



Vibrations au poste de travail - Approche expérimentale des incertitudes de mesurage

Fabien KRAJCARZ, Noémie CAYRON

Gamba Acoustique Industrie et Environnement, France
fabien.krajcarz@acoustique-gamba.fr

Résumé

Le législateur fait obligation à l'employeur de mesurer l'exposition des salariés aux vibrations et, selon les résultats obtenus, de mettre en œuvre un certain nombre de dispositions pour réduire cette exposition.

Les méthodes de mesurage permettant d'évaluer les niveaux vibratoires sont normalisées - NF EN 14253 pour le corps entier et NF EN ISO 5349-2 pour mains-bras ; elles indiquent que les incertitudes de mesurage associées au résultat produit doivent être évaluées mais donnent seulement quelques recommandations méthodologiques qui laissent une assez grande latitude à l'opérateur, tant sur la méthode que sur l'interprétation. On peut sur ce point faire la comparaison avec le mesurage du bruit au poste de travail pour lequel, en revanche, la méthode d'estimation de l'incertitude est extrêmement définie et encadrée par la norme NF EN ISO 9612.

Praticiens du mesurage du bruit et des vibrations au poste de travail, Gamba Acoustique a souhaité quantifier les incertitudes associées aux mesurages, "mains-bras" pour des opérations utilisant des outillages portatifs - ponceuses, perceuses, burineurs, rotatifs - et "corps complet" dans le cas d'utilisation de véhicules.

Les incertitudes ont été estimées à l'aide de la norme ISO 5725. Les résultats montrent que les mesurages sont parfois entachés d'une incertitude importante, jusqu'à être de l'ordre de grandeur de la valeur du mesurande.

Ceci suggère la nécessité d'un partage d'expériences sur ces mesurages et pose en filigrane la question de l'acceptation par l'employeur de résultats assortis de telles incertitudes.

Mots-clés : Vibrations, incertitudes, métrologie

1 L'obligation de protection des salariés

L'employeur a l'obligation de mesurer l'exposition des salariés aux vibrations et, selon les résultats obtenus, de mettre en œuvre un certain nombre de dispositions pour réduire cette exposition. Il y a donc un double enjeu, de sécurité et technico-économique. Les questions qui sont alors posées au mesureur par son donneur d'ordre (en général l'employeur) sont de cet ordre : « quel est l'exposition aux vibrations de mes salariés ? » ; « les seuils réglementaires sont-ils, oui ou non, dépassés ? ». A partir de là, plusieurs démarches sont possibles. Les normes NF EN 14253 [1] et NF EN ISO 5349 [2] donnent quelques recommandations pour l'évaluation des incertitudes. Pour l'évaluation *mains-bras*, la norme NF EN ISO 5349 [2] indique : « *Les sources d'incertitude dépendent de l'opération mesurée. Il convient que l'expérimentateur détermine les sources principales (par exemple balourd de la meule dans le cas de meuleuses), et il est recommandé d'effectuer de nombreux mesurages afin d'établir l'ampleur de l'incertitude et de calculer l'écart-type des sources dominantes d'incertitude (il peut, par exemple, être utile de mesurer une meuleuse équipée*



de meules ayant différents balourds). Lorsque le mesurage n'est pas destiné à évaluer l'exposition aux vibrations d'un travailleur particulier, mais à évaluer l'exposition d'une tâche spécifique, il est recommandé de fonder, si possible, l'évaluation de l'exposition aux vibrations sur des mesurages effectués sur au moins trois travailleurs différents. Le résultat consigné doit être la moyenne arithmétique des mesurages. En règle générale, l'écart-type est également enregistré. » Il s'agit donc de multiplier les mesurages et de calculer les indicateurs statistiques usuels que sont *moyenne arithmétique* et *écart-type*. Prenons un exemple qui répondrait aux recommandations de la norme NF EN ISO 5349-2 [2] : soit 3 opérateurs munis chacun de leur propre outillage portatif. On pourra réaliser 3 essais pour chacun des 3 opérateurs utilisant leur outillage. On aura donc au total 9 essais, à partir desquels on calculera moyenne arithmétique et écart-type. Mais, si cette approche est dans la logique statistique de l'évaluation d'une grandeur, elle ne donne toutefois qu'une image centrée sur les opérations mesurées, sans donner d'indications sur la probabilité d'obtenir des valeurs *différentes* dans des situations comparables mais *différentes*. Car en réalité, lorsqu'un employeur fait réaliser ou réalise lui-même des mesurages, il souhaite si possible connaître le résultat pour l'ensemble de ses salariés et pas seulement pour ceux qui ont fait l'objet de mesurages.

