

Université catholique de Louvain
Ecole de santé publique
Centre de médecine et d'hygiène du travail et de l'environnement
**TROUBLES NEUROLOGIQUES TEMPORAIRES ET
PERMANENTS ASSOCIES A L'EXPOSITION AUX
VIBRATIONS MANUBRACHIALES**
Fernando Gonçalves Amaral
*Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de
Docteur en sciences de la santé publique - orientation ergonomie*
Promoteur: Professeur Jacques Malchaire (U.C.L.)
- Janvier 1999 -

TABLE DES MATIERES

Summary	Ix
Résumé	Xi
Abréviations, symboles et unités	Xiii
Introduction	1
<i>Première partie - revue de la littérature</i>	5
Chapitre I - Les vibrations	7
Introduction	7
I. Notions de base sur les vibrations	8
II. Ordres de grandeur des machines vibrantes	11
III. Le mesurage des vibrations manubrachiales	14
Chapitre II Caractéristiques biomécaniques du système manubrachial	
I. La réponse dynamique du système doigt-main-bras	17
II. La transmissibilité des vibrations dans le système manubrachial	18
Chapitre III - Les vibrations manubrachiales dans le milieu professionnel et les répercussions sur la santé	19
I. Lésions ostéo-articulaires	21
II. Lésions vasculaires : Le syndrome de Raynaud dû aux vibrations (Vibration Induced White Finger VWF)	24
III. Lésions neurologiques	24
IV. Affections pouvant être associées aux vibrations : syndrome du canal carpien (SCC)	30
V. Evaluation du risque de VWF selon la norme ISO 5349	31
Chapitre IV - Bases neurophysiologiques	32
I. La sensation, la perception et la sensibilité	33
II. Les récepteurs somato-sensoriels	
A. Les mécanorécepteurs	37
B. Les thermorécepteurs	42
C. Les nocicepteurs	45
III. Les fibres somato-sensorielles	46
IV. Les voies somato-sensorielles	46

Chapitre V - Les tests sensitifs et fonctionnels	53
I. Les tests sensitifs	53
II. Les tests fonctionnels	60
Chapitre VI - L'exposition aux vibrations manubrariales et les effets sensitifs et fonctionnels	63
I. Effets neurophysiologiques résultant d'une exposition à long terme aux vibrations	63
II. Effets neurophysiologiques suite à une exposition de courte durée aux vibrations	64
III Conclusions quant à l'influence des vibrations directement sur les conditions de travail	73
<i>Deuxième partie - perturbations sensitives et fonctionnelles associées à une exposition aux vibrations</i>	75
Chapitre VII - Questions de recherche	77
Chapitre VIII - Méthodologie générale	81
I. Sélection des sujets	81
II. Génération des vibrations durant les expériences	83
III. Les tests sensitifs	86
A. Le seuil de perception aux vibrations (SPV)	86
B. Le seuil de perception à la pression (SPP)	89
C. Les seuils de température au chaud et au froid	91
D. Le temps de latence sensitive	93
IV. Les tests fonctionnels	95
A. La dextérité manuelle	95
B. La force maximale volontaire (FMV)	97
V. Le questionnaire sur les sensations	98
A. Matériel	98
B. Procédure	98
VI. Le contrôle de la température cutanée (t_{sk})	99
A. Matériel	99
B. Procédure	100
VII. Protocole général des expériences	100
Chapitre IX - Analyse des altérations sensitives et fonctionnelles à court terme suite à une exposition aux vibrations manubrariales	103
I. Objectif	103
II. Méthodologie particulière	103
III. Résultats	106
A. Le seuil de perception aux vibrations (SPV)	107
B. Le seuil de perception à la pression (SPP)	110
C. La mesure du temps de latence sensitif (TLS)	112
D. Le seuil de perception de la température au chaud	114
E. Le seuil de perception de la température au froid	116
F. La zone neutre	117
G. Le test du Purdue Pegboard (PPG)	118
H. La force maximale volontaire (FMV)	119
I. Picotements	121
J. Engourdissement	123
IV. Conclusions	124

