

CFA '18 LE HAVRE ■ 23-27 avril 2018
14^{ème} Congrès Français d'Acoustique



Surveillance du niveau sonore pour l'écoute professionnelle au casque

J. Palacino, L. Feichter et P. Rueff
Feichter Electronics, 5 rue de broglie, 22300 Lannion, France
julian.palacino@feichter-electronics.com

Les ingénieurs du son et autres spécialistes de l'audiovisuel ont recours à l'écoute au casque dans le cadre de leur activité professionnelle. Ces utilisateurs sont souvent confrontés à une écoute prolongée et à des niveaux sonores susceptibles de léser l'audition. En effet, les dispositifs professionnels ne sont pas soumis aux limitations réglementaires françaises et européennes qui n'encadrent que les dispositifs destinés au grand public. Les professionnels sont néanmoins soumis à la directive européenne n°2003/10/CE du 6 février 2003 fixant les limites réglementaires de l'exposition du bruit au travail. Or la méthodologie fixée par cette directive n'est pas en accord avec l'hétérogénéité des niveaux rencontrés en audiovisuel. Suite à l'analyse du niveau sonore délivré par différents casques sur différents coupleurs, une nouvelle méthodologie et un dispositif de surveillance pouvant équiper les systèmes d'écoute destinés aux professionnels ont donc été proposés.

1 Introduction

Dans le but de protéger les ingénieurs du son, opérateurs radio et l'ensemble des professionnels confrontés à une écoute prolongée au casque, il est nécessaire de se munir des outils permettant la prévention et l'évaluation du risque encouru par cette population. Or, le matériel utilisé dans le cadre professionnel n'est pas soumis aux limitations fixées par l'article L. 5232-1 du code de la santé publique [2] visant à protéger l'audition des utilisateurs d'appareils grand public. D'autre part, les utilisateurs sont soumis à la directive européenne n°2003/10/CE du 6 février 2003 [1] fixant les limites réglementaires de l'exposition du bruit au travail.

La norme Européenne, ainsi que la plupart des réglementations internationales, basées sur les recommandations de l'OMS, déterminent le niveau d'exposition sonore en dB pondérés A sur une base d'intégration journalière de 8 heures,

$$L_{ex,8} = 10 \log \left(\frac{1}{P_0^2(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} P_A^2(t) dt \right) \quad (1)$$

où $t_2 - t_1 = 8h$, P_A est la pression acoustique pondérée A en Pascal et P_0 la pression du seuil d'audibilité $20 \mu Pa$. Cette valeur peut être également exprimée par :

$$L_{(ex, 8)} = 10 \log \sum_i \frac{T_i}{T} 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (2)$$

où T_i correspond à la durée de l'exposition engendrant un niveau sonore L_i exprimé en dBA sur la période totale $T = 8 h$.

Les normes internationales ANSI S12.19 [21], CSA Z107.56 [4] et ISO 9612 [11] déterminent les méthodes permettant l'évaluation de l'exposition du travailleur au bruit. Plus particulièrement, les normes ISO 11904-1 et ISO 11904-2 [10] déterminent les méthodes permettant d'évaluer le niveau sonore engendré par des sources à proximité de l'oreille du salarié, car les niveaux obtenus seraient équivalents au niveau en champ libre [15]. La première est connue sous le nom de (MIRE Microphone In the Real Ear). Elle permet la mesure directement dans l'oreille du salarié. La seconde détermine la méthode utilisant un mannequin acoustique muni de simulateurs d'oreille (Tête : ITU-T P.58 [12] (IEC/TS 60318-7), Oreille : ITU-T P.57 [12] (IEC 60318-1 pour casques circumauraux et supra-auraux uniquement et IEC 60318-4 pour écouteurs intra-auraux)). Cette norme donne également la correction nécessaire pour exprimer les niveaux sonores en bruit équivalent champ libre (abaque en tiers d'octave). La norme australienne AS/NZS 1269.1 propose également une méthode permettant d'évaluer le niveau sonore des casques acoustiques utilisant des mannequins acoustiques ou des

simulateurs d'oreille. Le niveau équivalent en champ libre est évalué en retranchant 5 dB à la mesure en dBA.