Finalement, la question qu'il nous semble devoir nous poser est la suivante : « les indicateurs statistiques obtenus à partir des opérations mesurées sont-ils des indicateurs fidèles à la réalité de l'ensemble des cas possibles ? », ou encore plus clairement « si 30 opérateurs différents dans l'entreprise sont chargés d'une opération comparable (outillage et conditions opératoires comparables), quelle sera la dispersion des résultats ? ». A cette dernière question, deux manières de répondre : en faisant des essais exhaustifs sur l'ensemble des opérateurs (rarement possible pour des raisons économiques la plupart du temps) ou en évaluant les incertitudes de mesurage par la répétition d'essais dans des conditions de répétabilité et de reproductibilité. En tant qu'intervenant « mesureur » pour le compte d'employeurs, c'est donc à cette dernière question que nous avons souhaité répondre : quelle est l'incertitude associée au mesurage des vibrations au poste de travail, pour que la réponse apportée à l'employeur soit la plus fidèle possible à la réalité ?

2 Démarche générale des mesurages et évaluation des incertitudes

Pour répondre à ces questions, nous avons dans un premier temps réalisé des essais dans le cadre de *plans d'expériences*, sur un certain nombre d'opérations que nous avons organisées nous-mêmes, supposées représentatives d'opérations qu'on peut rencontrer dans le milieu du travail :

- mesurages *mains-bras* : perceuses, ponceuses, burineurs, rotatifs ;
- mesurages *corps complet* : véhicule commercial classique, véhicule *quatre roues motrices*.

Afin que les résultats soient exploitables, nous avons défini des conditions expérimentales relativement bien cadrées, mais dans le même temps, nous avons accepté des différences mineures entre les outils utilisés au sein d'un même plan d'expériences ; la raison en est que nous ne souhaitons pas nous rapprocher de conditions expérimentales de niveau laboratoire mais plutôt de conditions expérimentales rencontrées dans la réalité du monde du travail, où tout n'est pas strictement semblable et reproductible, ni les outillages, ni les modes opératoires. Pour les mesurages *mains-bras*, nous avons sélectionné des outils par paires, si possible de même marque et même modèle. Certaines paires n'étaient pas parfaites (différence d'état général par exemple), mais nous avons décidé d'accepter les différences, dans la mesure où ces différences peuvent exister dans le monde du travail.



Les essais ont été réalisés sous le contrôle du responsable de l'étude, par des salariés de Gamba Acoustique, à qui les consignes générales ont été données, pour que les conditions expérimentales soient les plus homogènes possibles.

Dans un premier temps, nous présentons les *plans d'expériences* que nous avons mis en place. Leur vocation première est d'analyser le comportement des processus et de les optimiser (comment réaliser le meilleur gâteau au chocolat possible, le plus rapidement et le moins cher possible ?). On déterminera ainsi l'influence relative des facteurs supposés jouer sur le résultat (teneur en chocolat, gamme de prix du chocolat, température du four, quantité de beurre, ...). Par nature, ils fournissent également la structure des essais nécessaire aux calculs des incertitudes. C'est ce que nous présentons dans un second temps, à travers l'application de la norme NF ISO 5725 [3], qui donne la méthodologie de calcul de l'*écart-type de reproductibilité*, que les statisticiens appellent également *incertitude-type de type A*.

2.1 Plans d'expériences

2.1.1 Qu'est-ce qu'un plan d'expériences ?

La théorie des plans d'expériences est un vaste sujet que nous n'aborderons que très succinctement ici. Le lecteur intéressé pourra se reporter à l'ouvrage de *Goupy et Creighton* qui nous a servi de support technique [4]. Les plans d'expérience n'ont pas vocation à donner directement l'incertitude, mais ils permettent de mettre en évidence les facteurs dominants dans l'obtention d'un résultat, ce qui nous a paru utile pour la compréhension de la relation facteurs-résultats. La répétition des mesurages au sein d'un plan d'expériences permet également de calculer les *variances de répétabilité et de reproductibilité* nécessaires au calcul de l'incertitude de mesurage, selon la norme NF ISO 5725 [3]. C'est ce que nous verrons un peu plus loin.