Chapitre X - La mise au point du modèle mathématique d'évolution du SPV en fonction du temps lors d'une exposition de courte durée aux vibrations	127
I. Objectif	127
II. Méthodologie particulière	127
A. Développement du modèle mathématique du premier ordre	127
B. Mise au point du modèle	129
III. Résultats	130
A. Une ou deux constantes de temps	130
B. Existence d'un résidu	133
C. Constante de temps et résidu invariables par sujet	135
IV. Conclusions	137
Chapitre XI - Quantification des altérations temporaires sensitives et fonctionnelles suite à une exposition aux vibrations de courte durée	139
I. Objectif	139
II. Méthodologie particulière	139
III. Résultats	140
A. La variation du seuil de perception aux vibrations	140
B. Les sensations de picotements	142
IV. Conclusions	144
Chapitre XII - Comparaison des altérations neurologiques temporaires suite à l'exposition aux vibrations selon les axes X, Y et Z étudiés séparément	145
I. Objectif	145
II. Méthodologie particulière	145
III. Résultats	148
A. Le seuil de perception aux vibrations (SPV)	149
B. Le seuil de perception à la pression (SPP)	150
C. La force maximale volontaire (FMV)	151
D. Le test du purdue pegboard (PPG)	151
E. Picotements et engourdissements	151
IV. Conclusions	152
Chapitre XIII - Comparaison des effets engendrés par l'exposition aux vibrations monoaxiales avec les effets provoqués par l'exposition triaxiale (vérification de l'additivité des effets)	153
I. Objectif	153
II. Méthodologie particulière	153
III. Résultats	156
IV. Conclusions	156
Chapitre XIV - Variations interindividuelles chez les non exposés aux vibrations manubrariales	159
I. Objectif	159
II. Méthodologie particulière	159
III. Résultats	160
A. Caractéristiques générales	160
B. Comparaison des résultats des tests de perception aux vibrations entre les deux groupes	161
C. Variation de la perception des vibrations en fonction des paramètres individuels	162
D. Les tests sensitifs et fonctionnels chez les travailleurs non exposés	163
IV. Conclusions	164

Chapitre XV - Effets a court terme chez les travailleurs utilisateurs de machines vibrantes	165
I. Objectif	165
II. Méthodologie particulière	165
III. Résultats	168
A. Description de l'échantillon de la population	168
B. Le test du SPV chez les travailleurs exposés	170
C. Les autres tests sensitifs et fonctionnels	170
D. Différences entre les travailleurs exposés atteints et non atteints	172
E. Relation avec les caractéristiques individuelles	173
IV. Conclusions	173
Chapitre XVI - Comparaison entre travailleurs exposés et non exposés aux vibrations	175
I. Objectif	175
II. Méthodologie particulière	175
III. Résultats	175
IV. Conclusions	177
Chapitre XVII - Discussion	179
I. Le seuil de perception aux vibrations (SPV) et la modélisation	180
II. La perception à la pression	186
III. La perception à la température	187
IV. La force maximale volontaire (FMV)	189
V. Le test du Purdue Pegboard	190
VI. Les sensations de picotements et engourdissements	192
VII. Les différences entre axes d'exposition	193
VIII. Les différences entre les altérations sensitives engendrées par les expositions monoaxiales et triaxiales	194
IX. Le TTS et la pondération fréquentielle de la norme ISO 5349	196
Chapitre XVIII - Conclusions et perspectives futures	199
I. Conclusions	199
II. Perspectives de continuation de la recherche	204
Bibliographie	207

SUMMARY

Vibrating tools are used in practically all industrial sectors. They can lead to three kinds of upper limb disorders: bone and joint (wrists and elbows), vascular (Vibrating White Finger phenomenon) and peripheral neurological disorders in the hands. This research concerns only the peripheral neurological disorders. In the beginning of the exposure, vibration can cause discomfort, tingling and numbness in the hands. After several years, it can induce a reduction of the sensitivity and the manual performances, and a loss of dexterity in the more severe cases. This sensitivity reduction shows itself in an elevation of the vibration, pressure and temperature perception thresholds. These themselves reflect functional disturbances of the peripheral nerves and the sensory nerve endings. The quantification of the neurological disorders remains however a problem and, at the present time, occupational physicians and epidemiologists are using a scoring system based on subjective symptoms (the Stockholm scale).