Actuellement deux problèmes principaux ont été soulevés. D'une part, la variabilité de niveaux sonores relevés en fonction du système de mesure [8, 14] et d'autre part l'impact du placement du casque [7, 13, 15–20, 22–24]. Giguere [6] indique que le placement du casque sur un mannequin acoustique engendre des écarts de 3 dB entre les mesures et des différences de 8 dB entre les deux oreilles. L'auteur indique également que les différences de la pression mécanique du casque sur la tête peuvent engendrer des écarts allant jusqu'à 16 dB. Pour palier à ce problème et pour ne pas gêner le travailleur dans son activité, l'organisme américain OSHA dans TED 01-00-015 [3], la normativité australienne dans AS/NZS 1269.1 et l'organisme européen ETSI dans la recommandation EG 202 518 V1.2.1 [5], proposent des méthodes d'évaluation de l'exposition sonore basées sur la mesure et l'analyse du signal électrique engendré par le dispositif d'écoute. Ces techniques nécessitent l'évaluation au préalable du casque acoustique pour exprimer la valeur du niveau sonore en champ libre. Elles assument également la linéarité de la réponse du casque.

Afin de trouver une méthode et un dispositif permettant l'évaluation du niveau sonore des casques utilisés dans le cadre professionnel, une campagne de mesure de la réponse de différents casques et coupleurs a été menée dans l'objectif d'évaluer le niveau d'exposition à partir des niveaux électriques délivrés au casque.

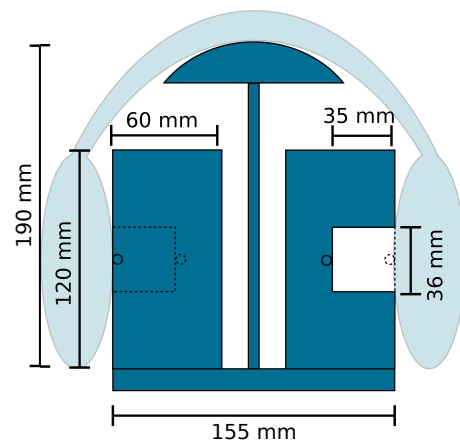


FIGURE 1 – Schéma du support utilisé : à gauche la représentation du support plat (cavité en pointillés), à droite la représentation du support avec cavité (support plat en pointillés)

