

Pathologies du membre supérieur liées et non liées à l'utilisation de machines vibrantes

A. PIETTE, N. COCK, J. MALCHAIRE

Article publié en 1999 *Médecine du Travail et Ergonomie*, XXXVI, 1, 11-24.

*Unité Hygiène et Physiologie du Travail, U.C.L.
Clos Chapelle-aux-Champs 30-38, B – 1200 BRUXELLES*

RESUME

Les pathologies musculosquelettiques et neurologiques des membres supérieurs sont en augmentation ces 30 dernières années.

Deux courants de recherche distincts semblent coexister: au sujet, le premier, des troubles musculosquelettiques (TMS) liés au travail répétitif et, le second, des pathologies développées par les travailleurs exposés aux vibrations manubrachiales (HAV). Ces recherches sont menées, la plupart du temps, en parallèle, par des auteurs différents utilisant leurs propres méthodologies.

Les études sur les TMS des membres supérieurs se sont fortement développées depuis 1980 et concernent principalement les atteintes musculaires, tendineuses (inflammations) et les compressions nerveuses (la plus fréquente étant le syndrome du canal carpien). Les études sur les HAV (Hand Arm Vibration Syndrome) sont plus anciennes et ont débuté dans les années septante. Les perturbations sont circulatoires, sensibles, motrices ou musculosquelettiques.

L'article fait le point sur l'état des connaissances actuelles à propos des troubles non liés et liés à l'utilisation de machines vibrantes en décrivant les principales pathologies, les principaux facteurs de risque associés et enfin la situation en Belgique.

MOTS CLES: TMS, Vibrations manubrachiales, Revue

SAMENVATTING

De laatste 30 jaar worden meer en meer musculoskeletale en neurologische pathologieën van de bovenste ledematen vastgesteld.

Twee verschillende stromingen schijnen in het onderzoek over dit onderwerp te bestaan: de eerste betreft de musculoskeletale aandoeningen (MSD) verbonden aan repetitief werk en de tweede de pathologieën ontwikkelt door werknemers blootgesteld aan hand-arm trillingen (HAV). Deze

onderzoeken worden meestal gelijktijdig uitgevoerd, door verschillende auteurs met hun eigen methodologie.

De studies over MSD van de bovenste ledematen zijn sterk geëvolueerd sedert 1980 en betreffen hoofdzakelijk de aandoeningen van spieren en pezen (ontstekingen) en het samendrukken van de zenuwen (het carpaal tunnel syndroom komt het meest voor). De studies betreffende HAV zijn ouder en begonnen reeds in de jaren zeventig. De stoornissen betreffen vooral de bloedsomloop, de gevoeligheid, de beweeglijkheid of zijn musculoskeletaal,

Dit artikel maakt de balans op over de huidige kennis in verband met stoornissen al dan niet verbonden aan het gebruik van trillende machines. Het beschrijft de voornaamste pathologieën, de voornaamste risicofactoren en de huidige situatie in België.

SLEUTELWOORDEN: MSD, hand-arm trillingen, literatuur

SUMMARY:

The prevalence of musculoskeletal and neurological disorders has been increasing over the last 30 years.

Two different research courses seem to have develop about, for the first, the musculoskeletal disorders (MSD) due to repetitive work, and, for the second, the disorders developed by the workers exposed to hand-arm vibration (HAV). These researches are conducted, most of the time, in parallel, by different authors, and using different methodologies.

The studies about MSD's of the upper limbs have mostly developed since 1980, concerning muscle or tendon disorders (inflammations) and nervous compressions, the most frequent being carpal tunnel syndrome. Studies about the HAV syndrome are older as they developed during the 70's. The disorders can be circulatory, sensitive, motor or musculoskeletal.

The article presents a state of the art review about these disorders linked or not to the use of vibrating tools, in describing the main pathologies, the main risk factors, and finally the situation in Belgium.

KEY-WORDS: MSD, Hand-arm vibrations, Review

INTRODUCTION

A. Position du problème

Les mains et les membres supérieurs dans leur ensemble sont de magnifiques outils, permettant l'exécution aussi bien de tâches de précision que de tâches de force, de mouvements lents et minutieux que de mouvements rapides. Au cours des tâches professionnelles ou extraprofessionnelles, les membres supérieurs peuvent ainsi être fortement sollicités et soumis à un ensemble de contraintes biomécaniques.

De très longue date, des travaux (Loriga, 1911; Hamilton, 1918) ont décrit certaines de ces contraintes et les pathologies qui leur étaient associées. Ce n'est cependant que depuis quelque 30 ans que les études dans ce domaine se sont vraiment multipliées du fait d'un développement parfois endémique de ces pathologies alors que d'autres (silicose, empoisonnements chimiques, ...) s'estompaient. De nombreux laboratoires des pays industrialisés se sont préoccupés du problème et de nombreuses études, en laboratoire et en entreprise, ont été et sont toujours menées.

Ces études ont abouti à de nombreux ouvrages de synthèse décrivant les contraintes auxquelles sont soumis les différents segments corporels, la manière de les évaluer, de les prévenir, les pathologies qui peuvent en résulter et la façon de les diagnostiquer (Putz-Andersson, 1988; Griffin, 1990; Pelmeur et al., 1992; Gemne et al., 1993; Pujol, 1993; Tyler et al., 1993; Erdil et al., 1994; Hagberg et al., 1995; Bernard, 1997)

En Belgique, des études ont également été menées dans le cadre de programmes de recherche Européens et belges (Delavignette et al., 1993; Gomes Ferreira, 1993; Malchaire, 1995; Clarys et al., 1995; Malchaire et Indestege, 1997).

Dans un premier temps, les pathologies musculosquelettiques, vasculaires et neurologiques des membres supérieurs et des mains sont apparues comme étant liées à certaines professions particulières: bûcherons (Färkkilä, 1978), bouchers (Viikari-Juntura, 1983), main d'œuvre féminine comme les emballeuses (Luopajarvi et al., 1979) ou les caissières (Margolis et Kraus, 1987).

A présent, il est reconnu qu'elles peuvent se développer dans de très nombreux secteurs d'activité.

Différents facteurs ont été avancés pour tenter d'expliquer l'augmentation de prévalence de ces pathologies.

- L'automatisation du processus industriel a redistribué les contraintes de travail en diminuant la charge physiologique globale de travail mais en localisant les efforts au niveau des membres supérieurs et surtout en augmentant la répétitivité des gestes.
- Certaines pathologies prioritaires telles que la silicose, les coups de chaleur, les intoxications, ont régressé. Elles occultaient probablement en partie la reconnaissance des pathologies du

membre supérieur et cela de manière plus ou moins importante selon les pays et les secteurs industriels concernés.

- Dans les pays industrialisés à tout le moins, les préoccupations des travailleurs ont porté de moins en moins sur le revenu et de plus en plus sur la qualité de vie au travail. Certaines pathologies, qui paraissaient intrinsèquement liées à une profession et qui, dans certains cas, étaient l'apanage de la profession, ne sont plus acceptées.
- De nouvelles techniques de travail (ordinateurs, scanner, ...) sont apparues, avec l'exacerbation de pathologies très anciennes.

Il est plus que probable que les pathologies dont il sera question ne sont ni neuves ni plus graves que par le passé. Le nombre de personnes qui les développent ou qui en prennent conscience serait simplement beaucoup plus grand.

L'examen de la littérature scientifique de ces trente dernières années, et en particulier des ouvrages de synthèse mentionnés ci-dessus, montre de toute évidence que deux domaines de recherche bien distincts existent:

- l'un, le plus important, concernant les troubles musculosquelettiques des mains et membres supérieurs liés au travail répétitif sans vibrations,
- l'autre concernant la pathologie chez les travailleurs exposés aux vibrations transmises par la main.

Ces études ont été et sont toujours actuellement menées essentiellement par des auteurs différents qui ont développé des méthodologies (analyse des contraintes, diagnostics et tests cliniques, ...) parfois similaires mais différentes.

L'un des objectifs de la présente revue de la littérature est de faire la synthèse de ces deux catégories d'études.

B. Les études concernant les pathologies liées à l'exposition aux vibrations manubrachiales

Les premières études relatives aux problèmes du membre supérieur ont concerné l'utilisation de certaines machines vibrantes telles que les tronçonneuses et les machines percutantes. Il s'agit essentiellement d'études dans les pays industrialisés et froids: les pays scandinaves (Färkkilä, 1978; Färkkilä et al., 1980), les U.S.A. (Radwin et Armstrong, 1985), le Canada (Pelmear et al., 1992), la Grande Bretagne (Griffin, 1990), le Japon (Takamatsu et al., 1982),

Ces études concernaient au départ les problèmes ostéo-articulaires (Malchaire et al., 1986; Gemne et Saraste, 1987), mais surtout les troubles vasculaires: le syndrome de Raynaud d'origine vibratoire. Ces dernières études ont mis en évidence l'existence d'autres troubles suite à l'exposition aux vibrations (Pyykko, 1986): picotements (Juntunen et al., 1983), diminution de la force de préhension (Färkkilä et al., 1980; Färkkilä et al., 1986), et diminution de la sensibilité tactile (Lidström et al., 1982).

L'ensemble de ces pathologies liées à l'exposition aux vibrations mains-bras est repris sous l'appellation générale anglaise de "Hand Arm Vibration Syndrome (HAVS)" et, lors du congrès tenu à Stockholm (1986), des échelles de classification de l'importance de l'atteinte vasculaire (Gemne et al., 1987) et de l'atteinte neurologique (Brammer et al., 1987) ont été définies.

Fin des années 70, une norme internationale (ISO 5349, 1978) a été publiée pour standardiser les mesurages des vibrations des machines vibrantes à main. Elle a été revue en 1986 et comprend un modèle d'estimation du risque de troubles vasculaires. Ce modèle prédit le pourcentage de la population de salariés qui, travaillant "d" heures par jour avec une machine vibrante donnant lieu à un niveau de vibration " a_{eq} ", aura développé des troubles vasculaires de stade 1 de l'échelle de Stockholm (Gemne et al., 1987) après "T" années de travail.