A hand-arm vibration exposure of a few minutes can already cause a temporary reduction of the sensitivity to vibration even in healthy subjects. The magnitude of this vibration perception threshold (VPT) as a function of the vibration conditions (acceleration magnitude and frequency) and its evolution in time remains to be quantified.

The purpose of the present research was to study the sensory and functional variations resulting from a short-term exposure (about 30 minutes) to hand-arm vibration, in subjects non exposed and

in workers professionally exposed to vibration. The study also aims to determine whether the frequency weighting described in ISO 5349 is valid to predict the magnitude of these temporary disorders; whether these vary as a function of the axis in which the hand is exposed to vibration and whether triaxial and monoaxial exposures induce the same temporary alterations.

Subjects and methods: 33 male subjects with no history of peripheral or central neuropathy and who had never been exposed to vibration and 47 male workers professionally exposed to vibration participated in the study. Exposure consisted in grasping for 32 minutes, a handle vibrating at fixed acceleration amplitudes and frequencies. Additionally, a reference experiment was conducted in which the handle did not vibrate. Four sensory tests [Vibration Perception Threshold (VPT) at 31.5 and 125 Hz test frequencies, Pressure Perception Threshold (PPT), Temperature Perception Threshold (TPT) and Distal Sensory Latency time (DSL)], two functional tests [Purdue Pegboard (PPg) and Maximal Voluntary Force (MVF)] and a questionnaire concerning tingling and numbness sensations of the hand were performed before, during and after exposure. For the triaxial vibration experiments, a sander was used instead of the vibrating handle.

Results and conclusions: After 30 minutes of exposure to vibration, the VPT and tingling symptoms are significantly altered. The other parameters do not demonstrate any significant variation and the DSL test is not relevant to authenticate the sensory alterations.

The variation of the VPT (during and after the vibration exposure) can be described by a first-order model with a time constant of 3 minutes and a residue in the short term equal to about 10% of the temporary elevation. The TTS increases with the logarithm of vibration acceleration amplitude and is greater when the frequency of the exposure vibration is 125 Hz than for 31.5 Hz and 500 Hz. This is in contradiction with the ISO 5349 frequency weighting. The TTS is also greater at the test frequency 125 Hz than at 31.5 Hz.

These alterations appear to be independent of the vibration exposure direction, in the three axes X, Y and Z.

Monoaxial and triaxial exposures appear to have the same effects at the test frequency of 125 Hz. On the contrary, at 31.5 Hz, the monoaxial exposure appears to induce a greater alteration than the triaxial exposure.

The observed alterations do not seem to be related to physiological, anthropometric or psychosocial characteristics.

As far as workers occupationally exposed to vibration are concerned, no difference in reaction was observed between subjects with and without permanent disorders. Moreover, the sensory and functional tests used in the present research seem inappropriate to substantiate the different neurosensorial stages of the Stockholm scale.

The VPT alterations are also of the same order of magnitude for subjects occupationally exposed and not exposed to vibration, the only difference being that, for the first group, the time constant is smaller and the VPT at rest is somewhat greater, particularly at the test frequency of 125 Hz.

RESUME

Les machines portatives vibrantes sont utilisées dans pratiquement tous les secteurs industriels. Leurs vibrations peuvent provoquer trois types de problèmes concernant le membre supérieur : ostéo-articulaires (poignets et coudes), vasculaires (phénomène du doigt blanc dû aux vibrations) et neurologiques périphériques dans les mains. Cette recherche concerne uniquement les troubles neurologiques périphériques. Au début de l'exposition la vibration peut causer de l'inconfort, des picotements et des engourdissements dans les mains. Par la suite, cela peut provoquer une réduction de la sensibilité et des performances manuelles et dans les cas plus sévères une perte de dextérité. Cette réduction se présente comme une élévation des seuils de sensibilité aux vibrations, à la pression et à la température. La quantification de ces troubles neurologiques reste encore un problème et à l'heure actuelle les médecins du travail et les épidémiologistes utilisent un système de classification subjectif basé sur des symptômes (l'échelle de Stockholm).

