



**HAL**  
open science

# Étude de la co-exposition aux contraintes physiques et aux produits chimiques neurotoxiques chez les salariés des Pays de la Loire

Audrey Petit, D. Dupas, P. Harry, A. Nicolas, Yves Roquelaure

► **To cite this version:**

Audrey Petit, D. Dupas, P. Harry, A. Nicolas, Yves Roquelaure. Étude de la co-exposition aux contraintes physiques et aux produits chimiques neurotoxiques chez les salariés des Pays de la Loire. Archives des Maladies Professionnelles et de L'Environnement, 2014, 75 (4), pp.396-405. 10.1016/j.admp.2014.01.007 . hal-03391130

**HAL Id: hal-03391130**

**<https://univ-angers.hal.science/hal-03391130>**

Submitted on 21 Oct 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Reçu le :  
28 octobre 2013  
Accepté le :  
14 janvier 2014



# Étude de la co-exposition aux contraintes physiques et aux produits chimiques neurotoxiques chez les salariés des Pays de la Loire

Study of co-exposure to physical load and neurotoxic chemicals among Pays de la Loire's employees

A. Petit<sup>a,\*</sup>, D. Dupas<sup>c</sup>, P. Harry<sup>d</sup>, A. Nicolas<sup>e</sup>, Y. Roquelaure<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Centre de consultation de pathologie professionnelle, CHU d'Angers, 4, rue Larrey, 49933 Angers cedex 9, France

<sup>b</sup> Laboratoire d'épidémiologie et d'étude en santé au travail (LEEST), LUNAM, faculté de médecine d'Angers, université d'Angers, Angers, France

<sup>c</sup> Centre de consultation de pathologie professionnelle, CHU de Nantes, Nantes, France

<sup>d</sup> Centre anti-poison, CHU d'Angers, Angers, France

<sup>e</sup> Laboratoire de toxicologie et biotoxicologie (Toxilabo), Nantes, France

Disponible en ligne sur

**ScienceDirect**  
www.sciencedirect.com

## Summary

In many working environments, employees face important biomechanical constraints, heavy physical demands and/or shift work. However, epidemiological surveillance has rarely addressed the issue of co-exposure to neurotoxic chemicals and biomechanical risk factors for musculoskeletal disorders that may affect peripheral nerves. Data from the regional sample of the SUMER 2003 survey were used to study these professional co-exposure phenomena in the Pays de la Loire region. After raking ratio adjustment of the regional survey data (i.e. 916,361 employees after extrapolation), descriptive analyses were carried out separately for men and women and showed that 43% of men and 27% of women were exposed to repetitive tasks and/or vibrating tools and/or cold environment, and 30% of men and 5% of women were exposed to at least one neurotoxic chemical. In men, co-exposure to neurotoxic chemicals and biomechanical constraints was common, especially in the construction and metal processing sectors. This study shows that co-exposure to biomechanical and chemical factors which may cause peripheral neuropathies focuses on the same occupational categories.

© 2014 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

**Keywords:** Peripheral neuropathies, Neurotoxic chemicals, Musculoskeletal disorders, Biomechanical factors

## Résumé

Dans un grand nombre d'environnements de travail, les salariés sont confrontés à des contraintes biomécaniques marquées, à un environnement physique agressif et/ou à des rythmes de travail. Cependant, la surveillance épidémiologique s'est rarement intéressée à la question de la co-exposition à des agents chimiques neurotoxiques et à des facteurs de risque biomécaniques de troubles musculosquelettiques susceptibles d'altérer les nerfs périphériques. Les données de l'échantillon régional de l'enquête SUMER 2003 ont été utilisées pour étudier ces phénomènes de co-expositions professionnelles dans la région des Pays de la Loire. Après calage sur marge des données régionales de l'enquête (soit 916 361 salariés après extrapolation), les analyses descriptives, effectuées séparément chez les hommes et les femmes, ont montré que 43 % des hommes et 27 % des femmes étaient exposés à des gestes répétitifs et/ou des outils vibrants et/ou le travail au froid, et que 30 % des hommes et 5 % des femmes étaient exposés à au moins un produit chimique neurotoxique. Chez les hommes, la co-exposition à des produits neurotoxiques et à des contraintes biomécaniques était fréquente, notamment pour les ouvriers du bâtiment et de la transformation des métaux. Cette étude montre que la co-exposition à des facteurs biomécaniques et chimiques susceptibles d'entraîner des neuropathies périphériques se concentre sur les mêmes catégories professionnelles.

© 2014 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

**Mots clés :** Neuropathies périphériques, Produits chimiques neurotoxiques, Troubles musculosquelettiques, Facteurs biomécaniques

\* Auteur correspondant.

e-mail : aupetit@chu-angers.fr (A. Petit).

## Introduction

Dans un grand nombre d'environnements de travail, les salariés sont confrontés à des expositions multiples, qu'il s'agisse de l'exposition à plusieurs agents chimiques, de l'association d'un facteur physique avec une ou plusieurs substances, ou encore de l'exposition à un facteur physique ou chimique, au cours d'une activité physiquement éprouvante [1].

Dans la littérature, la majorité des atteintes du système nerveux périphérique est attribuée à des facteurs d'hyper-sollicitation des membres qui entraînent des tableaux de mononeuropathies tronculaires (syndromes canaux). D'autres contraintes physiques telles que l'exposition aux vibrations ou au froid sont également pourvoyeuses d'atteintes neurologiques périphériques des membres [2–5]. Parmi les agents chimiques rencontrés en milieu professionnel, un certain nombre d'entre eux a des propriétés dites « neurotoxiques », susceptibles d'entraîner plus volontiers des lésions neurologiques diffuses à type de polyneuropathies [6,7]. Peu d'atteintes neurologiques périphériques sont attribuées à des facteurs chimiques ou biologiques, mais leur prévalence est sans doute sous-estimée en raison de leur manque de spécificité et de la difficulté à caractériser et documenter l'exposition complexe des travailleurs à des mélanges de solvants organiques, de produits phytosanitaires et/ou de poussières de métaux lourds [8]. Cependant, il a été montré que les neuropathies professionnelles pouvaient être liées à l'exposition à des composants organiques ou inorganiques, notamment à l'acrylamide, l'arsenic, le n-hexane, le perchloroéthylène, le tétrahydrofurane et les insecticides [6]. D'après l'enquête SUMER 2003, le produit chimique neurotoxique le plus souvent rencontré au niveau national est le trichloréthylène, principalement utilisé pour le dégraissage des pièces métalliques dans les industries de l'automobile et des métaux. Plus de 153 000 salariés y étaient exposés en 2003 [9].