La validité de cette relation simple dose (vibration) – réponse (effet vasculaire) est fortement critiquable étant donné le très grand nombre de paramètres influençant l'exposition aux vibrations (Nilsson et al., 1989; Bovenzi et al., 1994; Bovenzi et Griffin, 1997, Griffin, 1997). Les autres facteurs de contraintes, de force ou de posture interviennent également dans le développement de ces pathologies (Gemne et al., 1993 et 1997).

C. Les études concernant les pathologies musculosquelettiques non liées à l'exposition aux vibrations

Les pathologies du membre supérieur associées aux activités professionnelles sans exposition aux vibrations portent différents noms:

- Cumulative Trauma Disorders CTD (Putz-Andersson, 1988);
- Repetitive Strain Injuries RSI (Asbury, 1995; Pujol, 1993);
- Lésions attribuables au travail répétitif LATR (Pujol, 1993);
- Pathologie professionnelle d'hypersollicitation (Pujol, 1993);
- Work related musculoskeletal disorders (Hagberg et al., 1995);
- Upper limb disorders (Cooper and Baker, 1996; Buckle, 1997).

Nous utiliserons quant à nous l'appellation troubles musculosquelettiques du membre supérieur (TMSMS) qui ne fait allusion à aucune étiologie.

Les principaux facteurs tenus responsables de ces TMSMS sont la force, la répétitivité, les postures et le manque de repos (Putz-Andersson, 1988). Les études de référence que sont devenues les études de Silverstein (Silverstein et al., 1986 et 1987) ont notamment montré une augmentation du risque de TMSMS proche de 3 pour les postes de travail requérant une force élevée et proche de 6 pour les postes avec un travail répétitif.

L'association entre les activités professionnelles et la survenue de TMS apparaît à l'heure actuelle établie en ce qui concerne la nuque, les épaules et les poignets et, dans une moindre mesure, pour les coudes (Hagberg et al., 1995; Bernard, 1997).

D. Les études conjointes sur les vibrations et mouvements/efforts répétitifs

Comme dit précédemment, les études concernant les deux aspects vibrations et travaux répétitifs sont rares. Cependant, un consensus existe pour considérer que l'exposition aux vibrations est un facteur supplémentaire et qui, de plus, est susceptible d'interagir avec d'autres. Silverstein et al. (1987) ont montré que le risque de TMSMS était doublé chez les travailleurs exposés aux vibrations par rapport à ceux exposés uniquement à des forces et des répétitivités élevées. D'après Bovenzi et al. (1991), le risque serait cinq fois plus important.

E. Les objectifs de la revue de la littérature

Les principaux objectifs de cette revue de la littérature sont de décrire:

- les prévalences pour situer l'ampleur du problème.
- brièvement les différentes pathologies du membre supérieur liées et non liées aux vibrations,
- les différents tests fonctionnels, vasculaires ou neurologiques, généralement utilisés pour leur dépistage,

EPIDEMIOLOGIE DES PLAINTES DU MEMBRE SUPERIEUR (TMS ET HAVS)

Toutes les statistiques montrent une augmentation du nombre de **cas de TMS** au cours des 20 dernières années. Aux U.S.A., **ces pathologies représentaient** en 1981, 1989 et 1991 respectivement ~~de~~ 18, 52 et 61% **de l'ensemble des maladies professionnelles** (Erdil et al., 1994). Putz-Andersson (1990) cite des chiffres similaires (15% en 1981 et 50% en 1988). Selon Rempel et al. (1992), les TMS représenteraient 50% des maladies professionnelles aux U.S.A. et seraient passés de 5 à 20 cas pour 100.000 travailleurs. Sur 127 millions de travailleurs en 1988, 1,5% auraient rapporté par eux-mêmes des symptômes du syndrome du canal carpien, tandis que 0,5%, soit plus de 600.000 travailleurs, auraient recouru au diagnostic d'un médecin (Tanaka et al., 1995). En moyenne, cela correspondait fin des années 80 (Putz-Andersson, 1988) à 2 jours d'incapacité de travail par an et par travailleur.

Ces pathologies seraient responsables de 15% du coût total des accidents – maladies professionnelles (Webster et Snook, 1994), et Selon Hagberg et al. (1995), les coûts indirects (production, remplacement de personnel, ...) seraient deux à trois fois supérieurs encore.

Les données sont plus rares en ce qui concerne les pays européens (Malchaire, 1995). En Belgique, des prévalences de 10 à 40% ont été observées sur une population de 1500 travailleurs appartenant à différents secteurs industriels (sidérurgie, alimentaire, automobile, encodage, tertiaire). La partie prospective de la même étude a montré des incidences annuelles de plaintes MUSCULOSQUELETTIQUES allant de 5% pour les coudes et les épaules à plus de 10% pour les poignets et jusqu'à 20% pour la nuque.

L'exposition aux vibrations peut engendrer des pathologies spécifiques mais peut être un facteur aggravant pour la survenue de TMS. Selon le type de machine vibrante, des prévalences de 10 à 80% ont été rapportées (Pelmear et al., 1992) pour des durées d'exposition variant de quelques

mois à 20 ans. En Suède, des prévalences de 20 à 60% et de 20 à 70% ont été rapportées respectivement pour les pathologies vasculaires et neurologiques alors que la prévalence de pathologies ostéo-articulaires serait inférieure à 1% (Gemne et al., 1993).

Les études épidémiologiques concernant les pathologies vasculaires (VWF) sont abondantes, et remontent souvent au début des années 1980 avec des prévalences supérieures à 50% (Brubaker et al., 1987). La réduction des vibrations générées notamment par les tronçonneuses (de 14 à 2 ms⁻²) a réduit la prévalence de VWF de 40 à 5% selon Koskimies et al., (1992) et de 52% à 13% selon Bovenzi et al., (1995).

Les pathologies vasculaires seraient donc en nette régression et concerneraient essentiellement certaines catégories professionnelles particulières, tels les bûcherons (23% VWF), les travailleurs des carrières (30% VWF) (Bovenzi et al., 1994 et 1995) ou les travailleurs exposés à la fois aux vibrations et au froid important.

Les quelques études épidémiologiques concernant les troubles neurologiques liés aux vibrations sont généralement plus récentes. Des prévalences de 53% chez des bûcherons (dont 26% de syndrome du canal carpien) (Färkkilä et al., 1988), de 29% chez des dentistes (Stockill et al., 1993), de 23% chez des patients VWF (Kakosy, 1994) et de 17% chez des riveteurs (Burdorf et Monster, 1991) ont notamment été observées.

Très peu d'études utilisent la classification de Stockholm étant donné la difficulté de définir l'atteinte neurologique sur base des symptômes évoqués.

En conclusion, les incidences et les prévalences des pathologies aussi bien musculosquelettiques que liées aux vibrations (HAVS) varient très fortement. Plusieurs raisons expliquent cela:

- les différences dans les méthodologies de recueil des plaintes : questionnaire sur une période en général de 12 mois sous forme d'interview ou envoyé par la poste, examen clinique avec ou sans tests spécifiques établissant un diagnostic le jour de l'examen, ...;
- les contraintes aux postes de travail sont très différentes car elles résultent de la combinaison et de l'interaction de plusieurs facteurs (force, répétitivité, posture, vibrations, ...);
- les contraintes vibratoires varient également en fonction de nombreux facteurs : amplitude et fréquence des vibrations, poids des machines, durée d'exposition, force de pression et de préhension, ...;
- l'influence des pouvoirs publics et la prise de conscience du problème varie d'un pays à l'autre même au sein des différents pays industrialisés.

PATHOLOGIES VASCULAIRES ET NEUROLOGIQUES LIEES A L'UTILISATION DES MACHINES VIBRANTES (HAVS)

A. Définition

Le Hand Arm Vibration Syndrome (HAVS) est défini comme étant l'ensemble des perturbations circulatoires (doigt blanc), sensibles et motrices (picotements, lourdeur, diminution de la dextérité,

diminution de la force, ...) et ostéoarticulaires (géodes, arthrose, ...) engendrées par l'exposition aux vibrations manubrariales (Bovenzi, 1990; Pelmear et Taylor, 1991).

La gamme de fréquences susceptibles de produire ces altérations au niveau des membres supérieurs est très large:

- pour les fréquences inférieures à 30 Hz, l'ensemble main - bras se comporte comme une simple masse rigide. L'absorption, et par conséquent les effets, se produisent essentiellement au niveau du coude et de l'épaule.
- pour les fréquences moyennes de 30 à 60 Hz, l'absorption se produit essentiellement au niveau du poignet et du coude;
- pour les fréquences élevées de plus de 60 Hz, les vibrations sont absorbées essentiellement au niveau de la main.

On peut donc en conclure que, essentiellement, les vibrations de basses fréquences, inférieures à 60 Hz, engendrent des lésions ostéo-articulaires, alors que les vibrations de plus de 60 Hz donnent lieu à des troubles vasculaires et neurosensoriels.

Gemne et Saraste (1987) ont dressé une revue de la littérature particulièrement exhaustive concernant les problèmes ostéoarticulaires liés aux vibrations. Le présent article n'abordera dès lors que les lésions vasculaires et neurologiques.

B. Lésions vasculaires

La composante vasculaire du HAVS a été la plus étudiée: elle a été désignée par l'appellation du syndrome du doigt blanc (vibration induced white finger, VWF) au début des années 70 (Taylor et al., 1971).

Ce syndrome représente la pathologie la plus connue associée aux vibrations. Il est provoqué notamment par un vasospasme localisé, surtout à l'extrémité des doigts qui entraîne une anoxie locale. Cette dernière, aboutit à des lésions qui atteignent les artères, les artérioles, les capillaires et les shunts artério-veineux (Futatsuka et al., 1983). Après une durée d'exposition aux vibrations variable en mois ou en années et selon l'intensité des vibrations (Brammer, 1984), un déficit vasculaire s'installe, s'accompagnant parfois de nécroses. Le tableau clinique est finalement celui d'un syndrome de Raynaud. Les lésions atteignent surtout l'auriculaire, l'annulaire et le majeur. Les manifestations cliniques prédominent souvent du côté qui supporte le poids de la machine.

