenu de la précision du mesurage.

La réalisation pratique de ce contrôle demande de choisir une stratégie de mesurage. Ce choix est guidé par la typologie de l'exposition sonore. Ici, on s'intéresse à un cas fréquent et délicat : celui de l'exposition à des bruits fluctuants. Dans ce cas, la législation recommande l'emploi de sonomètres intégrateurs et mentionne deux stratégies de mesure :

- l'observation continue pendant toute la durée de travail,
- le mesurage par échantillonnage représentatif de l'exposition quotidienne des travailleurs.

Quand les fluctuations des niveaux sonores se produisent sur des périodes de durée supérieure à une journée, la mise en oeuvre de ces stratégies se heurte à plusieurs difficultés [3, 6] : le nombre et le coût des mesures, le contrôle de la représentativité des échantillons.

Une nouvelle stratégie de mesurage a été développée, pour apporter une réponse adaptée au cas des fluctuations se produisant sur de longues périodes. Elle est basée sur les principes suivants :

- prélever des échantillons sonores indépendants, en nombre suffisant pour que la précision du mesurage permette son interprétation (dépassement - ou non - des valeurs seuils légales) ;
- autoriser la répartition des moments d'observation sur des périodes d'étendue non limitée a priori, pour que l'échantillonnage sonométrique englobe des fluctuations se produisant éventuellement sur plusieurs semaines ;
- rendre très convivial l'emploi de cette chaîne de mesure et y intégrer l'édition automatique des résultats.

La mise en oeuvre de cette stratégie de mesurage nécessite des matériels et logiciels spécifiques. Ils constituent une chaîne de mesure intégrant les fonctions suivantes : initialisation, acquisition de données, estimation de la précision sur site, éditions des résultats, archivage des données.

Actuellement, cette chaîne de mesure est en cours de développement. L'objet de ce travail est de présenter ses fonctions essentielles. Un site industriel a largement participé à l'analyse de besoins auxquels répond cette nouvelle technique de métrologie de l'exposition sonore. Quelques résultats obtenus sur ce site illustrent la présentation de cette méthode.

## MESURAGE DE L'EXPOSITION SONORE

### 2. CARACTERISTIQUES DE LA CHAÎNE DE MESURE

#### 2.1 Indicateurs sonométriques

Les échantillons sonores sont prélevés pendant des durées élémentaires  $dT$ , dont l'ordre de grandeur est la minute. En même temps que les date et heure du prélèvement, sont enregistrés deux résultats :

- le niveau acoustique continu équivalent, pondéré A,  $L_{Aeq,dT}$
- le niveau maximum de la pression acoustique instantanée, pondéré A,  $L_{A,peak}$

Le niveau d'exposition sonore  $L_{ex}$  à un poste de travail est estimé par le cumul de tous les  $L_{Aeq,dT}$  mesurés à ce poste. Il s'agit d'une moyenne, calculée en énergie, conformément aux spécifications de la norme ISO/DIS 9612 [2] pour les mesures par échantillonnage.

La précision de ce niveau d'exposition est estimée par une relation issue de [4], basée sur l'hypothèse que les niveaux sonores sont stationnaires et gaussiens :

$$\text{Var}(L_{ex}) = (S^2 / N) + (0,115)^2 \cdot 2 S^4 / (N-1)$$

dans laquelle sont notés :

$N$  : nombre des échantillons mesurés au poste de travail considéré

$S^2$  : variance des niveaux  $L_{Aeq,dT}$  mesurés à ce poste.

Dans ces indicateurs, deux choix seront reconsidérés au stade du développement de cette chaîne de mesure :

- la pondération C remplacera la pondération A, pour le mesurage du niveau maximum de la pression acoustique instantanée.
- la précision du niveau d'exposition sonore sera estimée sans hypothèse de normalité des distributions des niveaux sonores, conformément à une proposition récente [5].