La surveillance épidémiologique s'est rarement intéressée à la question de la co-exposition à des agents chimiques neurotoxiques et à des facteurs de risque biomécaniques de troubles musculosquelettiques (TMS) qui pourrait favoriser la survenue d'atteintes neurologiques périphériques par hyper-sollicitation biomécanique de nerfs fragilisés par des expositions à des produits neurotoxiques.

En prenant l'exemple des ouvriers du bâtiment et des travaux publics pour qui les expositions à des contraintes physiques et à des produits chimiques sont importantes [10], il est probable que le cumul des expositions biomécaniques et chimiques se concentre sur les mêmes catégories professionnelles.

À partir des données régionales de l'enquête « SUMER 2003 » en Pays de la Loire (PDL) [11], cette étude avait pour objectifs de décrire les populations salariées exposées aux facteurs de risque biomécaniques de TMS et aux produits chimiques neurotoxiques, ainsi qu'au cumul de ces deux types de facteurs de risque.

## Matériel et méthode

Les données analysées dans ce travail ont été extraites de l'enquête nationale de Surveillance médicale des risques professionnels (SUMER) réalisée en 2002–2003, lancée et gérée conjointement par l'Inspection médicale du travail et la Direction de l'animation de la recherche, des études et des statistiques (DARES). Cette enquête visait à établir une cartographie des expositions professionnelles. C'est la seconde enquête réalisée selon la même méthodologie. Seules les données régionales concernant les salariés des PDL seront présentées ici.

### Enquête SUMER 2003

Il s'agit d'une enquête transversale qui fournit une évaluation des expositions professionnelles des salariés, de la durée de ces expositions et des protections collectives ou individuelles éventuelles mises à disposition. Les salariés ont été interrogés par leur médecin du travail qui, pour l'occasion, faisait office d'enquêteur sur leur activité professionnelle. Un auto-questionnaire a été proposé à un salarié enquêté sur deux. Les médecins du travail volontaires ont tiré au sort, de façon aléatoire, les personnes à enquêter parmi les salariés qu'ils voyaient en visite périodique. Le taux de sondage moyen était de 1 sur 14. On comptait en moyenne 32 questionnaires par médecin enquêteur. Un échantillon représentatif de salariés a ainsi été tiré au sort par un sondage à deux degrés : les médecins du travail ; les salariés surveillés par les médecins.

### Population

L'enquête a couvert l'ensemble des salariés surveillés par la Médecine du travail du Régime Général et de la Mutualité Sociale Agricole (MSA), des hôpitaux publics, d'EDF-GDF, de La Poste, de la SNCF et d'Air France. Elle n'a cependant pas couvert les fonctions publiques d'État et territoriales, une partie des transports (régies urbaines et transport par eau), les mines, la pêche, France Télécom... À l'échelle nationale, 1792 médecins du travail ont interrogé 56 345 salariés dont 49 984 ont répondu. L'exploitation statistique a porté sur 49 984 questionnaires validés. Il y a eu 6330 refus ou impossibilités de répondre à l'enquête.

### Questionnaire

L'enquête a été réalisée grâce à un questionnaire en deux parties : le questionnaire principal a fourni des informations sur le salarié (sexe, âge, statut de l'emploi, profession exercée, tâche principale, fonction principale et position professionnelle) et sur l'établissement qui l'employait (secteur d'activité, effectif de salariés, existence d'un CHSCT, de normes ISO, d'un accord sur l'aménagement et la réduction du temps de travail [ARTT]). Dans une deuxième partie, le médecin du travail faisait le relevé des expositions que subissait le salarié à partir d'une liste de plus de 200 situations de travail, classées

en quatre catégories : contraintes organisationnelles, nuisances physiques, expositions aux agents biologiques et aux agents chimiques (*annexes 1 et 2*). Le questionnaire interrogeait la présence ou non d'une exposition, sa durée, son intensité, la présence éventuelle d'équipements de protection individuelle et/ou collective. Le questionnement portait sur la dernière semaine travaillée.

Le guide de collectes demandait aux médecins enquêteurs d'évaluer « une exposition aux agents chimiques » dont la plus petite durée et intensité proposées étaient de « moins de 2 heures » et « très faible, à peine supérieure à la population générale ».

### Données étudiées

Les données relatives aux caractéristiques socio-professionnelles et démographiques des salariés (selon la nomenclature PCS de 1982 de l'INSEE regroupée en 133 postes) et l'activité économique de l'établissement dans lequel ils travaillaient (selon la classification NES 16 établie par l'INSEE en 1993) ont été étudiées. L'activité de l'établissement employeur a été codée à l'aide de la nomenclature 2003 des activités françaises. Les effectifs et les pourcentages d'exposition des salariés ont été classés selon la nomenclature des familles professionnelles FAP-2003, en 86 familles professionnelles regroupées.

Seules les contraintes biomécaniques connues comme étant des facteurs de risque de TMS des membres supérieurs ont été retenues parmi les items de la partie « ambiances et contraintes physiques » du questionnaire (*annexe 1*), à savoir la manutention manuelle de charges, les contraintes posturales et articulaires et le travail avec machine et outils vibrants. Concernant les produits chimiques neurotoxiques, les produits retenus, parmi ceux figurant dans le questionnaire « Exposition à des agents chimiques » (*annexe 2*) étaient les suivants : white-spirit et autres solvants, toluène, méthanol, plomb et dérivés, trichloréthylène, résines polyesters, fongicides, herbicides chlorure de méthylène, styrène, autres cétones, autres métaux et dérivés (mercure, vanadium, aluminium, béryllium, etc.), acrylamide, arsenic, n-hexane, perchloroéthylène, tétrahydrofurane, insecticides (organophosphorés et autres).

### Analyses statistiques

Un calage sur marge de l'échantillon régionale a permis l'extrapolation des données de l'enquête SUMER 2003 dans la région des PDL [12]. Une pondération régionale a ainsi été réalisée en prenant en compte cinq critères : le sexe, la classe d'âge, la catégorie socioprofessionnelle, les secteurs d'activités regroupés et la taille de l'établissement. Les populations de référence étaient issues des déclarations annuelles des données sociales des employeurs (DADS), de l'Enquête Emploi et de sources spécifiques pour les grandes entreprises intégrées en 2003 et la MSA.

Une analyse descriptive de la population, des contraintes biomécaniques et des expositions aux produits chimiques neurotoxiques a été effectuée séparément chez les hommes et les femmes. Une analyse de la co-exposition aux contraintes biomécaniques et chimiques a ensuite été réalisée chez les hommes.

Les analyses descriptives ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS 9.1.3 [13]. Les résultats n'ont pas été présentés lorsque les effectifs bruts (i.e. sans tenir compte de la pondération) étaient inférieurs à 10.