La responsabilité des vibrations ne fait aucun doute. Il existe cependant un certain nombre de facteurs favorisants:

- le froid est un élément nécessaire à l'apparition du phénomène et est surtout un facteur déclenchant (Gemme, 1982; Brezinova et Quinton, 1991; Wieslander et al., 1996);
- le tabac (Taylor et al., 1971);
- les perturbations hormonales (Harada et al., 1990);
- la prise de médicaments comme l'ergotamine, les antihypertensifs ... (Marshall et al., 1976);

- le poids des machines;
- les postures contraignantes;
- le bruit (Pyykkö et al., 1989);
- les traumatismes locaux (Lasfargues, 1992);
- l'exposition aux toxiques comme le chlorure de vinyle (Carpentier et al., 1984).

Le diagnostic du syndrome se fait par l'interrogatoire en précisant la topographie et l'évolution des signes cutanés, l'anamnèse professionnelle qui permet de confirmer l'utilisation des machines vibrantes et des tests spécifiques. Cependant, ces tests sont très laborieux et coûteux et ne peuvent être réalisés que pour confirmer le diagnostic. Le dépistage en milieu professionnel reste dès lors basé sur la symptomatologie, les signes cliniques, l'anamnèse médicale et professionnelle, le contrôle périodique de la température cutanée des mains et doigts, le test d'Allen et le nail press test. L'atteinte vasculaire est quantifiée au moyen de l'échelle de Stockholm (Gemme et al., 1987) donnée au tableau 1.1.

TABLEAU 1.1 - Classification de Stockholm - Composante vasculaire (d'après le Symposium de Stockholm, 1986)

Stade	Degré	Description de la crise
0	-	Pas d'attaque
1	Léger	Attaques occasionnelles affectant seulement l'extrémité d'un ou plusieurs doigts
2	Moyen	Attaques occasionnelles affectant les phalanges et les phalangettes d'un ou plusieurs doigts
3	Sévère	Attaques fréquentes affectant toutes les phalanges de la plupart des doigts.
4	Très sévère	Comme au stade 3 avec des modifications trophiques de la peau à l'extrémité des doigts

C. Lésions neurologiques

Les troubles neurologiques liés à l'utilisation des machines vibrantes peuvent apparaître au niveau des récepteurs sensoriels et au niveau des nerfs périphériques. Ces troubles se développent en deux phases: une phase réversible avec des troubles à court terme et une phase irréversible avec des troubles permanents (Brammer et Pyykkö, 1987).

1. Phase réversible: troubles neurologiques à court terme

Le premier symptôme neurosensoriel après l'exposition aux vibrations est l'apparition de picotements (Takamatsu et al., 1982; Brammer, 1984; Pyykkö, 1986). Plus tard, en fonction de l'intensité, de la fréquence et de la durée de l'exposition, on peut observer une diminution temporaire de la sensibilité tactile aux vibrations (Malchaire et al. 1998) et des symptômes comme: lourdeur, douleur, diminution de la force musculaire de préhension, diminution de la dextérité manuelle, diminution de la sensibilité thermique et altération de la coordination oculo-manuelle (Martin et al., 1991).

Ces troubles réversibles s'expliquent par une diminution temporaire de l'excitabilité des récepteurs sensoriels (Lundström, 1986) et par l'apparition d'œdèmes sur les fibres nerveuses, œdèmes qui disparaissent à court terme (Brammer et Pyykkö, 1987).

2. Phase irréversible: troubles neurologiques à long terme

A plus long terme, l'exposition aux vibrations entraîne des dommages irréversibles des nerfs périphériques et des récepteurs sensoriels.

Au niveau des fibres nerveuses périphériques, grâce à des expérimentations animales, certains auteurs (Lundborg et al., 1987; Bovenzi, 1990, Kwang-Yuang et al. 1994) ont observé des altérations de ces fibres après exposition aux vibrations: démyélinisation, constriction de l'axone, œdème périneural,....., altérations qui évoluaient en relation directe avec l'intensité et la durée de l'exposition aux vibrations.

Au niveau des récepteurs sensoriels, des dommages et une disparition partielle des fibres nerveuses terminales ont été constatés (Brammer et Pyykkö, 1987; Lundborg et al. 1990).

Certaines études semblent montrer que les troubles vasculaires se développent en parallèle avec les troubles neurologiques, tandis que d'autres études indiquent le contraire (Bovenzi, 1990; Brezinova et Quinton, 1991). Cette controverse peut probablement s'expliquer par le fait que les premières études s'intéressaient aux troubles vasculaires, ce qui influait partiellement sur les méthodologies utilisées et sur la sélection des travailleurs. Les études plus récentes ne montrent pas de corrélation positive entre les anomalies vasculaires et neurologiques (Brezinova et Quinton, 1991; Mirbod et al., 1997).

3. Classification des troubles neurologiques

L'échelle de Stockholm (tableau 1.2) proposée par Brammer et al. (1987) codifie la détérioration progressive des récepteurs sensoriels, après exposition aux vibrations. Cette classification est importante pour le dépistage des altérations neurosensorielles en milieu professionnel.

TABLEAU 1.2 - Classification des effets neurosensoriels selon l'échelle de Stockholm (Sn - sensorineural stage)

STADES	SYMPTOMES
0 SN	Exposé aux vibrations mais pas de symptômes
1 SN	Engourdissements intermittents avec ou sans symptômes de picotements
2 SN	Engourdissements intermittents ou persistants et perception sensorielle réduite
3 SN	Engourdissements intermittents ou persistants et discrimination tactile et/ou dextérité manuelle réduite

Les auteurs ont émis l'hypothèse que le stade 2 peut être confirmé grâce à des tests sensitifs subjectifs tels que la sensibilité au toucher, à la douleur, aux températures et aux vibrations. Pour confirmer le stade 3, il faudrait effectuer des tests additionnels tels que l'esthésiométrie, la dextérité manuelle et des mesures de vitesse de conduction nerveuse (Pelmear et al., 1992).

D. Examen clinique des HAVS

Le but de l'examen clinique en milieu professionnel est de détecter de façon précoce la survenue de troubles HAVS. Pelmeear et al. (1992) ont proposé l'approche suivante en trois points:

- anamnèse concernant les caractéristiques du travailleur (tabagie, état des doigts et des mains, ...) et l'exposition aux vibrations (type de machines, nombre d'heures d'exposition par jour, nombre d'années, ...),
- classification des symptômes évoqués selon le degré de l'atteinte et les échelles de Stockholm vasculaire et neurologique.
- la réalisation de tests vasculaires et neurologiques simples (nail press test, tests d'Allen, de Phalen, de Tinel, ...).

Sur cette base, l'examen clinique aboutit à classer le travailleur en non atteint ou en atteint probable, l'atteinte devant être confirmée par des tests cliniques spécialisés.

E. Tests neurologiques

Différents tests ont été préconisés dans le cadre du dépistage précoce de troubles neurologiques chez des personnes que ces troubles éventuels n'empêchent pas d'exercer leur activité professionnelle. La pertinence de ces tests et leurs limitations sont discutées ci-après.

1. La conduction nerveuse

Le mesurage de la conduction nerveuse au niveau des nerfs périphériques est souvent considéré comme le test clinique de référence auxquels sont comparés les autres tests (Pelmear et al., 1992). L'appareillage complexe et sophistiqué permet de déterminer avec précision les temps de latence moteur (TLM) et sensitif (TLS) et la vitesse de conduction nerveuse (NCV), aussi bien pour la fonction sensitive que motrice.

L'interprétation du test doit se faire en tenant compte de l'âge du sujet, tandis que le sexe de celui-ci ne semble pas influencer les résultats (Nathan et al., 1992).

De manière à pouvoir réaliser ce test en milieu professionnel, des appareils portables ont été développés. La corrélation entre les valeurs obtenues avec ces appareils portables et celles mesurées en milieu clinique est excellente ($R > 0,9$) (Steinberg et al., 1992; Durnil et al., 1993). De plus, les reproductibilités inter et intra examinateur sont tout aussi bonnes (respectivement R : 0,96 et 0,94 selon Cook et al., 1991, et 0,83 et 0,89 selon Durnil et al., 1993).

Des nombreuses études (Brammer et Pyykkö, 1987 ; Murata et al., 1991; Nilsson et al., 1994) ont montré un ralentissement de la conduction nerveuse aussi bien sensitive que motrice suite à l'exposition aux vibrations.

Afin, cependant, de distinguer l'atteinte des fibres nerveuses périphériques de la compression du nerf médian au niveau du canal carpien, des mesurages de la conduction nerveuse entre les doigts et la paume de la main, entre la paume et le poignet, de même que la comparaison entre le nerf médian et le nerf cubital, sont nécessaires (Bleecker et Agnew, 1987; Brammer et Pyykkö, 1987; Sakakibara et al., 1994).

En conclusion, le mesurage de la vitesse de conduction nerveuse et/ou des temps de latence présente une spécificité faible dans le cas des HAVS mais permet de distinguer les neuropathies périphériques d'origine vibratoire d'un syndrome du canal carpien ou de polyneuropathies générales (Bovenzi, 1990). Il reste le prédicteur le plus fiable du syndrome du canal carpien (Nathan, 1997).

Pour le dépistage précoce, le mesurage du TLS est préférable puisque les troubles neurologiques sensitifs surviennent généralement avant les troubles moteurs (Callahan, 1990).

2. Le seuil de perception aux vibrations (SPV)

Le mesurage du seuil de perception aux vibrations est un test de dépistage précoce de certaines altérations sensitives périphériques. Le test SPV consiste à exciter l'extrémité du doigt (pulpe) par une vibration sinusoidale d'amplitude variable et à relever le seuil à partir duquel le sujet perçoit la vibration.

Le test est réalisé à différentes fréquences d'excitation. Ce test est notamment utilisé pour l'étude des neuropathies induites par l'exposition à des produits toxiques (Lundström et al., 1992) ou liées à certaines maladies (sclérodermie).

A son origine (Dellon, 1981), ce test consistait à exciter les mécanorécepteurs de la peau au moyen d'un diapason. Depuis, vu l'intérêt du SPV aussi bien dans le diagnostic des TMS (syndrome du canal carpien) que des troubles neurologiques liés aux vibrations, la méthodologie et l'appareillage n'ont cessé d'évoluer, (Lundström et al., 1992; Maeda et Griffin, 1993; Malchaire, 1995; Sakakibara et al., 1996; Ricci, 1997).