#### 2.2 Matériels

Trois types de matériels constituent cette chaîne de mesure :

- un sonomètre intégrateur de précision, muni d'un interface (Bruël & Kjaer 2231, avec le module BZ7100 et l'interface ZI9101) ;
- un micro-ordinateur de poche, interfacé (Psion Organiser II XP, doté de deux mémoires amovibles de 32 Ko de capacité et de l'interface Commslink) ;
- un micro-ordinateur compatible PC (écran VGA), connecté à une imprimante. Un traceur couleur réversible (HP 7550A) est utile pour l'édition sur plan des résultats.

Sur site, ce système d'acquisition est portable. Il dispose d'une autonomie qui peut dépasser 8 heures. Avec une capacité de 32 Ko, chaque mémoire amovible permet le stockage de 200 résultats de mesure. Avec un boîtier de transport spécifique, adapté au sonomètre, à l'ordinateur de poche et leur interface, une personne seule peut facilement utiliser cette chaîne d'acquisition.

**MESURAGE DE L'EXPOSITION SONORE****2.3 Logiciels**

Deux logiciels pilotent ce système de mesure, l'un pour l'acquisition sur site des données, l'autre pour les éditions des résultats.

Lors de l'acquisition sur site, l'"Organiser" guide les opérations suivantes : étalonnage du sonomètre et réglage de sa configuration, mesurage, estimation du niveau d'exposition sonore et de son degré de précision, stockage provisoire des données.

Au terme de quelques heures de mesurage, l'acquisition étant interrompue, les logiciels guident le transfert des données sur micro-ordinateur PC. Ce transfert entraîne la mise à jour des séries antérieures de résultats collectées dans l'atelier contrôlé. Plusieurs menus sont alors disponibles pour éditer les résultats, tracer sur plan les niveaux d'exposition sonore estimés, archiver les données, préparer le rapport de mesurage...

**3. STRATEGIE DE MESURAGE****3.1 Analyse préalable des postes exposés**

Cette technique de mesurage ne peut être mise en oeuvre qu'après une analyse détaillée des postes de travail exposés au bruit.

Les objectifs de cette analyse sont les suivants :

- identifier les bâtiments et ateliers exposés, pour définir les zones à contrôler et leur affecter un code spécifique.
- dans chaque zone, analyser les postes de travail pour déterminer ceux qui peuvent être considérés comme homogènes, au regard de l'exposition sonore, et ceux qui ont un profil d'exposition particulier.
- choisir les postes qui seront effectivement contrôlés, en notant bien ce qu'ils représentent parmi l'ensemble des travailleurs exposés.
- pour ces postes : identifier clairement leur appellation (ou leur position, s'il s'agit de postes fixes), puis définir la durée élémentaire dT à employer pour chaque prélèvement d'échantillon, en se basant sur la durée des cycles de production.

Cette analyse constitue, en fait, une préparation minutieuse des campagnes de mesurage. C'est elle qui conduit à la définition des variables d'initialisation de la chaîne de mesure.

**3.2 Préparation d'une campagne de mesure**

Les données initiales comportent les noms des bâtiments et des ateliers, puis, pour chaque atelier, l'identification des postes qui seront contrôlés et la durée élémentaire dT des mesurages. La saisie de ces données est prévue sur le micro-ordinateur PC. Elle peut s'effectuer également sur l'"Organiser". Après saisie des données initiales, ces paramètres ne sont pas modifiables. En effet, le cumul d'échantillons n'a pas de sens si leurs caractéristiques sont modifiées en cours de mesurage.

Si une série de mesure a déjà été réalisée, elle peut être poursuivie. Dans ce cas, la préparation consiste à recharger sur l'"Organiser" les résultats antérieurs. Le transfert des fichiers utiles est piloté par le logiciel, par simple rappel du nom de l'atelier dans lequel le mesurage est poursuivi.

## MESURAGE DE L'EXPOSITION SONORE

### 3.3 Mesurage

Le choix des jours de mesure est effectué par l'opérateur. De ce fait, l'échantillonnage peut englober toutes les modifications d'exposition sonore révélées par l'analyse du travail. A titre d'exemple, citons des variations sonores provenant des modifications de types de production et de réglages. Ces variations dans le travail peuvent se retrouver par les dates et heures des prélèvements d'échantillon sonore, qui sont enregistrées en même temps que les résultats sonométriques.