2.1.2 Mise en place du plan d'expériences

Il s'agit dans un premier temps d'identifier l'ensemble des facteurs susceptibles d'avoir une influence sur le résultat du mesurage. Dans un second temps, deux (ou plus) d'entre eux sont choisis, tous les autres étant supposés non-déterminants ou maintenus constants. Les facteurs choisis prennent deux niveaux, un niveau bas et un niveau haut ; le plan d'expériences consiste à réaliser les mesurages pour toutes les combinaisons de ces facteurs.

2.1.3 Matrice d'expériences

Chaque facteur X_i va prendre deux niveaux, un niveau bas, noté -1 et un niveau haut, noté +1. Ces niveaux peuvent effectivement correspondre à des niveaux physiquement différents (vitesse basse et vitesse haute par exemple) ou représenter tout simplement des états différents (bleu et jaune par exemple). Tous les autres facteurs sont maintenus constants (matériau, diamètre de l'outil, vitesse de rotation, parcours en voiture, ...). Dans le cas d'opérations de perçage, Pierre et Paul représentaient respectivement les niveaux bas et haut du facteur *opérateur*, les perceuses, *Persmal 1* et *Persmal 2*, de la même référence, représentaient respectivement les niveaux bas et haut du facteur *outillage* et le type d'adaptateur utilisé « tenu à la main » ou « accroché à la poignée » les niveaux bas et haut du facteur *adaptateur*. Le nombre d'essais à réaliser est égal à 2^p , p étant le nombre de facteurs.

2.2 Calcul des incertitudes

L'incertitude est la valeur associée à un résultat, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient raisonnablement être associée au mesurande (la valeur mesurée). Sa détermination peut se faire selon deux techniques :



- approche analytique du GUM [5] : cette méthode suppose que l'on connaisse l'ensemble des sources d'erreur et que l'on sache quantifier chacune d'entre elles ;
- approche statistique (norme NF ISO 5725 [3]) : les incertitudes sont estimées par le traitement statistique de mesurages répétés par différents opérateurs, dans différents laboratoires, sur le même échantillon.

Bien que destinée initialement à l'étude de la fidélité d'une méthode mise en œuvre par différents laboratoires, la norme NF ISO 5725 [3] est tout à fait adaptée dans l'étude mise en place, c'est à dire l'estimation des incertitudes par des campagnes d'essais conduites dans des conditions de répétabilité (aucun facteur ne change) et de reproductibilité (un ou plusieurs facteurs sont modifiés, l'opérateur par exemple).

Incertitude-type de type A

Celle-ci découle de l'analyse statistique des résultats de mesurages. En synthèse, on calcule l'incertitude-type u , pour chaque facteur du plan d'expériences, qui est égale à l'estimation de l'écart-type de reproductibilité s_R .

$$\text{Incertitude type } u = \text{Ecarttype de reproductibilité } s_R$$

$$s_R = \sqrt{s_{\text{interlaboratoires}}^2 + s_{\text{répétabilité}}^2}$$

Les équations donnant $s_{\text{interlaboratoires}}$ et $s_{\text{répétabilité}}$ sont données ci-dessous. Le lecteur intéressé pourra se référer à la norme NF ISO 5725-2 [3]. Chaque opérateur est assimilé à un laboratoire.

$$s_r^2 = \frac{T_5}{T_3 - p}$$

$$s_L^2 = \left[\frac{T_2 T_3 - T_1^2}{T_3(p-1)} - s_r^2 \right] \left[\frac{T_3(p-1)}{T_3^2 - T_4} \right]$$

n_i est le nombre d'essais réalisés par l'opérateur i , y_i est la moyenne des résultats des essais réalisés par l'opérateur i et s_i est l'estimation de l'écart-type des essais réalisés par l'opérateur i .

avec

$$T_1 = \sum n_i \bar{y}_i$$

$$T_2 = \sum n_i (\bar{y}_i)^2$$

$$T_3 = \sum n_i$$

$$T_4 = \sum n_i^2$$

$$T_5 = \sum (n_i - 1) s_i^2$$

Au final, l'incertitude élargie U est calculée à partir de l'incertitude-type u et du facteur d'élargissement, pris égal à 2 pour un intervalle de confiance de 95%.

$$\text{Incertitude élargie } U = k \times s_R$$

avec $k=2$

Imaginons la mise en œuvre d'une certaine méthode de mesure, donnant un résultant X . La signification de l'intervalle de confiance de 95 % est la suivante : la valeur vraie, qu'on a tenté d'approcher par le mesurage, aura 95% de chance de se trouver dans l'intervalle compris en $[X-U]$ et $[X+U]$.