Toutes ces études et la multiplication d'appareillages différents employés dans celles-ci ont conduit en 1995 à la standardisation du test SPV des doigts pour l'évaluation de la fonction nerveuse sensorielle (norme ISO/CD 13091, 1995).

La fréquence utilisée au cours du test détermine les mécanorécepteurs et le type de fibres nerveuses qui sont excités. Les études, notamment de Johanson et Vallbo (1980a, 1980b, 1983) ont permis de répertorier et de classer les mécanorécepteurs de la main (tableau 1.3), ainsi que les fibres nerveuses périphériques (Guyton, 1984) qui, pour les mécanorécepteurs, sont de type A_{α} et A_{β} (grand diamètre (5 à 20 μ m), fibres myélinisées et donc rapides (30 à 120 m/s)).

TABLEAU 1.3 – Principales caractéristiques des mécanorécepteurs de la main et principalement sur le bout des doigts

	Champ récepteur:	
	petit et constitué de bords nets (principalement sur le bout des doigts) I	plus grand et constitué de bords flous (sur toute la surface de la main) II
à réponse dynamique (rapide) Fast Adapting FA	FAI: Meissner sensibilité tactile fine, texture des objets bande passante: inférieure à 40 Hz	FAII: Pacini mouvements rapides (vibrations), pression profonde bande passante: entre 40 et 500 Hz
à réponse statique (lente) Slow Adapting SA	SAI: Merkel détection continue du contact, discrimination précise de la forme et de la texture, objet fin, pression légère bande passante: 2 à 30 Hz	SAII: Ruffini détection des déformations prolongées et profondes de la peau et des tissus, contact ou pression continue bande passante: < 8 Hz

Afin de mettre en évidence une détérioration des mécanorécepteurs excités par les vibrations, il est indispensable de réaliser le test du SPV au minimum à deux fréquences (ISO/CD 13091, 1995): 125 Hz (Pacini) et 31 Hz (Meissner). Par contre, pour mettre en évidence un syndrome du canal carpien, la seule fréquence de 120 Hz est souvent utilisée (Gerr et al., 1995). Le test à cette fréquence permettrait d'obtenir des spécificités de 70 à 80% et des sensibilités de l'ordre de 60%.

La validité du SPV en terme de reproductibilité est excellente, même en milieu professionnel (Rosecrance et al., 1994). Grunert et al. (1990) recommandent toutefois un test de familiarisation au préalable.

Il est établi que le SPV dépend de l'âge du sujet du fait d'une diminution de la densité des corpuscules de Meissner et de Pacini (Kenshalo, 1986). Par contre, peu ou pas de différences ont été notées entre hommes et femmes (Ricci, 1997) et la température de la peau a peu d'effet sur le SPV si elle est supérieure à 26°C (ISO/CD 13091, 1995).

Les différences interindividuelles sont cependant très importantes de sorte que le test ne permet pas, à lui seul, d'établir un diagnostic fiable sauf en cas d'atteinte sévère (Ekenvall et al., 1989). Il permet cependant d'authentifier des différences entre des groupes de travailleurs (Bovenzi, 1990).

Certaines études (Ekenvall et al., 1989; Virokannas, 1995), ont recherché des relations dose-réponse entre l'exposition aux vibrations et le SPV. Virokannas (1995) a montré une élévation significative (R de 0,6 à 0,8) du SPV à toutes les fréquences de mesurages (16 à 500 Hz) avec la durée d'utilisation de tronçonneuses et de machines de damage. Ces dernières présentent une accélération pondérée (10 à 14 ms⁻²) nettement supérieure à celle des tronçonneuses (2 à 4 ms⁻²), ce qui explique que l'élévation du SPV avec la durée d'utilisation est pratiquement deux fois plus rapide chez les travailleurs des chemins de fer. Par exemple, une augmentation du SPV à 250 Hz de 20 dB est constatée après une utilisation de 10.000 heures des machines à damer pour 20.000 heures des tronçonneuses.

3. Le seuil de perception à la température (SPT)

Le mesurage du seuil de perception à la température est similaire à celui du SPV, l'extrémité du doigt étant soumise cette fois à une variation de température d'une pièce métallique. Deux paramètres sont mesurés: le seuil de température à partir duquel le sujet perçoit une sensation de chaud et le seuil de perception au froid. La zone neutre, c.à.d. la différence entre les deux seuils déterminés, est calculée.

Tout comme pour le SPV, le test du SPT a été développé à la fin des années 70 de manière assez séparée dans de nombreux laboratoires recourant à des méthodes souvent différentes (Hirosawa et al., 1992; Kenshalo, 1986; Ekenvall et al., 1986 et 1989; Schady et al., 1991; Lindsell et Griffin, 1998). Les uns utilisèrent une barre de cuivre refroidie à un bout et chauffée à l'autre: le gradient de température permet de mesurer de manière discrète le SPT. Les autres ont utilisé une surface métallique dont la température est régulée électriquement (effet Joule et effet Peltier). Le SPT peut ainsi être déterminé de manière continue.

Ce test a surtout été utilisé pour la quantification des polyneuropathies liées à la consommation d'alcool (Hilz et al., 1995) ou à certaines maladies (Schady et al., 1991). Il a été utilisé par certains auteurs en milieu professionnel pour des sujets exposés aux HAV. Les résultats principaux sont les suivants: suite à une exposition de courte durée (heures) aux vibrations, chez les sujets sains, le seuil au chaud augmente mais pas celui au froid (Hirosawa et al., 1992). Par contre, en cas d'atteinte sévère (stade 3N, échelle de Stockholm) liée à une exposition de longue durée aux vibrations, le seuil au froid est également modifié (diminution) (Hirosawa et al., 1983) et s'avère discriminant entre des groupes exposés et non exposés. (Ekenvall et al., 1986).

La constitution des fibres nerveuses des thermorécepteurs est différente: les fibres des récepteurs au froid sont de type A_{δ} (myélinisées, 6 à 30 m/s, et de taille de l'ordre de 5 μ m) et C (non myélinisées, donc plus lentes, 1 m/s, et plus petites <2 μ m), tandis que les fibres des récepteurs au chaud sont essentiellement de type C (Guyton, 1984). Ces fibres plus petites sont par conséquent plus rapidement perturbées par les vibrations. De plus, la densité de récepteurs au froid est environ 10 fois plus grande que celle des récepteurs au chaud.

L'intérêt majeur du test SPT en neurologie est qu'il permet de mettre en évidence une altération des petites fibres myélinisées A_{δ} et non myélinisées C. Il est donc complémentaire au test SPV et au mesurage des potentiels d'action nerveux sensoriels qui tous deux montrent des altérations des fibres larges.

4. Le seuil de perception à la pression (SPP)

Le seuil de perception à la pression évalue le toucher fin à l'aide de filaments (filaments de Semmes Weinstein) de différents diamètres et donc de raideurs différentes. Ces filaments ont été classés en 4 classes d'atteinte: toucher normal, diminution de la perception du toucher léger, diminution de la sensation de protection et perte de cette sensation (Bell-Krotoski, 1990).

Ce test, reproductible, stimule à la fois les mécanorécepteurs superficiels de la peau à adaptation rapide (FAI) et lente (SAI) (Bell-Krotoski, 1990) qui, par leur champ récepteur, sont très discriminants et permettent de localiser exactement les stimulations tactiles.

Une diminution du toucher léger mise en évidence par ce test suggère soit une diminution de l'excitabilité des unités tactiles FAI et SAI suite à une exposition à long terme aux vibrations (Lundström et Johansson, 1986), soit une atteinte des fibres nerveuses larges par compression nerveuse notamment au niveau du canal carpien (Gelberman et al., 1983; Koris et al., 1990). Ces auteurs ont par ailleurs montré une augmentation de la sensibilité à détecter des patients atteints de compression nerveuse, en combinant le test SPP avec le test de Phalen. L'hyperflexion du poignet entraîne une ischémie à laquelle les fibres plus larges sont plus sensibles que les plus petites.

5. Les esthésiomètres

De nombreux esthésiomètres ont été développés pour évaluer la discrimination tactile de deux pointes, d'une rainure, de deux bords, ... L'esthésiomètre à deux pointes est le plus fréquemment employé. Dans le cas de l'évaluation du HAVS, Haines et Chong (1987) ont revu la littérature relative à ces esthésiomètres et ont observé une sensibilité et une spécificité entre 90 et 95% pour certains d'entre eux. Cependant, lors de la comparaison entre un groupe de mineurs exposés et un autre non exposés aux vibrations, ces auteurs n'ont pas mis en évidence des différences de seuils esthésiométriques. L'esthésiomètre ne permet de mettre en évidence une altération sensitive qu'à un stade d'atteinte sévère, le seuil esthésiométrique se modifiant plus tard que les tests SPV et SPP (Callahan, 1990; Gelberman et al., 1983).

6. La force maximale volontaire (FMV)

Le sujet exerce une force maximale volontaire de préhension sur un dynamomètre tenu en main. La posture du bras, le modèle de dynamomètre, la façon de le prendre en main, le réglage de la largeur de la poignée, la durée du test, ainsi que le temps de repos entre deux tests consécutifs influencent considérablement les valeurs de FMV obtenues.

L'influence des caractéristiques individuelles (âge, sexe, main dominante, ...) a été tout particulièrement étudiée par Mathiowetz (1990) qui donne des tables de référence pour une population normale.

Les études menées par Färkkilä et al. (1978, 1980, 1986) sur un groupe de travailleurs forestiers ont montré, après deux années d'exposition aux vibrations, une diminution de 20% de la FMV chez les sujets atteints de troubles vasculaires par rapport aux sujets non atteints. Cette diminution résulterait de l'atteinte neurologique (Aatola et al., 1990), plutôt que de l'atteinte vasculaire. La relation entre l'exposition aux vibrations et cette diminution de la FMV n'est cependant pas clairement établie. Radwin et al. (1987) ont montré par des études en laboratoire que la force de préhension de la poignée de la machine vibrante augmente de 10 à 30% selon la fréquence et l'amplitude de la vibration. Ils ont également observé, suite à l'exposition aux HAV, une contraction involontaire des muscles qui augmente la contrainte musculaire.

