

## Congrès

# EFFETS SUR LA SANTÉ DES VIBRATIONS TRANSMISES À L'ENSEMBLE DU CORPS

Academic Medical Center, Amsterdam, Pays-bas, 5 au 7 juin 2013

**Compte-rendu de la conférence scientifique internationale « Effets sur la santé des vibrations transmises à l'ensemble du corps »**

**Cette conférence a abordé les thèmes des maladies professionnelles, des mesures d'exposition et de la modélisation des effets des vibrations sur l'homme. Plusieurs études épidémiologiques, expériences et exemples de mesures concrètes de prévention ont fait l'objet d'échanges scientifiques susceptibles d'aider les chargés de prévention dans leur mission de réduction des effets des vibrations sur la santé.**

**HEALTH EFFECTS OF WHOLE-BODY VIBRATION – This conference addressed the topics of occupational diseases, measurements of exposure, and modelling of the effects of vibration on humans. Various epidemiological studies, experiments and examples of practical prevention measures were the subjects of scientific discussions that should help OSH specialists to reduce the effects of vibration on health.**

MAËL AMARI  
INRS,  
département  
Ingénierie des  
équipements  
de travail

La 5<sup>e</sup> conférence internationale sur les effets des vibrations transmises à l'ensemble du corps sur la santé s'est tenue en juin 2013 à Amsterdam (Pays-bas). Elle a rassemblé des professionnels de la prévention, des ingénieurs, des chercheurs et des médecins d'Amérique du nord, d'Europe et d'Asie. Les échanges scientifiques ont porté sur près d'une cinquantaine de présentations d'études, d'actions, de transferts, d'analyses et de réflexions susceptibles d'aider les chargés de prévention en entreprise dans leur mission de réduction des effets des vibrations sur la santé. Les thèmes abordés ont été les mesures d'exposition ainsi que les effets des vibrations sur l'homme et leur modélisation. Des exemples de mesures concrètes de prévention ont également été présentés.

### Effets des vibrations sur la santé

Plusieurs études épidémiologiques visant à quantifier la relation de dose – effet entre l'exposition aux vibrations et certaines pathologies du dos, des épaules et du cou ont été présentées.

Skandfer M. *et al.* ont étudié la prévalence de troubles lombalgiques chez plus de 3500 mineurs russes [1]. Ils ont cherché à mettre en évidence l'association entre l'exposition aux vibrations en tant

que conducteur d'engins (dumpers, trains, bus, etc.), l'exposition au froid, le port de charge, le port de vêtements mouillés et le mal de dos. Les données ont été collectées par questionnaire, par mesures d'exposition ainsi que par examen médical. 51% des travailleurs ont déclaré souffrir ou avoir souffert de troubles lombalgiques au cours des douze mois précédant l'étude. Des analyses de régression logistique ont montré que l'association avec l'exposition aux vibrations est significative mais que l'influence des autres contraintes peut être plus importante (vêtements mouillés, froid ou port de charge).

De la même manière, Bovenzi M. *et al.* de l'université de Trieste en Italie ont étudié les déclarations de mal de dos de 537 conducteurs d'engins de chantier, de chariots élévateurs ainsi que de véhicules utilitaires sur une période de deux ans [2]. L'exposition aux vibrations a été mesurée selon les termes de la norme ISO-2631-1 [3]. Un calcul de dose a été effectué selon une nouvelle méthode proposée dans la révision de la norme ISO 2631-5 pour l'évaluation de l'exposition des individus à des vibrations contenant des chocs répétés [4]. Cette méthode permet de calculer les forces internes s'appliquant sur les vertèbres lombaires à partir de valeurs d'accélération mesurées au niveau de l'assise ainsi que d'informations anthropométriques



© Patrick Delapierre pour l'INRS

La conduite d'engins de chantier peut exposer les salariés à des niveaux élevés de vibrations transmises à l'ensemble du corps.