Incertitude-type de type B

Celle-ci est la partie de l'incertitude-type totale qui est attribuée au capteur lui-même. En synthèse, il s'agit de combiner la résolution du capteur (la plus petite variation qu'il est capable de discerner) et son niveau de bruit de fond (erreur systématique). Expérience faite, l'incertitude-type de type B est quantité négligeable par rapport à l'incertitude-type de type A.

3 Réalisation des essais et résultats obtenus

Les essais réalisés ont été les suivants :

- mesurages *corps complet* : véhicule commercial classique, véhicule commercial *quatre roues motrices*, essais réalisés sur un circuit déterminé, sur route en bon état.
- mesurages *mains-bras* : perceuses (2 différentes, utilisées en mode normal et en mode percussion), ponceuses, burineurs, rotatifs, essais réalisés en conditions réelles d'utilisation normale de l'outil (perçage, ponçage, ...).

Les opérateurs ont été recrutés parmi les salariés de Gamba Acoustique et ont exécuté les essais sous le contrôle du responsable de l'étude. Le matériel utilisé était le suivant : analyseur Vib008 de 01dB avec capteurs AP2042 (Mains-bras) et AP2083 (Corps complet).

3.1 Essais *corps complet*

3.1.1 Facteurs du plan d'expériences

Niveau	Véhicule (facteur1)	Opérateur (facteur2)	Gonflage des pneus (facteur3)	Réglage du siège (facteur4)	Vitesse (facteur5 aliasé avec 2, 3 et 4)
-1	Commerciale 2 roues motrices	Noémie	Sous-gonflé	Mal réglé	30km/h
1	Commerciale 4*4	Jérémy	Normal	Normal	40km/h

Tableau 1 : matrice d'expériences – tests corps complet

Avec cinq facteurs, le nombre de combinaisons est de $2^5 = 32$. Afin de réduire le nombre de combinaisons, le facteur 5 a été aliasé avec les facteurs 2, 3 et 4. Au final, seulement 16 de combinaisons ont été testées. La notion d'alias est décrite par l'ouvrage de Goupy et Creighton [4].

3.1.2 Influence des facteurs du plan d'expériences

Les résultats obtenus pour les termes du *modèle postulé du plan factoriel* ne sont pas donnés ici. Mais en synthèse, les coefficients des facteurs 1 (le type de véhicule) et 5 (la vitesse) sont les plus élevés de tous les coefficients. Ceci signifie que le résultat mesuré sera très sensible à ces facteurs, bien plus qu'à tous les autres.

3.1.3 Calculs de l'incertitude

Pour calculer les incertitudes de mesurage associées à ce plan d'expériences, chaque combinaison a été répétée trois fois. Calcul fait, on trouve les résultats suivants :

$$a_{hw} = 0.567 \text{ m/s}^2$$

$$\text{incertitude élargie } U = 0.184 \text{ m/s}^2 \text{ avec } k=2$$

ce qui, compte tenu des règles habituelles d'arrondi devrait s'écrire :

$$a_{hw} = (0.57 \pm 0.19) \text{ m/s}^2 \text{ avec } k=2$$

soit encore que le résultat « vrai » a 95% de chances d'être dans l'intervalle [0.38 – 0.76] m/s^2 . Il faudrait donc conclure que l'exposition aux vibrations *corps complet* des opérateurs

susceptibles de conduire ces véhicules est supérieure au seuil déclenchant l'action (0.5 m/s^2) mais inférieure à la valeur limite d'exposition (1.15 m/s^2), si tant est que cette exposition dure 8 heures.

3.2 Essais mains-bras

3.2.1 Types d'adaptateurs utilisés

Deux types d'adaptateurs ont été utilisés : un adaptateur en T sur lequel est monté l'accéléromètre et qui est enserré par les doigts sur l'outil et un adaptateur fixé *via* un collier sur l'outil. Il est évident que l'adaptateur en T introduit une plus grande variabilité dans les résultats que celui qui serait fixé à la poignée *via* un collier, dans la mesure où la force de préhension et la position du capteur sur l'équipement peuvent être différents à chaque essai. Mais nous verrons plus loin, en examinant les résultats obtenus dans des conditions expérimentales « réelles », que malgré l'utilisation du capteur fixé *via* un collier, les variations demeurent importantes.