Dans le cas de troubles neurologiques suite à une compression nerveuse, l'atteinte motrice (FMV) ne survient que bien plus tard après l'atteinte sensitive (Gelberman et al., 1983; Callahan, 1990)

7. Le test de dextérité du Purdue Pegboard (PPg)

Le test du Purdue Pegboard est un test de dextérité manuelle consistant à placer des petites tiges dans des trous et/ou à réaliser des assemblages avec tiges, cylindres et rondelles en un temps déterminé. (Desrosiers et al., 1995). Ce test fut employé au début pour analyser l'habileté psychomotrice (Fleishman et Ellison, 1962). Il est influencé par l'âge mais surtout par le sexe, les femmes ayant une meilleure dextérité (Yeudall, 1986).

En 1972, Banister et Smith (1972) ont montré avec ce test une diminution de la dextérité manuelle chez des travailleurs exposés aux HAV. Cette diminution surviendrait après une exposition à long terme aux vibrations, Hammarskjold et al. (1991) n'ayant montré aucune réduction de performance dans la réalisation de tâches fines après une exposition de courte durée. Cette diminution de la dextérité, généralement peu étudiée, pourrait engendrer des problèmes notamment de sécurité lors de l'exécution de certaines tâches.

8. Synthèse des tests neurologiques

Les différents tests sensitifs permettent de mettre en évidence des altérations de différents récepteurs et fibres nerveuses périphériques (SPV et SPP pour les fibres A_α et A_β , SPT au froid pour les A_δ et SPT au chaud pour les C).

Lors d'une atteinte neurologique et notamment d'une compression nerveuse, les premiers symptômes sont des picotements et des engourdissements. Au fur et à mesure que l'atteinte progresse, certains tests deviennent "anormaux": en premier lieu la sensibilité aux vibrations (SPV), puis la sensibilité à la pression (SPP) bien avant les modifications des seuils esthésiométriques ou de la force motrice (FMV) (Gelberman et al., 1983).

Une batterie de plusieurs tests est nécessaire pour établir un diagnostic complet et fiable des pathologies liées à l'exposition aux vibrations et notamment les troubles neurologiques. Harada (1987) a montré qu'une sensibilité de 85% et une spécificité de 95% pouvaient être obtenues en combinant 4 tests différents. La sensibilité et la spécificité d'un test peuvent également être augmentées en réalisant ce test après provocation, par exemple, par immersion dans de l'eau froide (Harada, 1987) ou par compression du nerf médian (Szabo et al., 1984).

L'utilisation d'un test seul n'est donc pertinente que pour la comparaison de groupes de travailleurs mais pas sur le plan individuel (Wenemark et al., 1996).

McGeoch et al.(1994) ont proposé un modèle logistique de prédiction d'une atteinte neurologique sévère (classe 2 ou 3 de l'échelle de Stockholm) à partir de 3 tests (esthésiométrie, SPT (zone neutre) et force de préhension). Lawson et Nevell (1997) ont amélioré ce modèle en introduisant en plus le test SPV

PATHOLOGIES MUSCULOSQUELETTIQUES DU MEMBRE SUPERIEUR (TMSMS)

A. Définition

La définition la plus couramment utilisée pour les TMSMS est celle de Putz-Anderson (1988): ce sont l'ensemble des troubles qui résultent de l'accumulation de microtraumatismes, dus à des contraintes mécaniques et touchant une ou plusieurs parties du membre supérieur ou la nuque.

En pratique ces TMSMS sont caractérisés par une gêne, un affaiblissement, une incapacité ou une douleur persistante au niveau des articulations, des muscles, des tendons, ou d'autres tissus mous, avec ou sans manifestation physique (K.H.E. Kroemer 1989).

B. Description et examen clinique des pathologies musculosquelettiques les plus fréquentes au niveau du membre supérieur et de la nuque

La nature, les symptômes et les tests cliniques des différents TMSMS ont été décrits par Cock et Masset (1994). Le texte ci-dessous ne reprend que l'essentiel de cet article à savoir une brève description des pathologies par région corporelle.

1. La nuque: les principales pathologies retrouvées en milieu professionnel sont:

- La cervicarthrose qui est une dégénérescence chronique, non inflammatoire, localisée aux articulations de la colonne cervicale;
- Le syndrome tensionnel de la nuque (ou Tension neck syndrome) qui regroupe un ensemble de symptômes douloureux non articulaires, perçus dans la région de la nuque. C'est une myalgie cervicobrachiale atteignant le plus souvent le trapèze supérieur et l'angulaire de l'omoplate;
- Le syndrome du défilé thoraco-brachial (ou Thoracic outlet syndrome) qui résulte d'une compression ou d'un étirement vasculo-nerveux au sein du défilé thoracique, situé entre le cou et l'épaule.

2. Les épaules : les principales pathologies sont:

- La tendinite de la coiffe des rotateurs et plus spécifiquement du sus-épineux qui s'insère sur la partie supérieure de la tête humérale, directement sous l'acromion. Cette disposition expose plus ce tendon aux différentes frictions et explique la réaction inflammatoire.
- La ténosynovite du long chef du biceps brachial qui permet l'insertion supérieure du biceps brachial au niveau du tubercule sus-glenoïdien de la cavité articulaire de l'omoplate.
- L'épaule gelée (Frozen shoulder) qui est une algoneurodystrophie réflexe localisée à l'épaule entraînant un épaissement et une rétraction de la capsule articulaire (manchon de structure fibreuse qui s'insère sur le pourtour de la cavité glénoïde de l'omoplate). C'est pendant la phase d'installation que l'on a encore la possibilité de rencontrer les personnes au travail. A ce stade, le symptôme prédominant est la douleur dans la région de l'épaule, douleur exacerbée par le mouvement.. Les autres phases sont l'enraidissement et la récupération.
- Le syndrome de l'articulation acromio-claviculaire où dégénérescence non inflammatoire ou "arthrose" de cette articulation.

3. Les coudes: classiquement on observe deux inflammations tendineuses:

- L'épicondylite (Tennis elbow), inflammation des tendons reliant les muscles extenseurs des doigts et du poignet à l'épicondyle de l'humérus.
- L'épitrôchléite (Golfer's elbow), inflammation des tendons reliant les muscles fléchisseurs des doigts et du poignet à l'épitrôchlée de l'humérus.

4. Les poignets: il s'agit principalement d'inflammations tendineuses et de compressions nerveuses.

- Les ténosynovites sont des inflammations de gaines tendineuses qui concernent les tendons croisant la face dorsale et palmaire du poignet.. Au niveau de la face palmaire, les ténosynovites les plus communes concernent les tendons des muscles cubital antérieur, grand palmaire et fléchisseurs des doigts. Dans ce dernier cas, la ténosynovite est souvent associée au syndrome du canal carpien. Une autre forme particulière, souvent observée, est la ténosynovite sténosante crépitante au niveau des fléchisseurs des doigts ou du pouce qui est encore appelée "doigt ou pouce en ressort". Les tendons du court extenseur du pouce et du long abducteur du pouce peuvent également être concernés: cette ténosynovite sténosante est encore appelée syndrome de de Quervain.
- Le syndrome du canal carpien est caractérisé par la compression du nerf médian du fait d'une diminution de la taille du canal carpien ou d'une augmentation de volume des structures contenues dans le tunnel. La ténosynovite des fléchisseurs des doigts est souvent associée au syndrome.
- Le syndrome de la loge de Guyon est un syndrome compressif nettement moins fréquent que celui du nerf médian et affecte le nerf cubital lors de son passage à travers le canal de Guyon.

C. Tests fonctionnels et sensitifs

La plupart des tests fonctionnels et sensitifs utilisés pour le dépistage des TMSMS du membre supérieur ont été présentés et discutés ci-avant dans le cas des pathologies liées aux HAV.

Les tests sensitifs (SPV, SPP) sont principalement employés pour le dépistage précoce de compressions nerveuses (Lundborg et al., 1986; Brammer et al., 1987; Erdil et al., 1994; Gerr et al., 1995).

Plusieurs tests sont à nouveau nécessaires pour pouvoir réaliser un diagnostic valable. Ainsi, Erdil et al. (1994), Gellman et al. (1986), citent une sensibilité (de 80 à 90%) et une spécificité (de 90 à 100%) élevées pour le duo de tests SPP et conduction nerveuse pour le diagnostic du syndrome du canal carpien. Young et al. (1995) proposent par ailleurs un score global basé sur 12 mesures d'anormalité provenant de différents tests.

D. Facteurs du poste de travail associés aux troubles musculosquelettiques du membre supérieur

Deux ouvrages importants (Hagberg et al., 1995; Bernard, 1997) ont revu la littérature en ce qui concerne les facteurs associés aux TMS. Leurs conclusions ne permettent plus de mettre en doute la relation entre l'exposition professionnelle à certains facteurs de risque et l'apparition de TMSMS.

Les principaux facteurs cités dans la littérature (Putz-Anderson, 1988; Hagberg et al., 1995, Bernard, 1997) sont la force, la répétitivité, la posture et le manque de repos. L'exposition aux vibrations apparaît comme un facteur supplémentaire.

Hagberg et al. (1995) rapportent des odds ratios (OR) supérieurs à 5 pour la survenue de tendinites au niveau des épaules, des poignets ou des mains, tandis que l'association serait moins évidente en ce qui concerne les coudes (épicondylites, épitrochléites). De même, des OR entre 4 et 10 ont été observés pour le syndrome du défilé thoraco-brachial et de 4 à 15 pour le syndrome du canal carpien, en fonction de la force et de la répétitivité.

Stock (1991) rapporte des OR compris entre 8 et 19 entre l'exposition à la force, la répétitivité, les postures statiques et le développement de tendinites et ténosynovites au niveau des poignets et des mains.

Moore et Garg (1994) rapportent un risque relatif de 12 de développer un TMSMS et jusqu'à 7 pour une pathologie spécifique en fonction de la force. Silverstein et al. (1986 et 1987), sur un échantillon de plus de 600 travailleurs de différentes entreprises, ont obtenu des OR de 5 pour les TMSMS en général et de 3 pour le syndrome du canal carpien en fonction de la force et de 5,5 et 3,3 respectivement en fonction de la répétitivité.