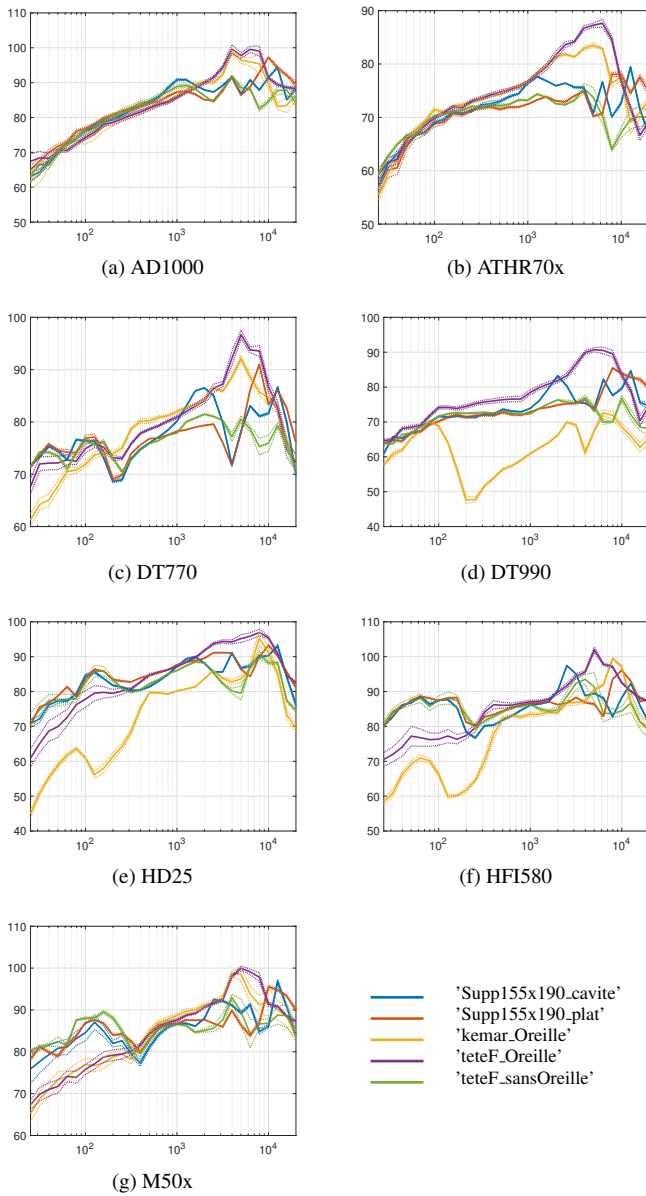


FIGURE 2 – Moyenne et écart-type de la réponse en tiers d'octaves (en dB SPL) des différents casques (a-g) à un bruit blanc sur différents coupleurs (Couleurs)

2 Dispositifs de mesures et casques mesurés

Trois dispositifs de mesures ont été utilisés, une tête acoustique KEMAR équipée d'oreilles souples, une tête acoustique schématisée réalisée en mousse rigide ("tête F") et un support comportant deux parallélépipèdes de $120 \times 120 \times 60$ mm écartés de 155 mm et un support permettant de retenir l'arceau du casque à 190 mm ("Supp") (Figure 1). La "tête F" est équipée d'oreilles souples escamotables. En absence des oreilles la tête comporte des orifices oblongs d'environ 8 cm^3 . Le support "Supp" permet deux configurations, une cavité cylindrique de 35 mm de profondeur et 36 mm de diamètre (10 cm^3) ou une surface plate. Le microphone primo EM258 (6 mm ϕ) a été placé en entrée du conduit auditif dans le cas des coupleurs équipés avec des oreilles ou inséré sur un orifice du même diamètre que la capsule affleurant la surface de la paroi.

Le même microphone a été utilisé pour l'ensemble des

mesures, la chaîne acoustique a été calibrée au préalable et comporte une sensibilité de -7 dB FS / Pa à 1 kHz. L'ensemble de mesures est effectué à une fréquence d'échantillonnage de 48 kHz à 24 bits.

TABLEAU 1 – Casques évalués.

Marque	Modèle	Type	
Audio Technica	AD1000	ouvert	circum
Audio Technica	ATH-R70x	ouvert	circum
Audio Technica	ATH-M50x	fermé	circum
Beyerdynamic	DT770	fermé	circum
Beyerdynamic	DT880	Semi Ouvert	circum
Beyerdynamic	DT990	ouvert	circum
Sennheiser	HD25	fermé	supra
Ultrasonic	HFI580	fermé	circum

Les casques utilisés dans l'étude sont répertoriés sur le tableau 1. Le même signal de sortie est délivré aux différents casques, deux signaux test de 5 s ont été utilisés, un bruit blanc et un signal sinusoïdal à 1 kHz. La valeur efficace totale et par tiers d'octave des signaux est évaluée sur 2.5 s. Les mesures en tiers d'octave classe 1 ont été effectuées selon la norme IEC 61672-1 [9].