3.2.2 Essais sur perceuses

Facteurs du plan d'expériences

Niveau	Perceuse (facteur 1)	Opérateur (facteur 2)	Adaptateur (facteur 3)
-1	1	Noémie	En T
1	2	Jérémy	Fixé à la poignée <i>via</i> un collier

Tableau 2 : matrice d'expériences – tests mains-bras sur perceuses

Avec trois facteurs, le nombre de combinaisons est de $2^3 = 8$.

Influence des facteurs du plan d'expériences

Les résultats obtenus pour les termes du *modèle postulé du plan factoriel* ne sont pas donnés ici. Mais en synthèse, pour le mode normal, c'est l'adaptateur qui a le plus d'influence (le terme a_3 est le plus fort). Pour le mode percussion, l'opérateur est dominant (force appliquée différente), mais les facteurs *outil* et *adaptateur* ont une influence non-négligeable.

3.2.3 Autres essais mains-bras

Nous avons réalisé des essais du même ordre avec d'autres outillages, burineurs, ponceuses, rotatifs. Les deux burineurs étaient de même marque et même modèle, l'un plus ancien que l'autre. Les deux ponceuses testées étaient de même marque et même modèle, mais l'une était neuve et l'autre avait une dizaine d'années et en assez mauvais état. Les deux rotatifs testés étaient de fonctions comparables, mais de marques différentes.

3.3 Synthèse des résultats

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus pour chaque outillage. Les colonnes contiennent les grandeurs suivantes :

- u_A , incertitude-type de type A, en m/s^2 ;
- u_B , incertitude-type de type B, en m/s^2 ;

- u_C , incertitude-type composée (somme quadratique de l'incertitude-type de type A et de l'incertitude-type de type B), en m/s^2 ;
- A, valeur moyenne des essais de vibrations, en m/s^2 ;
- $U (k=2)$, incertitude élargie avec un facteur d'élargissement de 2 correspondant à un intervalle de confiance de 95% ;
- %, rapport entre l'incertitude élargie U et la valeur moyenne A.

Si les résultats concernant les ponceuses et les rotatifs sont discutables car pour des équipements peut-être trop différents (états différents pour les ponceuses et marques différentes pour les rotatifs), il n'en reste pas moins que les erreurs découlant de ces mesurages, telles que déduites de l'application de la norme ISO 5725 [3] pour les autres équipements sont très importantes, jusqu'à être de l'ordre de grandeur de la valeur moyenne.

	$u_A (m/s^2)$	$u_B (m/s^2)$	$u_C (m/s^2)$	A_{hvi} ou A_{hw} (m/s^2)	$U (k=2)$ (m/s^2)	% erreur
Véhicules	0.092	0.00405	0.092	0.57	0.19	33 %
Perceuses (mode normal)	10.9	0.012	10.9	21.73	21.81	100 %
Perceuses (mode percussion)	11.5	0.012	11.5	20.18	23	114 %
Ponceuses	7.69	0.012	7.69	9.06	15.38	170 %
Burineurs	1.33	0.012	1.33	11.24	2.66	24 %
Rotatifs	13.46	0.012	13.46	9.57	27	141 %

Tableau 3 : synthèse des résultats obtenus

4 Intégration du facteur *temps* dans le calcul d'incertitude

La journée-type du travailleur est composée d'une succession de tâches présentant un certain niveau de vibrations et une certaine durée. Le terme $A(8)$ à calculer doit donc contenir lui aussi les termes d'incertitude correspondant non seulement au niveau vibratoire mais aussi à la durée de chaque tâche. La loi de propagation des incertitudes permet de réaliser ce calcul.

5 Discussion

Le travail présenté ici a été initié sans *a priori*, dans le simple but d'acquérir de l'expérience quant à la méthodologie et aux ordres de grandeur de variabilité des valeurs mesurées. Nous avons voulu défricher un terrain somme toute récent pour nous comme pour la profession (bureaux d'études, bureaux de contrôle et services internes des entreprises). Il s'agissait donc de réaliser des essais dans des conditions relativement bien maîtrisées pour que leur exploitation ait un sens, tout en acceptant les aléas et différences qui existent dans la réalité de la pratique du travail. Par exemple, les outils utilisés par différents opérateurs sur un même poste de travail ne sont pas forcément dans le même état de fonctionnement ; les fonctions peuvent être comparables mais les modèles dissemblables ; enfin, et c'est peut-être ce qui est le plus déterminant, notamment en ce qui concerne les vibrations



mains-bras, les modes opératoires peuvent être sensiblement différents (variabilité de la force de préhension, de la pression appliquée, de la tenue de l'outil, ...). Les incertitudes calculées sont de ce fait certainement plus importantes que celles qu'on obtiendrait lors d'essais de caractérisation de ces mêmes outils, en laboratoire, pris dans un lot homogène et dans des conditions d'application très encadrées. Ce travail constitue pour nous une première approche et n'a pas la prétention d'être quoi que ce soit d'autre que le compte-rendu d'essais réalisés dans les conditions particulières que nous avons définies. Il est d'ailleurs le prélude à d'autres essais que nous réaliserons dans les mois qui viennent.