## Résultats

L'étude a porté sur 3938 salariés ligériens, soit 916 361 salariés après extrapolation.

### Caractéristiques sociodémographiques de la population

Parmi les salariés inclus dans l'étude, 57,6 % étaient des hommes et 42,4 %, des femmes. L'âge moyen était de 38 ans (16–64 ans). La répartition par tranches d'âges était la suivante : 26,1 % des salariés avaient moins de 30 ans, 29,1 % avaient entre 30 et 40 ans, 26,4 % avaient entre 40 et 50 ans et 18,4 % avaient plus de 50 ans. Sur le plan socioprofessionnel, 27,2 % étaient des ouvriers qualifiés et 16,7 % des ouvriers non qualifiés ou agricoles, soit un total de 43,9 % d'ouvriers. On comptait 25,5 % d'employés (10,9 % d'employés administratifs et 14,6 % de service) ainsi que 21,8 % de professions intermédiaires et 8,8 % de cadres. Cinquante-neuf pour cent des hommes appartenaient à la catégorie des ouvriers (qualifiés ou non) et 50 % des femmes étaient des employés (administratifs et de services). Les salariés étaient en contrat à durée indéterminée (CDI) pour 84,6 % d'entre eux. Les intérimaires, fonctionnaires et contrats à durée déterminée (CDD) (ou emploi saisonnier) représentaient respectivement 4,4 %, 4,0 % et 3,6 % des salariés. Les apprentis ou les salariés en alternance représentaient 2,8 % de la population étudiée et les stagiaires ou contrats mesure emploi étaient très peu représentés (0,7 %). Un peu plus de 83 % des salariés travaillaient à temps complet contre 17 % à temps partiel. Enfin, 39 % des salariés interrogés avaient plus de 10 ans d'ancienneté dans l'établissement, 28,3 % avaient une ancienneté comprise entre 3 et 10 ans, 25,1 % entre 1 et 3 ans et 7,4 % avaient été embauchés depuis moins d'un an. Selon la Nomenclature Économique de Synthèse en 16 postes (NES 16) de l'INSEE, 16,2 % des salariés travaillaient dans le secteur du commerce, 14,9 % dans le secteur des services aux entreprises et 14,0 % dans le secteur « éducation-santé-action sociale ». Ces trois secteurs étaient les plus représentés. À noter que 26,7 % des femmes interrogées travaillent dans le secteur « éducation-santé-action sociale » (*tableau 1*). Les hommes étaient plus représentés dans les secteurs de l'industrie, de l'énergie, de la construction et des transports. En revanche, les femmes

**Tableau I**  
Répartition des hommes et des femmes selon leur secteur d'activité.

Secteurs d'activité <sup>a</sup>	Hommes		Femmes		Total	
	Effectif	%	Effectif	%	Effectif	%
Industries agricoles et alimentaires	32 560	6,2	24 392	6,3	56 952	6,2
Industries des biens de consommation	27 050	5,1	23 215	6,0	50 265	5,5
Industrie automobile	11 518	2,2	3368	0,9	14 886	1,6
Industrie des biens d'équipement mécaniques	51 787	9,8	11 095	2,9	62 882	6,9
Industrie des biens intermédiaires	65 090	12,3	16 568	4,3	81 658	8,9
Énergie	2340	0,4	229	0,1	2569	0,3
Construction	70 836	13,4	5444	1,4	76 280	8,3
Commerce	87 164	16,5	61 362	15,8	148 526	16,2
Transports	32 380	6,1	8245	2,1	40 625	4,4
Activités financières	14 320	2,7	17 325	4,5	31 645	3,5
Activités immobilières	4933	0,9	3759	1,0	8692	1,0
Service aux entreprises	75 524	14,3	61 190	15,8	136 714	14,9
Services aux particuliers	18 329	3,5	30 819	7,9	49 148	5,4
Éducation, santé, action sociale	24 637	4,7	103 487	26,7	128 124	14,0
Administration	9626	1,8	17 769	4,6	27 395	3,0

<sup>a</sup> Selon la Nomenclature Économique de Synthèse de Niveau 1 en 16 postes (NES 16) de l'INSEE.

étaient plus représentées dans les secteurs de l'éducation, de la santé, des actions sociales, de l'administration et des services aux particuliers (tableau I).

Concernant les établissements employeurs, le secteur tertiaire rassemblait 62,3 % d'entre eux, l'industrie 29,4 % et la construction 8,3 %. La taille des établissements était variée et répartie de manière similaire entre les établissements employant moins de 10 salariés, entre 10 et 50 salariés, entre 50 et 200 salariés et plus de 200 salariés.

### Expositions à des facteurs de risque biomécaniques de troubles musculosquelettiques

Près de 78 % des salariés étaient exposés à des contraintes posturales, soit plus de 710 000 salariés, notamment les hommes (80,3 % versus 74,5 %), et 23 % de la population étaient exposés à des mouvements ou gestes répétitifs. Environ 25 % des hommes étaient exposés à des vibrations, soit près de 140 000 salariés (tableau II). Les ouvriers qualifiés (89,9 %) et non qualifiés (97,7 %), ainsi que les employés de service (91,4 %) étaient les catégories socioprofessionnelles les plus exposées à des contraintes posturales.

### Expositions multiples à des contraintes physiques

Prenant en compte les pourcentages d'exposition et les facteurs de risque de TMS des membres supérieurs, les expositions multiples aux trois contraintes physiques suivantes ont été étudiées : (1) répétition d'un même geste ou d'une série de gestes à une cadence élevée, (2) travail avec des machines ou outils vibrants, (3) travail au froid, moins de 15 °C, imposé par le processus de production.

Parmi les trois contraintes physiques retenues, l'exposition à la répétition d'un même geste ou d'une série de gestes avec une cadence élevée était la plus fréquente pour les deux sexes

(23 % de l'ensemble de la population), suivie de l'exposition aux outils vibrants (15 %) (tableau II). À noter que 43 % des hommes et 27 % des femmes étaient exposés à au moins une des trois contraintes physiques étudiées. L'exposition cumulée à au moins deux de ces trois contraintes physiques concernait 11 % des hommes (soit 58 787 hommes) et l'exposition à ces trois contraintes cumulées était quasi inexistante. Parmi les hommes exposés à deux ou trois contraintes physiques (répétitivité, vibration et froid), 60 % d'entre eux étaient des ouvriers qualifiés et un tiers d'entre eux des ouvriers non qualifiés, soit un total de plus de 90 % d'ouvriers. Les professions de ces hommes étaient relativement variées, néanmoins, les plus exposés étaient les ouvriers qualifiés du second œuvre du bâtiment (5456 hommes), les ouvriers qualifiés et non qualifiés du gros œuvre du bâtiment (7124 salariés au total), les ouvriers de production qualifiés du travail des métaux (3182) ainsi que les manutentionnaires et emballeurs non qualifiés (3125).