et posturales sur le conducteur. La contrainte lombaire « interne » est calculée par un modèle en éléments finis de la colonne vertébrale. Les effets indésirables sur la santé sont estimés par la dose quotidienne de compression. Un facteur de risque pour une exposition à long terme est ensuite calculé à partir des forces statiques et dynamiques internes agissant sur les disques lombaires et d'autres paramètres individuels tels que l'âge du sujet et la durée d'exposition. La corrélation entre les résultats de cette méthode d'évaluation et les déclarations de mal de dos s'est révélée plus importante que lorsque les indicateurs réglementaires sont utilisés pour l'évaluation de l'exposition aux vibrations.

Burström L. *et al.* ont réalisé une analyse systématique de toutes les études épidémiologiques publiées durant les quinze dernières années concernant les lombalgies professionnelles et les sciatiques [5]. Ces études montrent toutes que l'exposition aux vibrations de l'ensemble du corps est fortement corrélée à des douleurs lombaires ou des sciatiques. Le risque est deux fois supérieur à celui d'une population non exposée. Malgré cela, les données sont toujours insuffisantes pour calculer une relation dose-effet ou un seuil d'exposition maximum satisfaisant. De la même manière, le port de charge, les postures défavorables et la position assise prolongée sont systématiquement corrélées au mal de dos mais leur prise en compte dans les études est trop limitée.

Pour finir, Johanning E. de l'institut américain de prévention des maladies professionnelles (OELS) a présenté un état de l'art des connaissances médicales sur les pathologies associées aux vibrations du corps [6]. Une étude comparative de rapports

cliniques, de protocoles de diagnostic différentiels et de recommandations médicales montre que les vibrations du corps sont fréquemment associées à des douleurs aiguës ou chroniques du bas du dos, à des neuropathies périphériques progressives et dégénératives de la colonne vertébrale ainsi qu'à des troubles des disques intervertébraux. L'exposition aux vibrations peut aussi entraîner des problèmes cervicaux, des troubles digestifs, circulatoires ainsi que du système reproductif. La prévalence des hernies discales chez les personnes ayant des douleurs au bas du dos est estimée entre 1 et 3%. Environ 4% des patients atteints de lombalgie souffrent d'une fracture par compression.

En France, les pathologies reconnues comme maladies professionnelles liées à l'exposition aux vibrations sont la sciatique ou la radiculalgie crurale par hernie discale. La réglementation actuelle ne reconnaît ainsi qu'une très faible minorité des affections pouvant être associées aux vibrations. Ce décalage se retrouve également dans la procédure d'évaluation du risque pour les vibrations contenant des chocs répétés proposée par la prochaine révision de la norme ISO 2631-5 [4]. Cette nouvelle méthode d'évaluation de l'exposition des individus n'est fondée que sur le risque de fracture du plateau vertébral par fatigue osseuse.

## Exposition aux vibrations

### Mesures d'exposition

Des études de mesure d'exposition aux vibrations prenant simultanément en compte d'autres types de contraintes mécaniques ont été présentées.

Raffler N. *et al.* de l'organisme de prévention des risques professionnels allemand (IFA) ont étudié



les effets sur la santé des postures de travail adoptées par des opérateurs de deux types de grues [7]. Les conditions de travail de 36 opérateurs ont été décrites à travers une analyse de leurs tâches de travail, des mesures de postures et de vibrations, des questionnaires de santé ainsi que des examens médicaux. Les résultats montrent qu'en dehors des différences individuelles, l'ergonomie du poste de conduite a une influence prépondérante sur les postures adoptées par les opérateurs pour effectuer leurs tâches. Par exemple, l'angle de flexion sagittale du dos des opérateurs peut être considéré comme défavorable pendant respectivement 80% et 94% de leur temps de travail selon le type de grue. Ces mêmes pourcentages de temps varient de 43% à 97% d'un type de grue à l'autre lorsque l'on considère l'inclinaison sagittale de la tête. De tels écarts n'ont pas été observés pour les vibrations et ne sont pas pris en compte par la procédure actuelle d'évaluation du risque vibratoire.