Quand une campagne de mesure est en cours dans un atelier, l'opérateur n'a pas à déterminer quel poste contrôler à un instant donné. Ce choix est effectué par le logiciel, par tirage au hasard parmi les postes de cet atelier. Ce processus limite les biais d'échantillonnage dus à l'opérateur. En effet, celui-ci n'a pas à juger de la représentativité - ou non - de l'activité du travailleur exposé, au moment précis du prélèvement sonore. Toutes les phases de travail peuvent être échantillonnées, les plus bruyantes comme les moins bruyantes. Leur représentativité est statistique, assurée par le cumul d'échantillons indépendants et par un tirage pseudo-aléatoire des moments d'observation.

Après chaque mesure à un poste de travail, l'"Organiser" affiche le résultat, accompagné de l'indication de non saturation du détecteur de crête du sonomètre. Le logiciel procède ensuite à la mise à jour de l'estimation du niveau d'exposition sonore et de son degré de précision. Si ce dernier est jugé suffisant pour interpréter le dépassement d'un seuil légal, la série de mesure à ce poste peut être déclarée close. Une série de mesure se termine par le transfert sur micro-ordinateur des données collectées, pour mettre à jour les séries des mesures antérieures éventuelles effectuées dans cet atelier.

## 4. RESULTATS

### 4.1 Test en milieu industriel

Une usine de construction automobile a permis de mettre au point et de tester cette technique métrologique. La chaîne de mesure présentée ici a été employée pour le contrôle de l'exposition sonore d'un site spécialisé dans la fabrication de joints élastomères pour l'automobile.

Ce site comprend 19 ateliers, regroupant environ 1200 travailleurs, qui sont exposés à des bruits fluctuants selon les produits fabriqués. L'analyse préalable du travail a été réalisée par le service sécurité de l'entreprise. Elle a conduit au choix de 131 postes de travail représentatifs de l'exposition sonore dans ce site de fabrication.

Cette nouvelle technique de mesurage a été mise en oeuvre par un technicien du service sécurité de l'usine. Le bilan, dressé par l'entreprise, évoque la rapidité de cette méthode et sa précision supérieure, comparée aux autres stratégies de mesurage. Elle permet "des relevés de l'exposition des opérateurs au plus près des conditions réelles", avec "des moyens de mise en oeuvre et de personnel restreints". Il souligne aussi le caractère impératif d'une préparation minutieuse et d'une bonne connaissance de l'activité pour effectuer des relevés reflétant bien l'exposition des travailleurs.

## MESURAGE DE L'EXPOSITION SONORE

## 4.2 Présentation de résultats

Trois extraits de résultats obtenus sur ce site montrent les présentations possibles avec la chaîne utilisée.

La figure 1 reproduit la synthèse des résultats principaux, disponible par atelier. Pour chaque point contrôlé, elle mentionne trois valeurs en dB(A) : l'estimation du niveau d'exposition sonore, sa précision (au seuil de confiance de 95%), le niveau de pression acoustique de crête. La date du dernier prélèvement est mentionnée.

La figure 2 reproduit le tracé sur plan d'atelier des niveaux d'exposition sonore. Les documents originaux utilisent un code couleur (qui n'apparaît pas ici), destiné à faciliter la comparaison de ces niveaux sonores avec les valeurs seuils de 85 et 90 dB(A).

La figure 3 présente l'historique des mesures effectuées à un point particulier. Il s'agit d'un extrait reproduisant les résultats obtenus à des moments d'observation répartis sur trois jours, chaque prélèvement ayant duré 2 minutes. La synthèse des résultats de l'atelier correspondant à cette figure ne mentionne que les valeurs encadrées et soulignées. L'examen des résultats chronologiques détaillés montre que 13 échantillons indiquent des niveaux acoustiques continus équivalents voisins de 80 dB(A), et 2 échantillons des niveaux qui excèdent 95 dB(A). Ces deux échantillons correspondent à une phase de travail particulière (le démandrinage), notée en observation lors du mesurage.