L'exposition aux vibrations manubrachiales de quelques minutes peut causer une réduction temporaire de la sensibilité aux vibrations même chez des sujets sains. L'amplitude du seuil de perception aux vibrations (SPV) en fonction des conditions d'exposition aux vibrations (amplitude d'accélération et fréquence) et son évolution dans le temps reste encore à quantifier.

L'objectif de cette recherche est d'étudier les variations sensibles et fonctionnelles résultant d'une exposition de courte durée (30 minutes) aux vibrations chez des sujets non exposés et chez les travailleurs exposés professionnellement aux vibrations. L'étude vise aussi à déterminer si la

pondération fréquentielle décrite par ISO 5349 est valable pour prédire l'ampleur de ces troubles temporaires, si ces variations sont fonction de l'axe selon lequel la main a été exposée aux vibrations et si les expositions monoaxiale et triaxiale engendrent les mêmes altérations temporaires.

Sujets et méthodes : 33 sujets masculins sans histoire de neuropathie périphérique ou centrale et n'ayant jamais été exposés aux vibrations et 47 travailleurs masculins exposés professionnellement aux vibrations ont participé de cette étude. L'exposition consistait à tenir pendant 32 minutes une poignée vibrant à des amplitudes d'accélération et à des fréquences déterminées. De plus, une expérience de référence a été réalisée dans laquelle la poignée ne vibrait pas. Quatre tests sensoriels (le test de la perception aux vibrations (SPV), le test du seuil de perception à la pression (SPP) le seuil de perception à la température (SPT) et le temps de latence sensitive (TLS)), deux tests fonctionnels (le test du Purdue Pegboard (PPg) et la force maximale volontaire (FMV)) et un questionnaire concernant les sensations de picotement et d'engourdissement ont été réalisés avant, durant et après l'exposition aux vibrations. Lors de la réalisation des expériences triaxiales une ponceuse a été utilisée au lieu de la poignée vibrante.

Résultats et conclusions : Après 30 minutes d'exposition aux vibrations, le SPV et les sensations de picotements varient significativement. Les autres paramètres n'ont démontré aucune variation significative et le TLS n'a pas permis de mettre en évidence des altérations sensibles.

La variation du SPV (pendant et après l'exposition aux vibrations) peut être décrite par un modèle du premier ordre avec une constante de temps de 3 minutes et un résidu à court terme égal à environ 10% de l'élévation temporaire. Le TTS augmente avec le logarithme de l'amplitude d'accélération et est plus élevé pour la fréquence d'exposition de 125 Hz qu'à 31,5 et 500 Hz. Cela est en contradiction avec la pondération fréquentielle proposée par la norme ISO 5349. Le TTS est plus important à la fréquence de test de 125 Hz qu'à 31,5 Hz. Ces altérations sont indépendantes de la direction de l'exposition aux vibrations, selon les trois axes X, Y et Z.

Les expositions mono et triaxiales semblent provoquer les mêmes effets à la fréquence de 125 Hz. Par contre, à 31,5 Hz, l'exposition monoaxiale engendrait une altération plus importante que l'exposition triaxiale.

Les altérations observées ne sont pas liées aux caractéristiques physiologiques, anthropométriques ou psychosociales.

Chez les travailleurs exposés professionnellement aucune différence a été observée parmi les sujets atteints et non atteints de troubles permanents. En outre, les tests sensitifs et fonctionnels utilisés dans cette étude n'ont pas permis d'authentifier les différents stades de l'échelle de Stockholm

Les altérations du SPV sont du même ordre pour les sujets exposés professionnellement et non exposés aux vibrations, la seule différence étant que pour le premier groupe, la constante de temps est plus petite et le SPV au repos un peu plus élevé, en particulier à la fréquence de test de 125 Hz.