### Expositions à des produits chimiques

Quarante-deux pour cent des salariés ont été exposés à au moins un produit chimique au cours de la semaine précédant l'enquête, soit 385 723 salariés. Près de 70 % de ces salariés étaient des hommes. Les ouvriers, qualifiés et non qualifiés étaient les plus exposés aux produits chimiques avec un pourcentage d'exposition allant jusqu'à 66,3 % pour les premiers. Les employés administratifs étaient, quant à eux, très peu exposés. Les salariés travaillant dans les domaines de l'industrie et de la construction étaient les plus exposés aux produits chimiques. Ce pourcentage d'exposition est plus élevé chez les hommes, notamment dans le secteur de la construction (72 %). Les femmes les plus souvent exposées à des produits chimiques appartenaient aux secteurs de

**Tableau II**  
**Pourcentage de salariés exposés à différentes contraintes biomécaniques selon le sexe.**

	Hommes		Femmes		Ensemble	
	Effectif	%	Effectif	%	Effectif	%
<i>Contraintes posturales et articulaires</i>	424 218	80,3	289 224	74,5	713 442	77,9
Maintien de bras en l'air	119 321	22,6	51 280	13,2	170 601	18,6
Autres contraintes posturales	170 369	32,3	82 832	21,3	253 201	27,6
Répétition d'un même geste	115 815	21,9	92 317	23,8	208 132	22,7
<i>Travail avec machine et outils vibrants</i>	129 096	24,5	9224	2,4	138 320	15,1
Outils transmettant des vibrations dans les bras	119 165	22,6	5986	1,5	125 151	13,7
Vibrations créées par des installations fixes	15 542	2,9	3239	0,8	18 781	2,1

l'éducation-santé-action sociale, des services aux particuliers et de l'industrie.

### Exposition à des produits chimiques neurotoxiques

Dans l'enquête « SUMER 2003 », 19 produits chimiques neurotoxiques ont été référencés. Il s'agit des produits connus comme pouvant avoir des effets neurotoxiques centraux et/ou périphériques. Le choix des toxiques retenus ne s'est pas limité aux produits ayant un effet neurotoxique périphérique spécifique. Parmi ces 19 produits, sept n'ont pas été présentés ici en raison d'effectifs bruts trop faibles (moins de 10 salariés exposés) ; il s'agit de l'acrylamide, l'arsenic, le n-hexane, le perchloroéthylène, le tétrahydrofurane et les insecticides (organophosphorés et autres) (*annexe 2*). Près de 122 000 salariés, soit 13,3 % de la population salariée ligérienne, étaient exposés à au moins un des produits chimiques neurotoxiques listés dans l'enquête « SUMER 2003 » (20 % des hommes et 5 % des femmes). Les produits les plus fréquemment rencontrés étaient les solvants, dont le white-spirit, avec 6,6 % des salariés exposés, suivis des cétones (3,8 %) (*tableau III*). Parmi les hommes exposés à au moins un produit neurotoxique, les ouvriers étaient les plus représentés, notamment les ouvriers

qualifiés (62 %). Les employés de services et les cadres étaient plus rarement exposés.

### Co-exposition à des contraintes physiques et à des produits neurotoxiques chez les hommes

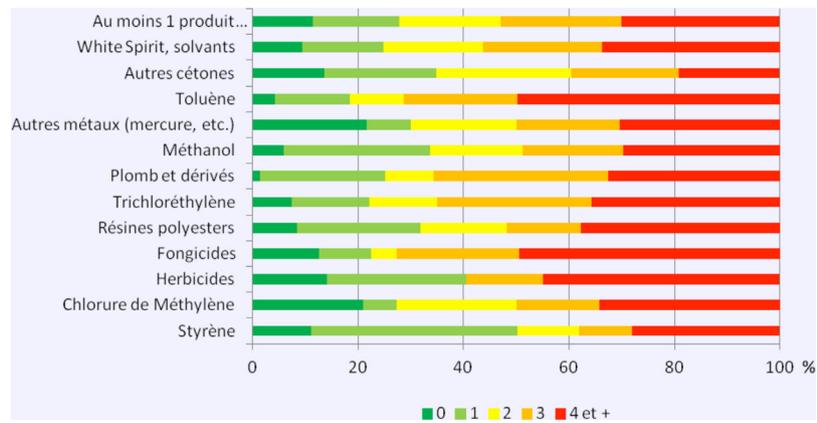
Constatant que les salariés masculins étaient les plus exposés à des contraintes physiques et des produits chimiques neurotoxiques, l'analyse du nombre de contraintes biomécaniques pourvoyeuses de TMS des membres supérieurs subies pour chaque exposition à un produit neurotoxique a été réalisée.

Chez les hommes, l'exposition à un produit neurotoxique était régulièrement associée à la présence d'au moins un facteur de risque biomécanique de TMS. Ainsi, la quasi-totalité des salariés exposés au plomb était également exposée à au moins un facteur de risque biomécanique de TMS. Par ailleurs, près de 50 % des hommes exposés au toluène ou aux fongicides étaient également exposés à quatre ou cinq facteurs de risque de TMS (*fig. 1*). Le pourcentage d'hommes exposés à au moins un produit neurotoxique ou au moins un facteur de risque biomécanique de TMS des membres supérieurs était proche de 68 %. Les expositions multiples aux produits

**Tableau III**  
**Pourcentage d'exposition des salariés à des produits neurotoxiques selon le sexe.**

	Hommes		Femmes		Ensemble	
	Effectif	%	Effectif	%	Effectif	%
<i>Exposition à au moins un produit neurotoxique</i>	102 302	19,4	19 386	5,0	121 688	13,3
<i>White-spirit, solvants</i>	56 449	10,7	3758	1,0	60 207	6,6
<i>Autres cétones</i>	26 750	5,1	8497	2,2	35 247	3,8
<i>Toluène</i>	14 213	2,7	2620	0,7	16 833	1,8
<i>Autres métaux et dérivés (mercure, vanadium, aluminium, béryllium...)</i>	9974	1,9	2016		11 990	1,3
Méthanol	5921	1,1	4009		9930	1,1
Plomb et dérivés	7991	1,5	1033		9024	1,0
Trichloréthylène	6162	1,2	1634		7796	0,8
Résines polyesters	6119	1,2	1181		7300	0,8
Fongicides	5656	1,1	1114		6770	0,7
Herbicides	3628	0,7	718		4346	0,5
Chlorure de méthylène	4225	0,8	0		4225	0,5
Styrène	2824	0,5	343		3167	0,3

Seuls les effectifs bruts supérieurs ou égaux à 10 sont présentés.