L'INRS a réalisé une expérience visant à décrire les

complexes (analytiques ou éléments finis). Plusieurs études permettant d'enrichir et d'affiner des modèles biomécaniques existants ont été présentées.

Liu C. *et al.* de l'université de Southampton ont développé un modèle par éléments finis du corps humain pour calculer la masse apparente<sup>1</sup> du corps humain dans les directions verticales et horizontales [9]. Ce modèle représente un sujet assis sur un siège rigide avec un dossier vertical. Il est constitué de parties rigides, qui représentent le squelette de manière simplifiée, et également d'éléments homogènes déformables pour les tissus mous de la partie supérieure du corps, les cuisses et les fesses. Les propriétés mécaniques de ces matériaux ont été choisies sur la base de résultats d'études précédentes. Ils ont été ajustés pour faire correspondre la masse apparente verticale calculée au niveau de l'assise aux résultats de mesures. Le modèle a alors été capable de prédire la masse apparente horizontale au niveau du dossier de manière satisfaisante et la distribution des pressions statiques et dynamiques à l'interface homme-siège.

Grâce à ce modèle de corps humain, Zhang X. *et al.* de l'université de Southampton ont également modélisé un système corps - siège [10]. Ce modèle par éléments finis tient compte de la géométrie du siège ainsi que des propriétés statiques et dynamiques des matériaux (raideurs, non-linéarités, etc.). Les deux étapes de calibration (caractérisations expérimentales des matériaux et mesures de transmissibilité<sup>2</sup> à l'aide d'un mannequin dynamique) ont permis de prédire la transmissibilité du siège de manière satisfaisante tout en tenant compte des zones de contact entre le corps et le siège.

### Solutions de prévention

Plusieurs exemples de mesures concrètes de prévention tenant compte de la sensibilité du corps aux vibrations ont été présentés.

Reynolds D. *et al.* de l'université du Nevada ont réalisé une campagne d'essai d'un dispositif destiné à réduire les chocs extrêmes pouvant être transmis à un opérateur par son siège [11]. Ce dispositif est constitué de deux panneaux en mousse déformables placés sur l'assise et sur le dossier. Des chambres à air sont placées à l'intérieur de chacun des panneaux. Elles sont reliées par des tuyaux permettant la circulation de l'air entre les deux compartiments. Sa capacité à atténuer les chocs de grande intensité a été évaluée par des tests de chute. L'accélération mesurée au niveau du pelvis a été réduite de 75% par rapport à un siège non suspendu. La contrainte mesurée au niveau lombaire a été réduite de 60%. De la même manière, des mesures réalisées dans plusieurs véhicules ont permis d'évaluer la capacité de ce dispositif à filtrer des vibrations de moins grande amplitude contenant des chocs répétés. Selon la tâche de travail, l'accélération a été réduite

## POUR EN SAVOIR +

- Résumés des présentations : [www.wbvconference.com](http://www.wbvconference.com)
- *Vibrations et mal de dos - Guide des bonnes pratiques en application du décret Vibrations, INRS, ED 6018, 2012.*

différences de position et de mouvement de conducteurs d'engins de chantier exposés à des vibrations (chargeuse, tombereau et pelle à chenille) [8]. Pour cela, douze opérateurs ont répété à plusieurs reprises une tâche de conduite propre à chaque engin. Des mesures de posture et de vibrations ont été réalisées simultanément. Des différences ont été observées à la fois dans les postures maintenues et les mouvements du corps des opérateurs. Selon le véhicule, elles concernent des segments du corps et des mouvements différents (inclinaison de la tête, flexion et torsion du cou et du dos, etc.). À niveau vibratoire équivalent, les stratégies individuelles de mouvement adoptées par les conducteurs pour réaliser une même tâche de travail sont susceptibles d'influencer la réponse du corps aux vibrations.