Les variations, observées sur les  $L_{Aeq,DT}$  entre ces 15 échantillons expliquent l'imprécision relative de 5,4 dB(A), notée sur l'estimation finale du niveau d'exposition sonore. Le seuil de 90 dB(A) étant situé à l'intérieur de l'intervalle de confiance estimé pour ce niveau d'exposition sonore, on doit conclure au dépassement de ce seuil.

De plus, si la stratégie d'échantillonnage n'avait pas inclus cette opération bruyante et peu fréquente, l'estimation du niveau d'exposition sonore aurait été voisine de 80 dB(A), avec une précision inférieure à 1 dB(A). Elle aurait été sous évaluée de 9 dB(A), et affichée avec un degré de précision totalement erroné. L'examen de ce cas particulier montre bien l'importance d'une stratégie d'échantillonnage qui soit représentative de toutes les phases d'activité des travailleurs.

### 5. CONCLUSION

Cette stratégie de contrôle de l'exposition sonore présente des caractéristiques de souplesse d'emploi et de précision indéniables. Bien que sa validation sur des sites industriels variés reste à réaliser, elle semble apporter une réponse originale à l'évaluation de l'exposition sonore dans un cas particulièrement difficile, qui n'est pas traité par la législation ou la normalisation actuelle : celui de l'exposition à des bruits fluctuants sur des périodes longues, dépassant la journée et même la semaine.

La mise en oeuvre de cette stratégie de mesure implique une analyse préalable du travail. Son test sur site industriel confirme qu'une mauvaise connaissance du travail peut constituer une source d'incertitude de mesure de l'exposition très importante. Le développement de stratégies métrologiques, tenant compte de ce fait et adaptées aux différentes typologies de l'exposition sonore, paraît donc nécessaire.

### 6. REFERENCES

- [1] Directive 86/188/CEE du Conseil du 12 mai 1986 concernant la protection des travailleurs contre les risques dus à l'exposition au bruit pendant le travail. JO des Communautés européennes, L 137 du 24.5.86, pp. 28-34.
- [2] ISO. Draft international standard ISO/DIS 9612. Acoustics : guidelines for the measurement and assessment of exposure to noise in the working environment. 1990.
- [3] ARBEY H.S., THIERY L. - Métrologie de l'exposition sonore en milieu professionnel ; une nécessité : clarifier les pratiques. In : La métrologie de l'exposition sonore en milieu industriel, Journées d'études INRS, 13 et 14 novembre 1990. Paris, INRS (Ed.), Notes Scientifiques et Techniques, 1991, 84, pp. 15-18.
- [4] BASTIDE J. C. - Estimation et mesure du niveau acoustique continu équivalent. Revue de statistique appliquée, 1988, 36, 3, pp. 5-14.
- [5] MAURIN M. - L'échantillonnage des niveaux de bruit et la normalité. In : La métrologie de l'exposition sonore en milieu industriel, Journées d'études INRS, 13 et 14 novembre 1990. Paris, INRS (Ed.), Notes Scientifiques et Techniques, 1991, 84, pp. 31-44.
- [6] THIERY L. - Le mesurage de l'exposition sonore : pratiques et questions actuelles. In : Stratégie de prélèvement, séminaire interne INRS, 28 mars 1991. Paris, INRS (Ed.), Notes Scientifiques et Techniques, 1992, 91, pp. 13-19.

MESURAGE DE L'EXPOSITION SONORE

SYNTHESE DU MICRO-ECHANTILLONNAGE				
RB MELA1				
N° Pt	Lex,d	Préc*	L crête	Date
1	87.0	1.2	115.4	22/02/90
2	79.9	1.8	103.9	22/02/90
3	90.8	1.6	139.8	26/02/90
4	87.0	1.9	128.3	22/02/90
5	87.6	1.3	121.9	26/02/90
6	85.1	0.7	123.4	26/02/90

Figure 1 : Présentation des résultats sonométriques obtenus dans un atelier : niveau d'exposition sonore, estimation (à 95 %) de la précision de ce niveau d'exposition, niveau maximum de pression acoustique instantanée (valeurs en dB(A)).