**Figure 1.** Répartition des salariés exposés à un produit neurotoxique selon le nombre d'exposition aux facteurs de risque biomécanique de TMS, chez les hommes.

neurotoxiques, sans contraintes physiques, étaient peu fréquentes (10 000 hommes), alors que les salariés exposés à une, deux, voire trois contraintes physiques et à un produit chimique neurotoxique étaient nombreux (52 000 hommes). Les professions concernées par une accumulation de contraintes étaient variées. Ainsi, parmi les salariés exposés à une contrainte physique et un produit chimique, près d'un quart était des ouvriers de production qualifiés de la mécanique. Concernant les salariés qui cumulaient plus de quatre contraintes physiques et/ou chimiques, près d'un tiers d'entre eux étaient des ouvriers (qualifiés ou non) du bâtiment (gros œuvre ou second œuvre) (fig. 2).

## Discussion

L'analyse des contraintes professionnelles de ce large échantillon, représentatif des salariés de la région des PDL, souligne l'accumulation et le caractère mixte des expositions à des contraintes physiques et/ou chimiques. Ainsi, près d'un quart de la population salariée ligérienne est soumis à des gestes répétitifs dont on sait qu'ils contribuent, tout comme l'exposition aux vibrations et au froid, à la survenue de TMS, et notamment de neuropathies périphériques canalaire. Le cumul des expositions à plusieurs contraintes physiques est également fréquent, puisque plus de 10 % des hommes sont co-exposés à au moins deux contraintes physiques ; cela concerne majoritairement les jeunes ouvriers, qualifiés et non qualifiés, du gros œuvre et du second œuvre du bâtiment. De manière globale (tous produits confondus), 20 % des hommes et 5 % des femmes sont exposés à au moins un produit chimique neurotoxique. Les produits les plus fréquemment utilisés sont les solvants organiques et les métaux lourds, connus comme pouvant être pourvoyeurs d'atteintes neurologiques centrales et/ou périphériques. La multi-exposition est également fréquente, notamment chez les ouvriers qualifiés du second œuvre du bâtiment, de la carrosserie et de

la métallurgie. La co-exposition aux agents physiques et chimiques est également fréquente : près d'un quart des ouvriers qualifiés en production mécanique est exposé à au moins une contrainte physique et un agent neurotoxique. Les ouvriers qualifiés du second œuvre du bâtiment cumulent le plus d'expositions physiques et chimiques.

Les efforts d'hyper-sollicitation, dans le cadre de gestes ou mouvements répétés, réalisent des tableaux de mononeuropathies tronculaires par compression d'un tronc nerveux dans un défilé inextensible ostéoligamentaire, aponévrotique ou musculaire. Ces syndromes canalaire représentent l'essentiel des neuropathies liées au travail rencontrées en France dont le syndrome du canal carpien est de loin le plus fréquent [2-5]. Les vibrations solidiennes transmises au système main-bras par les outils vibrants sont à l'origine d'un ensemble de pathologies musculosquelettiques dont le syndrome des vibrations, par atteinte neurologique périphérique [3,5]. Par ailleurs, le travail physique entraîne une augmentation de la fréquence cardiaque et respiratoire ainsi qu'une sudation plus importante. Ces deux phénomènes augmentent le risque de pénétration des produits toxiques dans l'organisme par voie respiratoire ou cutanée [14,15]. De plus, l'exposition à des produits toxiques peut nécessiter le port d'équipements de protection individuelle (EPI) : gants, casques, chaussures de sécurité, masques, combinaison étanche... qui accroissent l'intensité de l'activité physique.

Les neuropathies périphériques toxiques, quant à elles, réalisent le plus souvent un tableau de polyneuropathie résultant de lésions diffuses touchant simultanément plusieurs racines ou troncs nerveux [2,16-18]. Les neuropathies induites par les solvants organiques (n-hexane, méthyl-n-butylcétone, toluène, styrène) ou non organiques (disulfure de carbone), l'acrylamide et les insecticides organo-phosphorés sont sans doute plus fréquentes [2,17,18]. Sur le plan physiopathologique, l'exposition à certains solvants provoque une dégénérescence axonale amenant à des polyneuropathies ou des polynévrites d'origine professionnelle, comme le n-hexane, le

méthyl-n-butylcétone, l'acrylamide, le trichloréthylène, le perchloroéthylène et le disulfure de carbone. Celles-ci se manifestent notamment par des faiblesses musculaires et des paresthésies des extrémités [19,20]. Ainsi, des anomalies de la perception des vibrations seraient plus fréquentes chez les peintres [21]. Des anomalies sensitivomotrices détectables par électroneuromyographie (ENMG) ont également été rapportées chez les travailleurs exposés aux vapeurs de pétrole lors du nettoyage de tankers [22]. L'exposition chronique aux poussières de métaux lourds peut entraîner l'apparition d'une neuropathie périphérique. Les mécanismes physiopathologiques de cette atteinte sont bien connus pour l'exposition au plomb qui se caractérise par une atteinte de la gaine de myéline touchant essentiellement les fibres motrices. Une atteinte sensitive a également été décrite [23-25]. Des manifestations cliniques et ENMG compatibles avec l'existence

d'une polynévrite sensitivomotrice ont été rapportées par plusieurs auteurs en cas d'exposition chronique au mercure métallique et à ses dérivés inorganiques [26-29]. Ces anomalies nerveuses périphériques seraient la conséquence d'une atteinte axonale par démyélinisation [29]. Enfin, l'exposition chronique aux produits phytosanitaires est également susceptible d'entraîner des atteintes neurologiques périphériques, notamment l'utilisation d'insecticides organophosphorés, d'herbicides à base de phytohormones de synthèse, ou de fongicides à base d'arsénite de sodium [30]. Les informations toxicologiques dont dispose le médecin du travail sont le plus souvent relatives à des substances isolées et pures. En milieu professionnel, on est cependant le plus souvent confronté à des interactions entre différents agents présents sur le lieu de travail, ce qui peut moduler l'amplitude et la nature des manifestations toxiques [17]. En l'absence