### Modélisation

La réponse d'un individu aux vibrations est liée au comportement dynamique du corps humain. Celui-ci peut être modélisé par des systèmes mécaniques oscillants constitués de masses et de ressorts. Les masses représentent les segments du corps considérées indéformables (tête, tronc, masse abdominale, etc.). Elles sont reliées par des ressorts (muscles, tendons, etc.) et peuvent être mises en mouvement selon les directions horizontale, transversale ou verticale. Ces modèles peuvent être plus ou moins

de 30% à 50% pour un porte conteneur déchargeant des véhicules.

Johnson P. *et al.* de l'université de Washington ont étudié les performances anti-vibratiles de deux types de sièges de bus [12] : un siège non suspendu et un siège à suspension pneumatique. Chacun de ces sièges a successivement été équipé d'une garniture classique en mousse et du dispositif à chambre à air étudié par l'université du Nevada. Seize conducteurs ont réalisé trois parcours de référence: circulation urbaine, sur autoroute et passage de ralentisseurs. Selon le type de route, des différences significatives ont été observées entre les deux types de siège et les deux types d'assise. En circulation urbaine et sur autoroute, l'exposition aux vibrations est inférieure de 7% avec le siège non suspendu. De plus, indépendamment du type de siège, le coussin pneumatique réduit l'exposition aux vibrations de 25% par rapport à la garniture classique du siège. Sur les ralentisseurs, les expositions étaient de 30% inférieures avec le siège à suspension pneumatique.

Ces études montrent que, selon la situation de conduite, des moyens techniques simples peuvent améliorer la prévention du risque vibratoire. Ainsi, si un véhicule roule principalement sur des routes peu dégradées à vitesse modérée ou élevée, un siège à structure rigide équipé d'un coussin à air peut réduire d'un tiers l'exposition aux vibrations par rapport à un siège à suspension pneumatique. Dans le

cas de vibrations plus élevées, il convient d'équiper le véhicule d'un siège à suspension pneumatique.

## Conclusion

Cette conférence fut l'occasion de dresser un bilan des connaissances actuelles permettant de prévoir et de maîtriser les risques liés à l'exposition aux vibrations. Aujourd'hui, cette exposition peut être mesurée, évaluée (exprimée par une ou plusieurs grandeurs reflétant la gravité, par exemple), puis comparée à des critères de sévérité supposée.

Malgré cela, cette approche atteint peu à peu ses limites d'un point de vue de l'apport de connaissances scientifiques. Ces dernières résident dans les incertitudes de la mesure d'exposition, dans les hypothèses simplificatrices sur les mécanismes à l'origine des pathologies, ainsi que dans les approximations sur la relation entre la dose vibratoire et les effets sur la santé.

Pour ces raisons, les travaux de recherche à venir doivent avoir pour objectif de mettre au point des indicateurs d'évaluation plus globaux visant à réduire l'exposition aux vibrations, tout en prenant en compte l'ensemble des contraintes physiques de l'environnement du travailleur (vibrations, tâche de travail, posture, susceptibilités individuelles, etc.). ●

1. *Masse apparente: variation fréquentielle de la force divisée par celle de l'accélération mesurée au niveau du siège.*

2. *Transmissibilité: rapport des variations fréquentielles de deux accélérations mesurées en des points distincts.*

## BIBLIOGRAPHIE

[1] **LOW BACK PAIN IN MINE WORKERS.** Skandfer M<sup>1</sup>, Talykova L<sup>2</sup>, Brenn T<sup>3</sup>, Nilsson T<sup>4</sup>, Vaktskjold A<sup>5</sup>. <sup>1</sup> Department of Occupational and Environmental Medicine, University Hospital North Norway, <sup>2</sup> Kola Research Laboratory of Occupational Health, Kirovsk, Russia, <sup>3</sup> Institute of Community Medicine, University of Tromsø, Norway, <sup>4</sup> Occupational and Environmental Medicine, Public Health & Clinical medicine, Umeå Universitet, Umeå, Sweden, <sup>5</sup> Department of Occupational and Environmental Medicine, University Hospital North Norway, Norway.