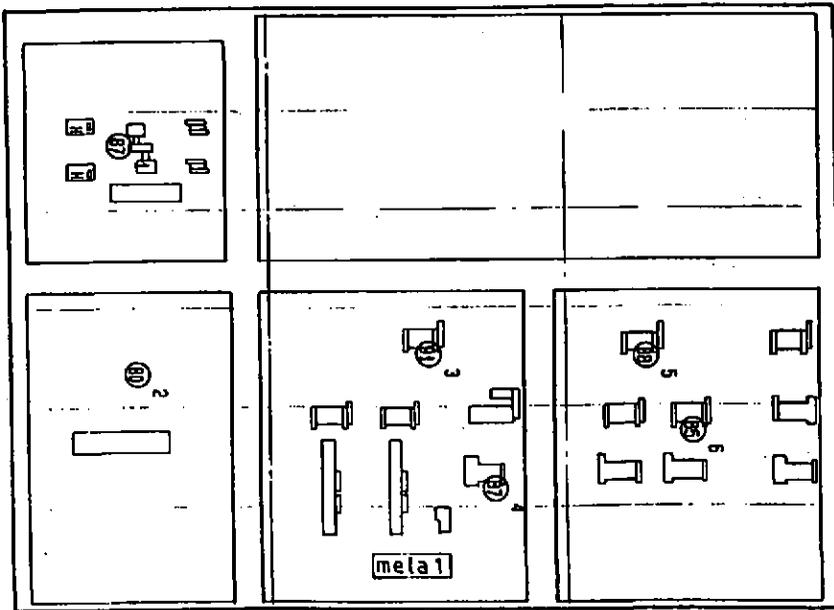


Figure 2 : Reproduction, sur plan, des niveaux d'exposition sonore estimés dans un atelier.

## MESURAGE DE L'EXPOSITION SONORE

**ESTIMATION DE L'EXPOSITION AU BRUIT**  
Logiciel INRS-READI

BATIMENT : RB  
ATELIER : DUR  
NB. POINTS DE MESURE : 6  
PERIODE DES MESURES : DU 20/02/90 AU 14/03/90  
OBSERVATIONS :

N° POINT DE MESURE : 5 LIEU : MANDRINAGE

DUREE DES MESURES : 02 minutes 00 secondes.

N°	DATE	HEURE	dB(A): MESURES		RESULTAT FINAL		COMMENTAIRES EVENTUELS
			LAeq	Lcret	Lex,d	Prec	
1	20/02/90	13:10	80.0	120.3	80.0	-	
2	20/02/90	14:33 →	95.5	124.4	92.6	-	
3	20/02/90	14:37	77.2	104.7	90.9	54.0	
4	20/02/90	14:54	78.8	99.5	89.8	25.4	
5	21/02/90	12:16 →	98.2	131.2	93.2	26.0	
6	21/02/90	12:21	76.9	98.0	92.4	20.4	
7	21/02/90	12:26	77.8	103.0	91.8	16.2	
8	09/03/90	10:09	78.0	100.5	91.2	13.3	
9	09/03/90	10:13	82.7	114.9	90.8	10.9	
10	09/03/90	10:17	81.3	108.6	90.4	9.2	
11	09/03/90	10:20	82.3	106.4	90.0	7.9	
12	09/03/90	10:54	78.8	109.2	89.7	7.0	
13	09/03/90	13:08	76.7	101.1	89.3	6.5	
14	09/03/90	13:14	78.3	104.2	89.0	5.9	
15	09/03/90	13:19	79.1	<u>131.4</u>	<u>88.8</u>	<u>5.4</u>	

Figure 3 : Historique des résultats obtenus à un poste particulier (flèche : repère de valeur singulière du niveau sonore ; souligné : niveau maximum de pression acoustique instantanée ; encadré : dernière estimation du niveau d'exposition sonore et de son degré de précision).