Les résultats que nous avons obtenus, tout du moins pour les mesurages *mains-bras*, peuvent paraître inquiétants. Ils le sont effectivement dans le sens où ils compliquent la réponse apportée à la question posée par l'employeur, qui voudrait bien avoir un résultat plus précis qu'à 100% près. Ceci étant, la précision de la mesure des vibrations associée à une tâche donnée n'est pas la seule cause d'incertitude sur le résultat. La durée de la tâche intervient directement dans le calcul de la dose A(8) et, en dehors des postes de travail sur chaîne pour lesquels les temps sont connus à la seconde près, l'incertitude sur le temps peut être non négligeable et doit être intégrée au calcul final. Enfin, on peut noter que les incertitudes constatées dans le domaine du mesurage du bruit au poste de travail (norme NF EN ISO 9612 [6]) sont communément de l'ordre de 3 à 5 dB, ce qui représente respectivement un rapport de 2 à 3 dans les grandeurs mesurées. Le décibel comprime les variations, ce qui peut donner l'apparence d'une moindre variabilité.

Ce travail pose en particulier la question de la représentativité des mesurages. Les rédacteurs des normes l'avaient bien anticipé : la variabilité peut être grande entre deux campagnes d'essais et nous ajoutons « y compris pour un seul et même opérateur ». Il est effectivement indispensable de répéter les mesurages en faisant varier les opérateurs et les équipements afin d'appréhender les écarts. Mais d'autres facteurs sont déterminants : le mode opératoire qui intègre l'opérateur et sa méthode (force appliquée par exemple), le mode de fixation du capteur (tenu à la main ou fixé à la poignée), l'emplacement du capteur sur l'équipement, ... La répétition des essais est primordiale, mais la dispersion en découlant n'est peut-être que partielle. Dans le domaine du bruit au poste de travail, on peut raisonner par Groupes d'Exposition Homogène (NF EN ISO 9612 [6]), en étudiant un échantillon de population réputé représenter raisonnablement la population entière. Cette approche par échantillonnage présente en particulier l'avantage d'un coût limité, par rapport à un mesurage systématique, d'autant plus quand on a affaire à des effectifs importants dans l'entreprise. La transposition d'une telle approche au domaine de la mesure des vibrations au poste de travail nous paraît pour l'instant délicate et, à défaut, fait pencher la balance vers un mesurage systématique accompagné d'une analyse statistique. C'est par la confrontation des pratiques des mesurages et de leur analyse entre les praticiens du domaine que devrait émerger un *modus operandi* commun, qui accepte l'existence de la variabilité mais qui permette aussi d'afficher des résultats compréhensibles et exploitables par leurs commanditaires, tout en garantissant l'objectif initial qui demeure la protection des salariés.

Références

[1] NF EN 14253, 2008. Vibrations mécaniques - Mesurage et calcul de l'effet sur la santé de l'exposition professionnelle aux vibrations transmises par l'ensemble du corps - Guide



pratique. *AFNOR*.

[2] NF EN ISO 5349-2, 2001. Vibrations mécaniques - Mesurage et évaluation de l'exposition des individus aux vibrations transmises par la main - Partie 2 : guide pratique pour le mesurage sur le lieu de travail. *AFNOR*.

[3] NF ISO 5725-2, 1994. Application de la statistique - Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure - Partie 2 : méthode de base pour la détermination de la répétabilité et de la reproductibilité d'une méthode de mesure normalisée. *AFNOR*.

[4] GOUPY J., CREIGHTON L., 2009. Introduction aux plans d'expériences. Paris, France : Dunod, 372 p.

[5] Guide to the expression of Uncertainty in Measurement (GUM), 1995. *International Organization for Standardization*.

[6] NF EN ISO 9612, 2009. Acoustique - Détermination de l'exposition au bruit en milieu de travail - Méthode d'expertise. *AFNOR*.