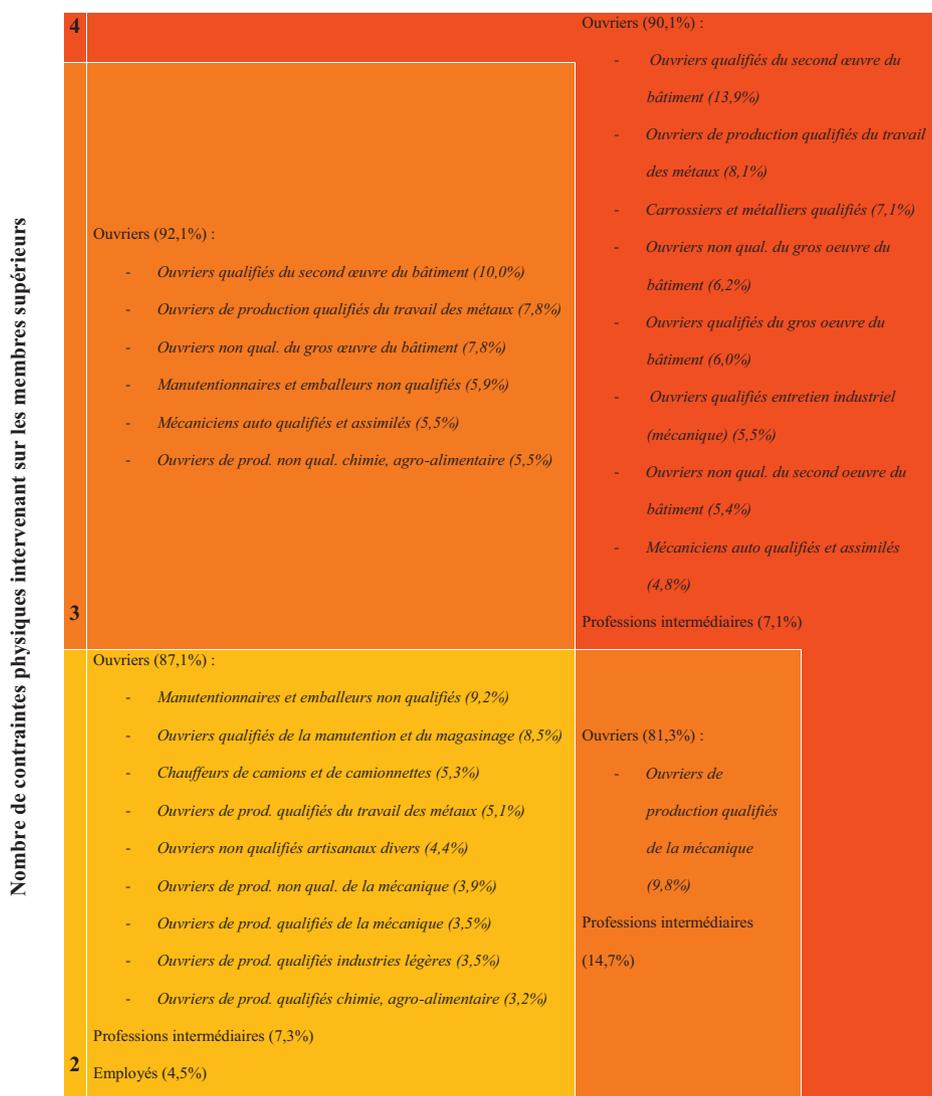


Figure 2. Professions les plus touchées par une accumulation des contraintes physiques pouvant intervenir sur les membres supérieurs et des expositions aux produits neurotoxiques chez les hommes.

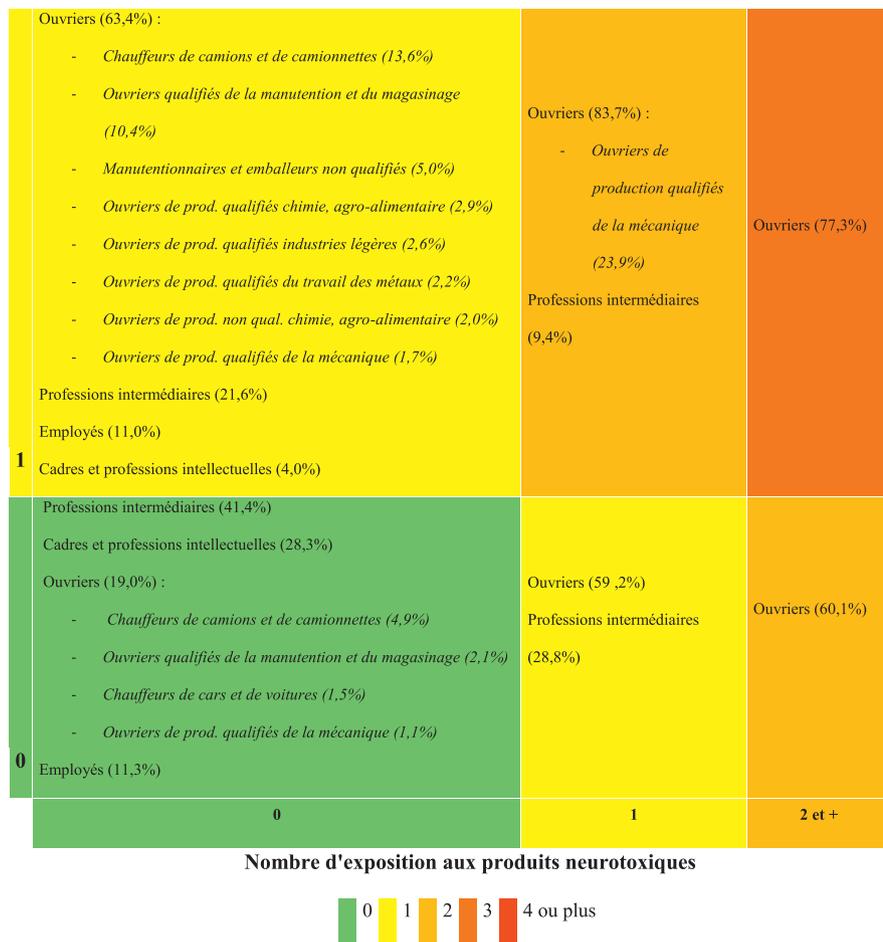


Figure 2 (Suite).