3 Résultats

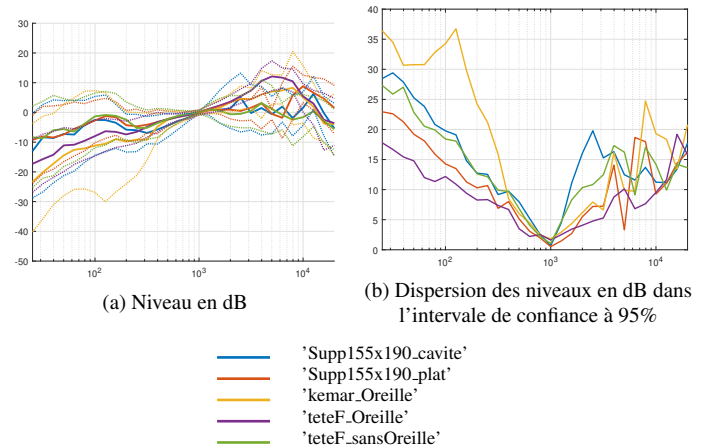


FIGURE 3 – Médiane et intervalles de confiance à 95 % de la réponse en tiers d'octaves (en dB SPL) normalisés par la valeur moyenne à 1 kHz des différents supports (Couleurs) à un bruit blanc

Sur la figure 2 sont affichées les niveaux sonores $L_f(c, s)$ en dB SPL de chaque couple casque-support (c, s). Ils sont calculés par bandes de $1/3$ d'octave centrés sur la fréquence f .

La dispersion de résultats est très faible ($\sigma < 3 \text{ dB}$) pour les 8 répétitions sur un même casque et un même support.

Afin de pouvoir comparer les résultats des différents casques et supports, les valeurs sont normalisées par la valeur moyenne à 1 kHz des 8 positionnements (figure 3a). La dispersion est très élevée sur l'ensemble du spectre et principalement pour la tête Kemar suivie du support avec cavité et de la "tête F" sans oreille (figure 3b).

La réponse médiane des niveaux normalisés à 1 kHz de l'ensemble des casques sur un support, est considérée comme la réponse du coupleur et le niveau total L_A en dBA ou L_{SPL} en dB SPL est calculé comme la somme de pression acoustique de l'ensemble des bandes fréquentielles.

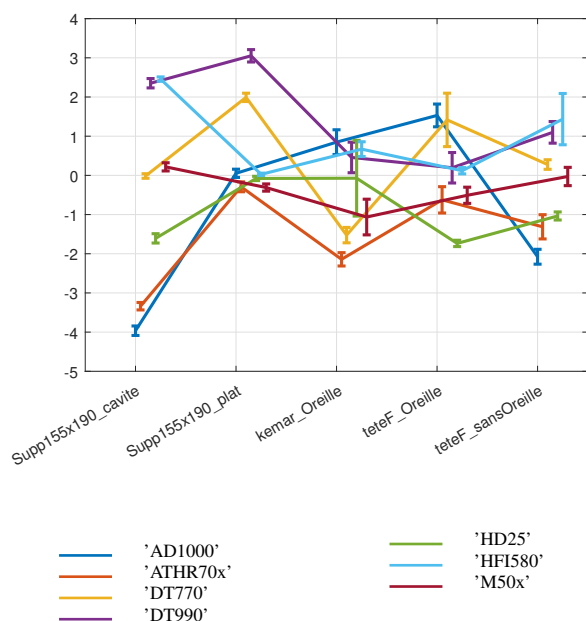


FIGURE 4 – Moyenne et écart-type du niveau en dBA, normalisés par la valeur moyenne à 1 kHz et la réponse des supports

Les valeurs normalisées affichées en figure 4 permettent d'observer que la plus faible variabilité inter-casques est obtenue grâce à la "tête F" munie d'une oreille. Néanmoins, lorsqu'on observe les résultats obtenus grâce au support plat on constate que la variabilité est moindre pour l'ensemble des casques à l'exception des casques DT770 et DT990 pour qui le niveau sonore est surévalué d'environ 2 dBA et 3 dBA respectivement.

Ces résultats semblent valider le choix d'un support plat muni d'un microphone dans le but de la mesure des niveaux sonores. Néanmoins, le parc de casques utilisé dans cette étude étant réduit, la réponse du casque devra être validée avec un parc plus conséquent. D'autre part, dans le but de comparer différents casques, le signal d'excitation devra être ajusté afin d'obtenir le même niveau acoustique. Les résultats ainsi obtenus pourront être comparés aux résultats issus d'un dispositif de mesures normalisé.