Cet effet de la répétitivité est également confirmé par English et al. (1995). L'interaction de la force et de la répétitivité est considérable, le OR de 29 obtenu dans l'étude de Silverstein et al. (1986 et 1987) étant nettement supérieur au produit des OR observés séparément pour les deux facteurs.

La posture apparaît jouer un moindre rôle, notamment dans le cas du syndrome du canal carpien (Bernard, 1997). Cependant, l'interaction de ces trois facteurs joue un rôle essentiel dans la survenue d'un TMSMS (Tanaka et McGlothlin, 1993). Les postures contraignantes sont surtout associées aux pathologies de la nuque et des épaules, mais aussi aux pathologies tendineuses des poignets et des mains (Hagberg et al., 1995; Bernard, 1997).

L'utilisation de machines vibrantes augmente le risque notamment de syndrome du canal carpien: OR de 2 (Silverstein et al., 1987), 5 (Buckle, 1997), voire 7 (Canon et al., 1981).

De nombreuses méthodes ont été proposées pour étudier et pour quantifier ces facteurs de risque. Malchaire (1998) a recensé plus d'une vingtaine de ces méthodes qu'il propose de classer en quatre étapes successives, en fonction de l'objectif visé par l'utilisateur de la méthode et de sa compétence en ergonomie des TMSMS.

Ces quatre étapes sont :

- **Dépistage:** méthode simple, rapide et peu coûteuse, à utiliser par des personnes peu spécialisées en ergonomie des TMSMS, mais connaissant particulièrement bien les différents postes de travail. Le but est de cibler les postes où un risque de TMSMS pourrait exister et qui nécessitent une analyse plus détaillée.
Exemple: Méthode Renault (1979) ou différentes check-lists (Kilböm, 1994, Ahonen et al., 1989).
- **Observation:** observation plus systématique des différents facteurs de risque, par région corporelle, dans le but de déterminer des mesures de prévention. Ces méthodes sont encore à utiliser par des personnes de l'entreprise.
Exemple: Silverstein, 1997, Malchaire et Indesteege, 1997 (étape 1).
- **Analyse:** quantification plus précise des facteurs de risque souvent à partir d'enregistrements vidéo dans le but de déterminer des mesures de prévention qui n'auraient pas pu être établies lors de l'observation. Méthodes à utiliser par des personnes ayant reçu une formation spécialisée en ergonomie et notamment vis-à-vis des problèmes de TMSMS du membre supérieur.
Exemple: Moore et Garg, 1995; Malchaire et Indesteege, 1997 (étape 2).
- **Expertise:** quantification réalisée à l'aide d'instruments de mesurage tels que l'EMG de surface, les goniomètres électroniques, ..., par des experts spécialisés dans l'analyse des TMS.
Exemple: Malchaire et Indesteege, 1997 (étape 3); Marras et Schoenmarklin, 1993.

Ces 4 étapes ne sont pas toutes nécessaires à chaque poste de travail, l'analyse des TMS s'arrêtant dès que des mesures de prévention jugées suffisantes ont été prises.

REFERENCES

----- Les profils de postes. Méthode d'analyse des conditions de travail de la Régie Nationale des Usines Renault. Masson, Paris pp. 98, 1979.

AATOLA S.A., FÄRKKILÄ M., PYYKKÖ I. et al., Vibration perception threshold of forest worker's finger during temporary obstructed blood circulation. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 62, 451-453, 1990.

AHONEN M., LAUNIS M., KUORINKA T. (eds) Ergonomic workplace analysis. Ergonomics Section, Finnish Institute of Occupational Health, 1989.

ASHBURY F.D., Occupational repetitive strain injuries and gender in Ontario 1986-1991. *J. Occup. Environ. Med.* 37, 4, 479-485, 1995.

BANISTER P.A., SMITH F.V., Vibration-induced white fingers and manipulative dexterity. *Brit. J. Industr. Med.* 29, 264-267, 1972.

BELL-KROTOSKI J.A., Light touch-deep pressure testing using Semmes-Weinstein monofilaments In: HUNTER J.M., SCHNEIDER L.H., MACKIN E.J., CALLAHAN A.D. (eds) Rehabilitation of the hand: surgery & therapy. The C.V. Mosby Co, St. Louis 585-593, 1990.

BERNARD B.P. (ed.), Musculoskeletal disorders (MSDs) and workplace factors. NIOSH, 1997.

BLEECKER M.L., AGNEW J., New techniques for the diagnosis of carpal tunnel syndrome. Scand. J. Work Environm. Health 13, 385-388, 1987.

BOVENZI M., Medical aspects of the hand-arm vibration syndrome. Int. J. Indust. Erg. 6, 61-73, 1990.

BOVENZI M., FIORITO A., VOLPE C., Bone and joint disorders in the upper extremities of chipping and grinding operators. Int. Arch. Occup. Environ. Health 59, 189-198, 1987.

BOVENZI M., ZADINI A., FRANZINELLI A. et al., Occupational musculoskeletal disorders in the neck and upper limbs of forestry workers exposed to hand-arm vibration. Ergonomics 34, 5, 547-562, 1991.

BOVENZI M., CERRI S., MERSEBURGER A. et al., Hand-arm vibration syndrome and dose-response relation for vibration induced white finger among quarry drillers and stonecarvers. Occupational and Environmental Medicine 51, 603-611, 1994.

BOVENZI M., FRANZINELLI A., MANCINI R. et al., Dose-response relation for vascular disorders induced by vibration in the fingers of forestry workers. Occupational and Environmental Medicine 52, 722-730, 1995.

BOVENZI M., GRIFFIN M.J., Haemodynamic changes in ipsilateral and controlateral fingers caused by acute exposures to hand transmitted vibration. Occupational and Environmental Medicine 54, 566-576, 1997.

BRAMMER A.J., Modèle pour l'apparition des doigts blancs pendant l'exposition des mains aux vibrations des tronçonneuses. Archives des Maladies Professionnelles 45, 5, 315-322, 1984.

BRAMMER A.J., PIERCY J.E., AUGER P.L., Assessment of impaired tactile sensation: a pilot study. Scand. J. Work Environm. Health 13, 380-384, 1987.

BRAMMER A.J., PYYKKÖ I., Vibration-induced neuropathy. Scand. J. Work Environm. Health 13, 317-322, 1987.

BREZINOVA V., QUINTON D.N., Response to cold and abnormalities of nerve conduction velocity in hand-arm vibration syndrome. Brit. J. Industr. Med. 48, 353-354, 1991.

BRUBAKER R.L., MACKENZIE C.J.G., HERTZMAN C. et al., Longitudinal study of vibration-induced white finger among coastal fallers in British Columbia. Scand. J. Work Environm. Health 13, 305-308, 1987.

- BUCKLE P.W., Work related upper limb syndrome. *British Medical Journal* pp. 11, 1997.
- BURDORF A., MONSTER A., Exposure to vibration and self-reported health complaints of riveters in the aircraft industry. *Ann. Occup. Hyg.* 35, 3, 287-298, 1991.
- BURKE M.J., FEAR E.C., WRIGHT V., Bone and joint changes in pneumatic drillers. *Annals of the Rheumatic Diseases* 36, 276-279, 1977.
- CALLAHAN A.D., Sensibility testing: clinical methods In: HUNTER J.M., SCHNEIDER L.H., MACKIN E.J., CALLAHAN A.D. (eds) *Rehabilitation of the hand: surgery and therapy*. The C.V. Mosby Co, St. Louis 594-610, 1990.
- CANNON L.J., BERNACKI E.J., WALTER S.D., Personal and occupational factors associated with carpal tunnel syndrome. *J. Occup. Med.* 23, 4, 255-258, 1981.
- CARPENTIER P., DIMITRIOU R., PUECH A.M., et al., Mode de dépistage objectif des troubles vasculaires périphériques chez les sujets exposés à la fabrication de chlorure de vinyle. *Arch. Mal. Prof.* 45, 298, 1984.
- CLARIJS J.P., VAN ROY P., ZINZEN E., et al., Plaintes au niveau de la colonne vertébrale chez le personnel infirmier: recherche préventive, épidémiologique, anthropométrique et ergonomique. *Rapport final SSTC*, 1995.
- COCK N., MASSET D., Le diagnostic précoce de troubles musculosquelettiques du membre supérieur en médecine du travail. *Cahiers de Médecine du Travail* XXXI, 2, 93-100, 1994.
- COOK T.M., ROSECRANCE J.C., BROKMAN S.J. et al., Reliability of a digital electroneurometer for the determination of motor latency of the median nerve. *Journal of Occupational Rehabilitation* 1, 2, 105-112, 1991.
- COOPER C., BAKER P.D., Upper limb disorders. *Occupational Medicine* 46, 6, 435-437, 1996.
- DELAVIGNETTE J.P., MALCHAIRE J., HUBERLANT J.M., Conditions ergonomiques d'utilisation des machines vibrantes. VIème programme ergonomique CECA. *Rapport final de la Recherche 7250-13-015*, pp. 95, 1993.
- DELLON A.L., Evaluation of sensibility and re-education of sensation in the hand. *Williams & Wilkins*, Baltimore/London 141-167, 1981.
- DESROSIERS J., HÉBERT R., BRAVO G. et al., The Purdue Pegboard test: normative data for people aged 60 and over. *Disability and Rehabilitation* 17, 5, 217-224, 1995.
- DURNIL W.G., ROSECRANCE J.C., COOK T.M., Reliability of distal sensory latency measures of the median nerve using an electroneurometer. *Journal of Occupational Rehabilitation* 3, 2, 105-112, 1993.

EKENVALL L., NILSSON B.Y., GUSTAVSSON P., Temperature and vibration thresholds in vibration syndrome. *Brit. J. Industr. Med.* 43, 825-829, 1986.

EKENVALL L., GEMNE G., TEGNER R., Correspondence between neurological symptoms and outcome of quantitative sensory testing in the hand-arm vibration syndrome. *Brit. J. Industr. Med.* 46, 570-574, 1989.

ENGLISH C.J., MACLAREN W.M., COURT-BROWN C. et al., Relations between upper limb soft tissue disorders and repetitive movements at work. *Am. J. Ind. Med.* 27, 75-90, 1995.