d'interaction, la toxicité d'un mélange est considérée égale à la somme des effets toxiques de chacune d'elles à pareil niveau d'exposition (additivité des effets). En présence d'interactions, les effets peuvent être supra-additifs (synergie, potentialisation) comme dans le cas du mélange éthanol-tétrachlorure de carbone ou infra-additifs (antagonisme) comme dans le cas du mélange cadmium-sélénium. Ces modulations de la toxicité peuvent provenir de modifications toxicocinétique (interaction sur le métabolisme) ou toxicodynamique (interaction sur les effets) [31]. Dans des domaines variés de l'industrie, Sébastien et al. ont rapporté que les multi-expositions pouvaient concerner jusqu'à 14 substances toxiques sur certains postes de travail, ceci étant lié aux processus de fabrication et de transformation [32]. Avec la notion de multi-exposition, c'est également la problématique des faibles doses qui émerge. En effet, les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) étant définies en cas d'exposition mono-factorielle, l'absence d'effet nocif pour une exposition inférieure à la VLEP reste-t-elle pertinente dans des situations d'expositions multiples ? Certaines études chez l'animal amènent des éléments de réponse [1]. Cosnier et al. ont rapporté les résultats d'une étude réalisée chez des

rats exposés à du toluène seul ou à des mélanges binaires contenant du toluène et un autre solvant. Une augmentation des taux de toluène sanguin ( $\times 3,5$ ) a été observée lors de co-expositions avec de la méthyléthylcétone, alors que ces deux solvants étaient générés à des concentrations proches de la VLEP sur 8 heures. En revanche, la co-exposition « toluène-butanol » entraînait une diminution du toluène sanguin [33]. Si ces données expérimentales étaient transposables à l'homme, le respect des VLEP sur 8 heures d'une mono-exposition ne suffirait pas toujours à protéger des effets néfastes du toluène ; d'où la nécessité de rechercher l'ensemble des substances auxquelles un salarié est exposé et d'interpréter les résultats individuels pour chaque substance dans un contexte d'expositions multiples [31]. La combinaison de facteurs physiques et chimiques est également fréquente sur un même poste de travail. Ainsi, l'expérimentation animale et les données épidémiologiques ont montré qu'il existait un réel risque de potentialisation des effets du bruit, notamment par certains solvants aromatiques. Des agents chimiques professionnels tels que les solvants aromatiques, des gaz comme le monoxyde de carbone et l'acide cyanhydrique peuvent fragiliser l'oreille interne des

salariés [34]. Les risques pour la santé chez les salariés exposés à plusieurs facteurs ne s'arrêtent pas à la question du bruit et des substances ototoxiques. Les relations entre TMS et facteurs de risque psycho-sociaux sont également documentées. De même, dans certains secteurs, comme par exemple le bâtiment ou l'industrie agroalimentaire, l'association entre manutentions et travail au froid est débattue, souvent dans un contexte où les salariés ont une activité intense [1]. Aucune étude n'a exploré la toxicité neurologique périphérique de la combinaison de facteurs physiques et chimiques. En revanche, des études concernant le syndrome du canal carpien ont mis en évidence que l'addition de prédispositions individuelles (âge, sexe, surpoids) et/ou médicales fragilisant les nerfs périphériques (diabète) [35,36], à certaines activités professionnelles (travail en force, mouvements répétitifs, vibrations) augmentait notablement le risque de survenue d'un syndrome du canal carpien [37,38]. Il peut donc être supposé que, de la même manière, l'effet des substances neurotoxiques sur les nerfs périphériques favorise la survenue de neuropathies périphériques en cas d'exposition professionnelle à des facteurs de risque physiques. Il serait sans doute pertinent de pouvoir explorer plus finement cette hypothèse physiopathologique.

Cette enquête a été réalisée auprès d'un large échantillon de salariés. Cependant, certains secteurs sont incomplets (transports, éducation, administrations). La force de cette enquête repose également sur l'expertise du médecin du travail qui peut administrer un questionnaire parfois très technique. Cette expertise des acteurs de terrain est un avantage indéniable, notamment pour toutes les ambiances de travail très particulières (industrie chimique...). Le questionnaire sur les expositions physiques et chimiques (annexes 1 et 2) porte sur la dernière semaine travaillée afin de cerner au plus près la réalité concrète du travail des salariés enquêtés. Cette méthode peut avoir comme effet de sous-évaluer les expositions liées à des activités ponctuelles ou irrégulières, qui ont moins de chances d'avoir eu lieu au cours de cette période que les activités régulières. Les questionnaires utilisés lors de l'enquête SUMER 2003 ont été remplis à l'aide d'un guide explicatif très précis, assurant ainsi une bonne qualité des informations renseignées. Néanmoins, une grande partie des questions était présentée de manière à inviter le médecin à cocher une case « oui » ou bien à laisser cette case non-remplie. Ainsi, il était impossible de déterminer si le questionnaire contenait de réelles valeurs manquantes. Le guide de collecte demandait aux médecins enquêteurs d'évaluer « une exposition aux agents chimiques » dont la plus petite durée et intensité proposées étaient de « moins de 2 heures » et « très faible, à peine supérieure à la population générale ». Cela laissait la place à des différences d'interprétation entre les médecins (à partir de quelle durée prendre une exposition en compte ? Quel est le niveau de la population générale ?) [39]. Il existe également quelques distorsions dues aux différences de compréhension de certains intitulés

d'exposition qui mériteraient d'être mieux explicités : il s'agit souvent de produits très généraux qui englobent différents composés (solvants, autres cétones, autres métaux et dérivés, résines polyesters, fongicides, herbicides...) (annexe 2) [39]. Une analyse sur un échantillon plus large permettrait de différencier les différents composés qu'englobent ces sous-classes de produits. Enfin le report des expositions définies comme « multiples » (oxydants autres, solvants autres, alcools autres) est probablement moins systématique [39]. Les analyses descriptives présentées ici ont été réalisées grâce à un ajustement par pondération selon cinq critères décrits plus haut (extrapolation des données régionales), après vérification que les effectifs bruts étaient suffisamment grands pour interpréter les résultats. C'est pourquoi, un certain nombre de substances chimiques, répertoriées dans le questionnaire SUMER 2003 et réputées comme neurotoxiques, ont été exclues des analyses du fait des trop faibles effectifs de salariés exposés. Ainsi, l'acrylamide, l'arsenic, le n-hexane, le perchloroéthylène, le tétrahydrofurane et les insecticides sont classiquement connus comme pourvoyeur d'effets neurotoxiques [6] mais l'enquête met ici en évidence que leur utilisation en milieu professionnelle reste marginale.

Les résultats de cette étude sont basés sur les données de l'enquête SUMER de 2003 et reflètent donc la situation des salariés à cette période. Il serait intéressant de réaliser à nouveau cette étude en tenant compte des résultats de l'enquête SUMER 2009. La comparaison de ces deux études permettrait alors de suivre l'évolution de la co-exposition étudiée ici et d'en déduire les éléments de prévention pertinents pour réduire l'accumulation des expositions professionnelles chimiques et physiques.

## Déclaration d'intérêts

Les auteurs n'ont pas transmis de déclaration de conflits d'intérêts.