4 Mesures complémentaires

4.1 Support plat

Le niveau de sortie des casques a été réglé de façon à engendrer 85 dB SPL avec une excitation sinusoïdale à 1 kHz mesurée directement sur le support plat. Chaque casque à été ensuite excité avec un bruit blanc et la mesure répétée 8 fois en repositionnant le casque à chaque mesure.

Le niveau sonore par tiers d'octaves ainsi mesuré a été corrigé par la réponse moyenne du coupleur calculée au préalable. Le niveau en dBA obtenu pour l'ensemble des

casques se trouve dans une fourchette de 5 dBA autour de 77 dBA pour l'ensemble des casques (figure 5). On constate également que le positionnement engendre une très faible dispersion ($\sigma < 0.2$ dB) pour tous les casques à exception du HD25 où la dispersion est importante ($\sigma < 2.5$ dB).

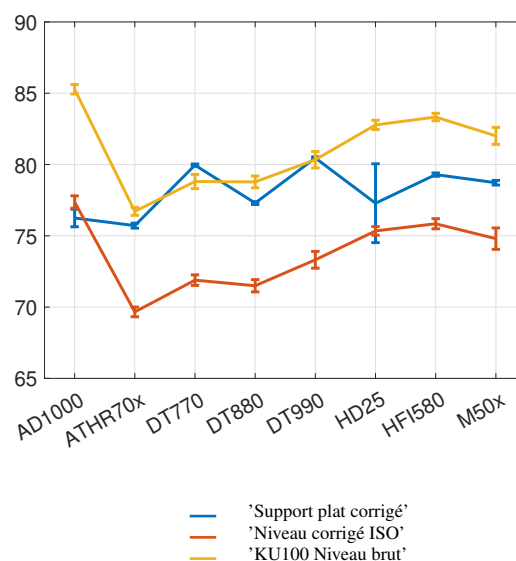


FIGURE 5 – Moyenne et écart-type des mesures du niveau moyen corrigé par les réponses en fréquence, sur le support plat et sur la tête KU100 avant et après correction par rapport à la norme ISO 11904

4.2 Support normalisé

Une nouvelle série de mesures a été effectuée sur une tête Neumann KU100 préalablement étalonnée. Le niveau de sortie des casques a été réglé de façon à engendrer 85 dB avec une excitation sinusoïdale à 1 kHz mesuré sur la tête. Comme dans l'expérience précédente, chaque casque à été excité avec un bruit blanc et la mesure répétée 8 fois en repositionnant le casque à chaque mesure sur la tête.

Le niveau sonore par tiers d'octaves ainsi mesuré a été corrigé par la réponse champ diffus de la tête utilisée ainsi que par les valeurs fournies dans la norme ISO 11904. Comme pour la mesure sur le support plat, la dispersion des mesures pour chaque casque est modérée ($\sigma < 0.5$ dB) (figure 5), néanmoins la dispersion de niveaux entre les différents casques est d'environ 10 dB.

5 Conclusion

Les mesures effectuées ont démontré que l'utilisation d'un support simplifié ("support plat"), à la différence d'une tête acoustique, permet la mesure des niveaux avec une faible dispersion de résultats pour parc de casques dont les caractéristiques sont très hétérogènes. Afin de valider, ce résultat un plus grand nombre de casques doit être mesuré pour définir la réponse du casque d'un point de vue statistique.

Une campagne de mesures devra être menée afin de valider la pertinence des niveaux ainsi mesurés et de donner son équivalence en champ libre. En effet, les niveaux

obtenus avec le support simplifié appliquant la correction de la réponse du coupleur semblent sous-évalués par rapport aux résultats obtenus avec la tête acoustique non corrigée et sur-évalués par rapport aux valeurs corrigés selon la norme ISO 11904. La validation de cette méthode permettrait d'équiper à moindre coût les personnes utilisant des casques audio dans le contexte professionnel d'un dispositif leur permettant de mesurer et de gérer la dose acoustique et ainsi se prémunir contre d'éventuels risques auditifs.