ERDIL M., DICKERSON O.B., GLACKIN E., Cumulative trauma disorders of the upper extremity In: ZENZ C., DICKERSON O.B., HORVATH E.P. (eds) *Occupational Medicine*. Mosby, St. Louis 48-64, 1994.

FÄRKKILÄ M., Grip force in vibration disease. *Scand. J. Work Environm. Health* 4, 159-166, 1978.

FÄRKKILÄ M., PYYKKÖ I., KORHONEN O. et al., Vibration-induced decrease in the muscle force in lumberjacks. *Eur. J. of Appl. Physiol.* 43, 1-9, 1980.

FÄRKKILÄ M., AATOLA S., STARCK J. et al., Hand-grip force in lumberjacks: two-year follow-up. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 58, 203-208, 1986.

FÄRKKILÄ M., PYYKKÖ I., JÄNTTI V. et al., Forestry workers exposed to vibration: a neurological study. *Brit. J. Industr. Med.* 45, 188-192, 1988.

FLEISHMAN E.A., ELLISON G.D., A factor analysis of fine manipulative tests. *Journal of Applied Psychology* 46, 2, 96-105, 1962.

FUTATSUKA F., PYYKKÖ I., FÄRKKILÄ M. et al. Blood pressure, flow and peripheral resistance of digital arteries in vibration syndrome. *Br. J. Ind. Med.* 40, 434-441, 1983.

GELBERMAN R.H., SZABO R.M., WILLIAMSON R.V. et al., Sensibility testing in peripheral-nerve compression syndromes. *J. Bone Joint Surg.* 65-a, 5, 632-638, 1983.

GELLMAN H., GELBERMAN R.H., TAN A.M. et al., Carpal tunnel syndrome. *J. Bone Joint Surg.* 68-A, 5, 735-737, 1986.

GEMNE G., Pathophysiology and multifactorial etiology of acquired vasospastic disease (Raynaud syndrome) in vibration-exposed workers. *Scand. J. Work Environm. Health* 8, 243-249, 1982.

GEMNE G., Diagnostics of hand-arm system disorders in workers who use vibrating tools. *Occupational and Environmental Medicine* 54, 90-95, 1997.

GEMNE G., PYYKKÖ I., TAYLOR W. et al., The Stockholm workshop scale for the classification of cold-induced Raynaud's phenomenon in the hand-arm vibration syndrome (revision of the Taylor-Pelmeur scale). *Scand. J. Work Environm. Health* 13, 275-278, 1987.

GEMNE G., SARASTE H., Bone and joint pathology in workers using hand-held vibrating tools. *Scand. J. Work Environm. Health* 13, 290-300, 1987.

GEMNE G., LUNDSTRÖM R., HANSSON J.-E., Disorders induced by work with hand-held vibrating tools. *Arbete och Hals* 6, 1-83, 1993.

GERR F., LETZ R., HARRIS-ABBOTT D. et al., Sensitivity and specificity of vibrometry for detection of carpal tunnel syndrome. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 37, 9, 1108-1115, 1995.

GOMES FERREIRA M.L., L'exposition aux vibrations lors de l'utilisation des meuleuses. Mémoire de Licence en Ergonomie, Université catholique de Louvain pp. 129, 1993.

GRIFFIN M. J., Handbook of human vibration. Academic Press pp. 988, 1990.

GRIFFIN M. J., Measurement, evaluation, and assessment of occupational exposures to hand-transmitted vibration. *Occupational and Environmental Medicine* 54, 73-89, 1997.

GRUNERT B.K., WERTSCH J.J., MATLOUB H.S. et al., Reliability of sensory threshold measurement using a digital vibrogram. *J. Occup. Med.* 32, 2, 100-102, 1990.

GUYTON A.C., Neurophysiologie. Masson pp. 357, 1984.

HAGBERG M., SILVERSTEIN B., WELLS R. et al., Work related musculoskeletal disorders (WMSDs). A reference book for prevention. Taylor & Francis pp. 421, 1995.

HAINES T., CHONG J.P., Peripheral neurological assessment methods for workers exposed to hand-arm vibration. *Scand. J. Work Environm. Health* 13, 370-374, 1987.

HAMILTON A., A study of spastic anemia in the hands of stonecutters. *Industrial Accidents and Hygiene Series Bulletin* 236, 19, 169-182, 1918.

HAMMARSKJÖLD E., HARMS-RINGDAHL K., EKHOLM J. et al., Effect of short-time vibration exposure on work movements with carpenters' hand tools. *Int. J. Indust. Erg.* 8, 125-134, 1991.

HARADA N., Esthesiometry, nail compression and other function tests used in Japan for evaluating the hand-arm vibration syndrome. *Scand. J. Work Environm. Health* 13, 330-333, 1987.

HARADA N., NAKAMOTO M., KOHNO H., et al., Hormonal responses, hand arm vibrations. Kanazawa, Japan Kyoci Press Co 267-272, 1990.

HILZ M.J., ZIMMERMANN P., CLAUS D. et al., Thermal threshold determination in alcoholic polyneuropathy: an improvement of diagnosis. *Acta Neurol. Scand.* 91, 389-393, 1995.

HIROSAWA I., NISHIYAMA K., WATANABE S., Temporary threshold shift of temperature sensation caused by vibration exposure. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 63, 531-535, 1992.

HIROSAWA I., WATANABE S., FUKUCHI Y. et al., Availability of temperature sense indices for diagnosis of vibration disease. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 52, 215-222, 1983.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 5349: Mechanical vibration: Guidelines for the measurement and the assessment of human exposure to hand-transmitted vibration. May 1986.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO/CD 13091, Measurement and interpretation of vibrotactile perception thresholds at the fingertips for the assessment of sensory nerve function. November 1995.

JOHANSSON R.S., VALLBO A.B., WESTLING G., Thresholds of mechanosensitive afferents in the human hand as measured with von Frey hairs. *Brain Research* 184, 343-351, 1980a.

JOHANSSON R.S., VALLBO A.B., Spatial properties of the population of mechanoreceptive units in the glabrous skin of the human hand. *Brain Research* 184, 353-366, 1980b.

JOHANSSON R.S., VALLBO A.B., Tactile sensory coding in the glabrous skin of the human hand. *TINS* 27-32, 1983.

JUNTUNEN J., MATIKAINEN E., SEPPÄLÄINEN A.M. et al., Peripheral neuropathy and vibration syndrome. A clinical and neurophysiological study of 103 patients. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 52, 17-24, 1983.

KAKOSY T., Tunnel syndromes of the upper extremities in workers using hand-operated vibrating tools. *Med. Lav.* 85, 6, 474-480, 1994.

KENSHALO D.R., Somesthetic sensitivity in young and elderly humans. *J. of Gerontology* 41, 6, 732-742, 1986.

KILBOM A., Repetitive work of the upper extremity: Part II – The scientific basis (knowledge base) for the guide. *Int. J. Indust. Erg.* 14, 5-86, 1994.

KORIS M., GELBERMAN R.H., DUNCAN K. et al., Carpal tunnel syndrome. Evaluation of a quantitative provocation diagnostic test. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 251, 157-161, 1990.

KOSKIMIES K., PYYKKÖ I., STARK J. et al., Vibration syndrome among Finnish forest workers between 1972 and 1990. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 64, 251-256, 1992.

KROEMER K.H.E., Cumulative trauma disorders: their recognition and ergonomic measures to avoid them. *Applied Ergonomics* 20, 4, 274-280, 1989.

KUMLIN T., WIIKERI M., SUMARI P., Biological changes in carpal and metacarpal bones and phalanges caused by chain saw vibration. *Brit. J. Industr. Med.* 30, 71-73, 1973.

KWANG-YUAN CHANG, SHIEN TSONG HO, HSIN-SU YU, Vibration induced neurophysiological and electron microscopical changes in rat peripheral nerves. *Occupational and Environmental Medicine* 51, 130-135, 1994.

LASFARGUES G., Troubles angioneurotiques d'origine professionnelle. Aspects épidémiologiques et cliniques. *Revue de Médecine du Travail* 1, 5-10, 1992.

LAWSON I.J., NEVELL D.A., Review of objective tests for the hand-arm vibration syndrome. *Occupational Medicine* 47, 1, 15-20, 1997.

LIDSTRÖM M., HAGELTHORN G., BJERKER N., Vibration perception in persons not previously exposed to local vibration and in vibration-exposed workers. In: Brammer & Taylor (eds) *Vibration effects on the hand and arm in industry*. Wiley & Sons, New York pp. 59-66, 1982.

LINDELL C.J., GRIFFIN M.J., Standardised methods for assessing components of the hand-arm vibration syndrome. (en préparation)

LORIGA G., Il lavoro con i martelli pneumatici. *Boll. Ispettorato del Lavoro*, 2, 35-60 (The use of pneumatic hammers. *Occup. Health in Ontario* 3, 157-161, 1911. Cité par Griffin, 1990).

LUNDBORG G., LIE-STENSTRAN A. K., SOLLERMAN C. et al., Digital vibrogram: a new diagnostic tool for sensory testing in compression neuropathy. *J. Hand Surgery* 11a, 693-699, 1986.

LUNDBORG G., SOLLERMAN C., STRÖMBERG T. et al., A new principle for assessing vibrotactile sense in vibration-induced neuropathy. *Scand. J. Work Environm. Health* 13, 375-379, 1987.

LUNDBORG G., DAHLIN L.B., DANIELSEN N. et al., Vibrations exposure and nerve fibre damage. *J. Hand Surg.* 15A, 346-351, 1990.

LUNDSTRÖM R., Response of mechanoreceptive afferent units in the glabrous skin of the human hand to vibration. *Scand. J. Work Environm. Health* 12, 413-416, 1986.

LUNDSTRÖM R., JOHANSSON R.S., Acute impairment of the sensitivity of skin mechanoreceptive units caused by vibration exposure of the hand. *Ergonomics* 29, 5, 687-698, 1986.

LUNDSTRÖM R., STRÖMBERG T., LUNDBORG G., Vibrotactile perception threshold measurements for the diagnosis of sensory neuropathy. Description of a reference population. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 64, 201-207, 1992.