## Annexes 1 et 2. Matériels complémentaires

Les matériels complémentaires (Annexes 1 et 2) accompagnant la version en ligne de cet article sont disponibles sur <http://www.sciencedirect.com> et <http://dx.doi.org/10.1016/j.admp.2014.01.007>.

## Références

- [1] INRS. Expositions multiples. Le cumul nuit à la santé. Dossier Travail et sécurité no 735; 2013.
- [2] CNAM-TS. Direction des risques professionnels. Statistiques nationales des accidents du travail, des accidents de trajet et des maladies professionnelles. Année 2003. Paris: CNAM-TS; 2005.

- [3] Lasfargues G, Roquelaure Y, Fouquet B, et al. Rédaction de 4 chapitres de Pathologies ostéoarticulaires par hypersollicitation d'origine professionnelle. Paris: Masson; 2003.
- [4] Roquelaure Y, Ha C, Leclerc A, et al. Epidemiological surveillance of upper extremity musculoskeletal disorders in the working population: the French Pays de la Loire Study. *Arthritis Rheum* 2006;55:765–78.
- [5] Sheon RP, Moskowitz RW, Goldberg VM. Soft tissue rheumatic pain. Recognition, management, and prevention. New York: Williams & Wilkins; 1996.
- [6] Lasfargues G. Neuropathies toxiques professionnelles. *Neuropathies Pathol Prof* 2007;74–89.
- [7] ADEREST, Chouanière D. Département épidémiologie en entreprises. Effets neurotoxiques des solvants : apport de l'épidémiologie; 2007.
- [8] Roquelaure Y, Francois S. Classification des neuropathies liées au travail. *Neuropathies Pathol Prof* 2007;1–6.
- [9] Guignon N, Sandret N. Les expositions aux produits cancérigènes, mutagènes et reprotoxiques. INRS; 2005.
- [10] DARES. Premières informations synthèses n° 07.3. Les ouvriers du bâtiment et des travaux publics; 2008.
- [11] Roquelaure Y, Ha C, Sauteron M. Réseau expérimental de surveillance épidémiologique des troubles musculo-squelettiques dans les Pays de la Loire; 2005;65.
- [12] DARES. Bilan de l'enquête SUMER 2003; 2003.
- [13] Kontchou Kouomegni H, Decourt O. Maîtriser SAS base et SAS Macro – SAS 9.2 et versions antérieures; 2007.
- [14] Chamoux A, Hennebaut JM. Astreintes physiologiques liées au port du masque et de tenues de protection. *Arch Mal Prof* 2000;61:204.
- [15] Vogt JJ, Metz B. Ambiances thermiques. *Prec Physiol Trav* 2014;191:217–89.
- [16] INRS. Les maladies professionnelles. Guide d'accès aux tableaux du régime général et du régime agricole de la Sécurité sociale. INRS, ED 835; 2004.
- [17] Lauwerys RR. Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles. Paris: Masson; 2000.
- [18] Spencer P, Schaumburg HH. Clinical neurotoxicology. New York: Oxford University Press; 2000.
- [19] Gérin M. Solvants industriels. Coll. Santé, Sécurité, Substitution. Paris: Ed Masson; 2002.
- [20] Spencer PS, Kim MS, Sabri MI. Aromatic as well as aliphatic hydrocarbon solvent axonopathy. *Int J Hyg Environ Health* 2002;205(1–2):131–6.
- [21] Demers RY, Markell BL, Wabeke R. Peripheral vibratory sense deficits in solvent-exposed painters. *J Occup Med* 1991;33(10):1051–4.
- [22] Moen BE, Riise T, Todnem K, et al. Seamen exposed to organic solvents. A cross-sectional study with special reference to the nervous system. *Acta Neurol Scand* 1988;78(2):123–35.
- [23] Ehle AL. Lead neuropathy and electrophysiological studies in low level lead exposure: a critical review. *Neurotoxicology* 1986;7(3):203–16.
- [24] Rubens O, Logina I, Kravale I, et al. Peripheral neuropathy in chronic occupational inorganic lead exposure: a clinical and electrophysiological study. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2001;71(2):200–4.
- [25] Araki S, Sato H, Yokoyama K, et al. Subclinical neurophysiological effects of lead: a review on peripheral, central, and autonomic nervous system effects in lead workers. *Am J Ind Med* 2000;37(2):193–204.
- [26] Albers JW, Cavender GD, Levine SP, et al. Asymptomatic sensorimotor polyneuropathy in workers exposed to elemental mercury. *Neurology* 1982;32(10):1168–74.
- [27] Hryhorczuk DO, Meyers Jr L, Chen G. Treatment of mercury intoxication in a dentist with N-acetyl-D, L-penicillamine. *J Toxicol Clin Toxicol* 1982;19(4):401–8.
- [28] Rosenman KD, Valciukas JA, Glickman L, et al. Sensitive indicators of inorganic mercury toxicity. *Arch Environ Health* 1986;41(4):208–15.
- [29] Deleu D, Hanssens Y, al-Salmy HS, et al. Peripheral polyneuropathy due to chronic use of topical ammoniated mercury. *J Toxicol Clin Toxicol* 1998;36(3):233–7.
- [30] MSA. Santé Sécurité au Travail. La pathologie humaine. Chap. IV. Prévention et produits phytosanitaires; 2005.
- [31] INRS. Risques liés aux multiexpositions. TD no 189; 2012.
- [32] Sébastien P, Duval-Arnould G, Ripert C. In: Conférence INRS 2012 sur la recherche en santé au travail. Risques liés aux multiexpositions. 2, 3 et 4 avril 2012; 2012.
- [33] Cosnier F, Nunge H, Décret MJ, et al. In: Conférence INRS 2012 sur la recherche en santé au travail. Risques liés aux multiexpositions. 2, 3 et 4 avril 2012; 2012.
- [34] INRS. Le point des connaissances sur bruit et agents ototoxiques. ED no 5028; 2005.
- [35] Kulick RG. Carpal tunnel syndrome. *Orthop Clin North Am* 1996;27:345–54.
- [36] Papaioannou T, Rushworth G, Atar D, et al. Carpal canal stenosis in men with idiopathic carpal tunnel syndrome. *Clin Orthop* 1992;285:210–3.
- [37] Hales TR, Bernard BP. Epidemiology of work-related musculoskeletal disorders. *Orthop Clin North Am* 1996;27:679–709.
- [38] Mackinnon SE, Novak CB. Repetitive strain in the workplace. *J Hand Surg* 1997;22A:2–18.
- [39] Févotte J, Bergeret A, Guignon N, et al. SUMER Hygiène Industrielle : une enquête en parallèle de SUMER 2003. INRS. DMT no 114; 2008 [2<sup>e</sup> semestre].