Références

- [1] Directive Européenne. (2003/10/CE), février 2003.
- [2] Code de la santé publique. (L. 5232-1), 2016.
- [3] Occupational Safety and Health Administration. OSHA Technical Manual (OTM). 1999.
- [4] Association canadienne de normalisation. Mesure de l'exposition au bruit. (CSA Z107.56), 2006.
- [5] ETSI. Speech and multimedia Transmission Quality (STQ); Acoustic Output of Terminal Equipment; Maximum Levels and Test Methodology for Various Applications. 2009.
- [6] Christian Giguere, Alberto Behar, Hilmi R Dajani, Tim Kelsall, and Stephen E Keith. Direct and indirect methods for the measurement of occupational sound exposure from communication headsets. *Noise Control Engineering Journal*, 60(6) :630–644, 2012.
- [7] Dorte Hammershøi and Henrik Møller. Binaural technique—Basic methods for recording, synthesis, and reproduction. *Communication Acoustics*, pages 223–254, 2005.
- [8] Tatsuya Hirahara. Physical characteristics of headphones used in psychophysical experiments. *Acoustical science and technology*, 25(4) :276–285, 2004.
- [9] IEC. Electroacoustique : sonometres : partie 1. (IEC 61672-1), May 2002.
- [10] ISO. Détermination de l'exposition sonore due à des sources placées à proximité de l'oreille. (ISO 11904-2), June 2005.
- [11] ISO. Acoustique - détermination de l'exposition au bruit en milieu de travail - méthode d'expertise. (ISO 9612 Mai 2009), May 2009.
- [12] ITU-T. TERMINALS AND SUBJECTIVE AND OBJECTIVE ASSESSMENT METHODS Objective measuring apparatus : Head and torso simulator for telephonometry. (ITU-T P.58), May 2013.
- [13] Abhijit Kulkarni and H. Steven Colburn. Variability in the characterization of the headphone transfer-function. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 107(2) :1071–1074, 2000.
- [14] Martin Liedtke. Determination of sound immissions from sources placed close to the ears—such as head-and earphones. volume 2001, pages 576–581. Institute of Noise Control Engineering, 2001.
- [15] Henrik Møller, Michael Friis Sørensen, Clemen Boje Jensen, and Dorte Hammershøi. Binaural technique : Do we need individual recordings? *Journal of the Audio Engineering Society*, 44(6) :451–469, 1996.
- [16] Mathieu Paquier and Vincent Koehl. Perception sonore de la variabilité de positionnement d'un casque audio. *Acoustique et Techniques*, 60 :21–26, 2010.
- [17] Mathieu Paquier, Vincent Koehl, and Brice Jantzen. Effects of headphone transfer function scattering on sound perception. In *Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics (WASPAA), 2011 IEEE Workshop on*, pages 181–184. IEEE, 2011.
- [18] Danièle Pralong and Simon Carlile. Measuring the human head-related transfer functions : A novel method for the construction and calibration of a miniature “in-ear” recording system. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 95(6) :3435–3444, 1994.
- [19] Danièle Pralong and Simon Carlile. The role of individualized headphone calibration for the generation of high fidelity virtual auditory space. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 100(6) :3785–3793, 1996.
- [20] Klaus AJ Riederer. Repeatability analysis of head-related transfer function measurements. In *Audio Engineering Society Convention 105*. Audio Engineering Society, 1998.
- [21] AMERICAN NATIONAL STANDARD. Measurement of occupational noise exposure. (ANSI/ASA S12.19-1996).
- [22] Floyd E. Toole. The acoustics and psychoacoustics of headphones. In *Audio Engineering Society Conference : 2nd International Conference : The Art and Technology of Recording*. Audio Engineering Society, 1984.
- [23] Frederic L Wightman and DJ Kistler. Headphone simulation of free-field listening. II : Psychophysical. *J. Acoust. Soc. Am*, 85(2) :868–878, 1989.
- [24] Frederic L Wightman and Doris J Kistler. Headphone simulation of free-field listening. I : Stimulus synthesis. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 85(2) :858–867, 1989.