[2] **A COHORT STUDY OF SCIATIC PAIN AND MEASURES OF INTERNAL SPINAL LOAD IN PROFESSIONAL DRIVERS.** Bovenzi M<sup>1</sup>, Schust M<sup>2</sup>, Menzel G<sup>2</sup>, Hofmann J<sup>3</sup>, Hinz B<sup>2</sup>. <sup>1</sup> Clinica Unit of Occupational Medicine, University of Trieste, Italy, <sup>2</sup> Federal Institute for Occupational Safety and Health,

Berlin, Germany, <sup>3</sup> Wölfel Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG, Hôchberg, Germany.

[3] **NORME INTERNATIONALE. VIBRATIONS ET CHOCS MÉCANIQUES. EVALUATION DE L'EXPOSITION DES INDIVIDUS À DES VIBRATIONS GLOBALES DU CORPS - PARTIE 1 : SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES.** 2004. ISO-2631-1:1997

[4] **NORME INTERNATIONALE. VIBRATIONS ET CHOCS MÉCANIQUES. EVALUATION DE L'EXPOSITION DES INDIVIDUS À DES VIBRATIONS GLOBALES DU CORPS - PARTIE 5 : Méthode d'évaluation des vibrations contenant des chocs répétés.** 2004. ISO-2631-5:2004

[5] **THE EFFECTS OF WHOLE BODY VIBRATION ON LOW BACK PAIN AND SCIATICA: ASPECTS ON A SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS.** Burström L, Nilsson T, Wahlström J. Umeå University, Sweden.

[6] **WHOLE-BODY VIBRATION RELATED DISORDERS IN OCCUPATIONAL CLINICAL SETTING - AN INTERNATIONAL COMPARISON.** Johanning E. Occupational and Environmental Life Science, USA.

[7] **OCCUPATIONAL POSTURE ANALYSIS AMONG WHOLE-BODY VIBRATION EXPOSED CRANE OPERATORS.** Raffler N<sup>1,2</sup>, Göres B<sup>1</sup>, Sayn D<sup>1</sup>, Rissler J<sup>1</sup>. <sup>1</sup> IFA, Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance, Germany, <sup>2</sup> RWTH Aachen University, Institute of Occupational and Social Medicine, Medical Faculty, Germany.

[8] **INTER AND INTRA-INDIVIDUAL POSTURAL VARIABILITY OF SEATED DRIVERS EXPOSED TO WBV.** Amari M, Donati P. Institut National de Recherche et de Sécurité, France.

[9] **A FINITE ELEMENT MODEL OF THE SEATED HUMAN BODY**

**ON A RIGID SEAT WITH VERTICAL BACKREST EXPOSED TO VERTICAL OR FORE-AND-AFT VIBRATION.** Liu C, Qiu Y, Griffin M. University of Southampton, UK.

[10] **A FINITE ELEMENT MODEL OF A SEAT WITH OCCUPANT FOR PREDICTING SEAT TRANSMISSIBILITY IN THE VERTICAL DIRECTION.** Zhang X, Qiu Y, Griffin M. University of Southampton, UK.

[11] **SEAT AIR BLADDER SYSTEM USED TO REDUCE HUMAN SHOCK AND VIBRATION EXPOSURE.** Reynolds D, Hachem M. University of Nevada, Las Vegas, USA.

[12] **EVALUATION OF SEATING ALTERNATIVES TO REDUCE WHOLE BODY VIBRATION IN BUS VEHICLE DRIVERS.** Johnson P, Ibbotson-Brown J, Thamsuwan O, University of Washington, USA.