LUOPAJÄRVI T., KUORINKA I., VIROLAINEN M. et al., Prevalence of tenosynovitis and other injuries of the upper extremities in repetitive work. *Scand. J. Work Environm. Health* 3, 48-55, 1979.

MAEDA S., GRIFFIN M.J., Temporary threshold shifts in fingertip vibratory sensation from hand-transmitted vibration and repetitive shock. *Brit. J. Industr. Med.* 50, 360-367, 1993.

MALCHAIRE J., Pathologie musculosquelettique du membre supérieur. Rapport final. SSTC pp. 147, 1995.

MALCHAIRE J., MALDAGUE B., HUBERLANT M. et al., Bone and joint changes in the wrists and elbows and their association with hand and arm vibration exposure. *Ann. occup. Hyg.* 30, 4, 461-468, 1986.

MALCHAIRE J., Notes de cours, Ergonomie, année académique 1997-1998.

MALCHAIRE J., INDESTEEGE B. Troubles musculosquelettiques - analyse du risque, Bruxelles, INRCT pp. 122, 1997.

MARSHALL A.J., ROBERTS C.J., BARITT D.W., Raynaud's phenomenon as side effect of beta-blockers in hypertension. *British Medical Journal* 1, 1498-1499, 1976.

MARGOLIS W., KRAUS J.F., The prevalence of carpal tunnel syndrome symptoms in female supermarket checkers. *J. Occup. Med.* 29, 12, 953-956, 1987.

MARRAS W.S., SCHOENMARKLIN R.W., Wrist motions in industry. *Ergonomics* 36, 4, 341-351, 1993.

MARTIN B.J., ROLL J.P., DI RENZO N., The interaction of hand vibration with oculo-manual coordination in pursuit tracking. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 145-152, 1991.

MATHIOWETZ V., Grip and pinch strength measurements. In: Amundsen L.R. (ed) *Muscle strength testing. Instrumented and non-instrumented systems.* Churchill Livingstone, New York 163-177, 1990.

MCGEEOCH K.L., GILMOUR W.H., TAYLOR W., Sensorineural objective tests in the assessment of hand-arm vibration syndrome. *Occupational and Environmental Medicine* 51, 57-61; 1994.

MIRBOD S.M., YOSHIDA H., JAMALI M. et al., Assessment of hand-arm vibration exposure among traffic police motorcyclists. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 70, 22-28, 1997.

MOORE J.S., GARG A., Upper extremity disorders in a pork processing plant: relationships between job risk factors and morbidity. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 55, 8, 703-715, 1994.

MOORE J.S., GARG A., The strain index: a proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 56, 443-458, 1995.

MURATA K., ARAKI S., MAEDA K., Autonomic and peripheral nervous system dysfunction in workers exposed to hand-arm vibration: a study of R-R interval variability and distribution of nerve conduction velocities. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 63, 205-211, 1991.

NATHAN P.A., KENISTON R.C., MYERS L.D. et al., Longitudinal study of median nerve sensory conduction in industry: relationship to age, gender, hand dominance, occupational hand use, and clinical diagnosis. *J. Hand Surgery* 17a, 850-857, 1992.

NATHAN P.A., Predictive value of nerve conduction studies. *Occupational and Environmental Medicine* 54, 765-768, 1997.

NILSSON T., BURSTROM L., HAGBERG M., Risk assessment of vibration exposure and white fingers among platers. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 61, 473-481, 1989.

NILSSON T., HAGBERG M., BURSTRÖM L. et al., Impaired nerve conduction in the carpal tunnel of platers and truck assemblers exposed to hand-arm vibration. *Scand. J. Work Environm. Health* 20, 189-199, 1994.

PELMEAR P.L., TAYLOR W., Hand-arm vibration syndrome: clinical evaluation and prevention. *J. Occup. Med.* 33, 11, 1144-1149, 1991.

PELMEAR P.L., TAYLOR W., WASSERMAN D.E., Hand-arm vibration. A comprehensive guide for occupational health professionals. Van Nostrand Reinhold, New York pp. 226, 1992.

PICHENÉ A., Quantification des facteurs de risque biomécaniques du syndrome du canal carpien. INRS, France, NS 0130 pp. 201, 1995.

PUJOL M., Pathologie professionnelle d'hypersollicitation. Atteinte périarticulaire du membre supérieur. Masson, Paris pp. 168, 1993.

PUTZ-ANDERSON V., Cumulative trauma disorders - A manual for musculoskeletal diseases of the upper limbs. Taylor & Francis, London pp. 149, 1988.

PYYKKÖ I., Clinical aspects of the hand-arm vibration syndrome. *Scand. J. Work Environm. Health* 12, 439-447, 1986.

PYYKKÖ I., KOSKIMIES K., STARCK J. et al., Risk factors in the genesis of sensorineural hearing loss in Finnish forestry workers. *Brit. J. Industr. Med.* 46, 439-446, 1989.

RADWIN R.G., ARMSTRONG T.J., Assessment of hand vibration exposure on an assembly line. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 46, 4, 211-219, 1985.

RADWIN R.G., ARMSTRONG T.J., CHAFFIN D.B., Power hand tool vibration effects on grip exertions. *Ergonomics* 30, 5, 833-855, 1987.

REMPEL D.M., HARRISON R.J., BARNHART S., Work-related cumulative trauma disorders of the upper extremity. *Journal of the American Medical Association* 267, 6, 838-842, 1992.

RICCI P.T., Possible interaction between vibration thresholds by sex and motor dominance in the index finger and big toe. *Perceptual and Motor Skills* 85, 1091-1098, 1997.

ROSECRANCE J.C., COOK T.M., SATRE D.L. et al., Vibration sensibility testing in the workplace day-to-day reliability. *J. Occup. Med.* 36, 9, 1032-1037, 1994.

SAKAKIBARA H., KONDO T-A., MIYAO M. et al., Digital nerve conduction velocity as a sensitive indication of peripheral neuropathy in vibration syndrome. *Am. J. Ind. Med.* 26, 359-366, 1994.

SAKAKIBARA H., HIRATA M., HASHIGUCHI T. et al., Digital sensory nerve conduction velocity and vibration perception threshold in peripheral neurological test for hand-arm vibration syndrome. *Am. J. Ind. Med.* 30, 219-224, 1996.

SCHADY W., SHEARD A., HASSELL A. et al., Peripheral nerve dysfunction in scleroderma. *Quarterly Journal of Medicine, New series* 80, 292, 661-675, 1991.

SILVERSTEIN B., The use of checklists for upper limb risk assessment. *Proceedings of the 13th Triennial Congress of the International Ergonomics Association, Tampere, Finland* 109-111, 1997.

SILVERSTEIN B.A., FINE L.J., ARMSTRONG T.J., Hand wrist cumulative trauma disorders in industry. *Brit. J. Indust. Med.* 43, 779-784, 1986.

SILVERSTEIN B.A., FINE L.J., ARMSTRONG T.J., Occupational factors and carpal tunnel syndrome. *Am. J. Ind. Med.* 11, 343-358, 1987.

STEINBERG D.R., GELBERMAN R.H., RYDEVIK B. et al., The utility of portable nerve conduction testing for patients with carpal tunnel syndrome: a prospective clinical study. *J. Hand Surgery* 17, 1, 77-81, 1992.

STOCK S.R., Workplace ergonomic factors and the development of musculoskeletal disorders of the neck and upper limbs: a meta-analysis. *Am. J. Ind. Med.* 19, 87-107, 1991.

STOCKSTILL J.W., HARN S.D., STRICKLAND D., Prevalence of upper extremity neuropathy in a clinical dentist population. *J.A.D.A.* 124, 67-72, 1993.

SZABO R.M., GELBERMAN R.H., WILLIAMSON R.V. et al., Vibratory sensory testing in acute peripheral nerve compression. *J. Hand Surgery* 9a, 1, 104-109, 1984.

TAKAMATSU M., FUTATSUKA M., SAKURAI T. et al., Risques liés aux vibrations transmises à une partie du corps. Etude de la situation au Japon. *Industrial Health* 20, 177-190, 1982.

TANAKA S., MCGLOTHLIN J.D., A conceptual quantitative model for prevention of work-related carpal tunnel syndrome (CTS). *Int. J. Indust. Erg.* 11, 181-193, 1993.

TANAKA S., WILD D.K., SELIGMAN P.J. et al., Prevalence and work-relatedness of self-reported carpal tunnel syndrome among U.S. workers: Analysis of the occupational health supplement data of 1988 national health interview survey. *Am. J. Ind. Med.* 27, 451-470, 1995.

TAYLOR W., PEARSON J., KELL R.L. et al., Vibration syndrome in forestry commission chain saw operators. *Brit. J. Industr. Med.* 28, 83-89, 1971.

TYLER L.E., LAWSON I.J., AW T.C. et al., Hand-transmitted vibration: clinical effects and pathophysiology. Part 1: Report of a working party. The Royal College of Physicians of London pp. 47, 1993.

VIKARI-JUNTURA E., Neck and upper limb disorders among slaughterhouse workers. *Scand. J. Work Environm. Health* 9, 283-290, 1983.

VIROKANNAS H., Dose-response relation between exposure to two types of hand-arm vibration and sensorineural perception of vibration. *Occupational and Environmental Medicine* 52, 332-336, 1995.

WEBSTER B.S., SNOOK S.H., The cost of compensable upper extremity cumulative trauma disorders. *J. Occup. Med.* 36, 7, 713-717, 1994.

WENEMARK M., LUNDSTRÖM R., HAGBERG M. et al., Vibrotactile perception thresholds as determined by two different devices in a working population. *Scand. J. Work Environm. Health* 22, 204-210, 1996.

WIESLANDER G., NORBÄCK D., EDLING C., Local cold exposure of the hands from cryosectioning work in histopathological and toxicological laboratories. Signs and symptoms of peripheral neuropathy and Raynaud's phenomenon. *Occup. Environ. Med.* 53, 276-280, 1996.

YEUDALL L.T., Normative data stratified by age and sex for 12 neuropsychological tests. *J. Clin. Psychol* 42, 6, 918-946, 1986.

YOUNG V.L., SEATON M.K., FEELY C.A. et al., Detecting cumulative trauma disorders in workers performing repetitive tasks. *Am. J. Ind. Med.* 27, 419-431, 1995.