

Conférence INRS 2012  
sur la recherche en santé au travail

**2.3.4**  
**avril**  
**2012**

Palais des Congrès  
54000 Nancy • France

**Risques liés**  
**aux multiexpositions**  
**Recueil**  
**des résumés**



**[www.inrs-mixed-expo2012.fr](http://www.inrs-mixed-expo2012.fr)**  
Contact : **[mixed-expo2012@inrs.fr](mailto:mixed-expo2012@inrs.fr)**



Chers participants,

C'est avec le plus grand plaisir que nous vous accueillons à Mixed-expo2012, deuxième conférence d'une série organisée par l'Institut de recherche et de sécurité (INRS) français en association avec son partenaire européen en santé et sécurité au travail (PEROSH). La première conférence de la série, Nano 2011, a été un franc succès grâce à votre contribution, nul doute que Mixed-Expo2012 sera aussi une grande réussite.

Pourquoi nous intéresser aux expositions multiples ? La recherche sur les multi-expositions permettra d'améliorer l'environnement professionnel et la prise de décisions relatives (1) à la reconnaissance commune des risques encourus par les salariés multi-exposés, (2) aux besoins d'une nouvelle politique de régulation et de recommandations facilitant le travail des hygiénistes qui doivent prendre en compte des effets tels que la synergie, l'additivité, se confronter à des formules inspirées des modèles de type PBPK, et (3) aux connaissances actuelles de la science. A travers cette conférence, nous considérerons plusieurs types de multi-expositions : une exposition à plusieurs agents chimiques, une exposition à un facteur physique (bruit, vibration ou chaleur...) associée à une ou plusieurs substances, et finalement, les expositions à un facteur physique ou chimique lors d'une activité physique éprouvante.

Laissez-nous illustrer nos propos en vous donnant deux ou trois risques pour la santé encourus par des salariés exposés à plusieurs facteurs ou agents. Qui peut encore ignorer les risques auditifs encourus par les salariés exposés à la fois au bruit et à des substances ototoxiques, dont l'origine peut être professionnelle (solvants aromatiques) ou extra-professionnelle (aminoglycosides, médicaments contenant du platine en chimiothérapie) ? Qui peut nier les risques de cancérogénèse liés aux silicozes, asbestoses et à la fumée de cigarettes ? Et nous ne mentionnerons pas les risques pour la santé liés aux expositions au kérosène.

Pendant les deux dernières décades, les scientifiques ont mis en évidence des risques pour la santé des salariés exposés à plusieurs facteurs, soulevant par là-même la problématique des faibles doses, et poussant les législateurs à prendre en considération ces conditions somme toute très répandues. Pourtant, nous devons admettre que peu de progrès a été fait dans la réglementation des expositions multiples. Pourquoi un tel constat ? Probablement parce que les experts en toxicologie ne sont pas forcément des experts des effets provoqués par des agents physiques, probablement parce que les modèles mathématiques proposés jusqu'à maintenant étaient trop abscons pour être utilisés sur le terrain, probablement parce que nous n'avons jusqu'à ce jour pas invité les bonnes personnes autour de la table de négociation. Ne nous voilons pas la face, il est difficile de trouver un langage commun pour améliorer la sécurité des salariés exposés à de multiples facteurs. C'est un défi.

Le temps d'une nouvelle approche toxicologique est venu et les difficultés ne doivent pas nous intimider. La sécurité des salariés dépend de notre détermination.

Pendant ces deux jours et demi, nous affronterons la complexité des problèmes liés aux expositions multiples et nous aborderons les sujets mentionnés ci-dessus en vous proposant quelques communications magistrales, des présentations orales et affichées. Toutes ces présentations sont importantes, mais encore plus précieuse est l'opportunité qui vous est offerte de rencontrer des chercheurs et des ingénieurs, des professionnels de la prévention venant du monde entier. Ils ne manqueront pas de vous donner leur point de vue sur tous ces problèmes. Nous ne trouverons pas toutes les solutions à nos défis pendant ce congrès, mais, en portant les problèmes sur le devant de la scène, nous chercherons à fédérer nos forces pour préserver la santé au travail dans le domaine des multi-expositions.

Pour finir, nous voudrions remercier les différents comités d'organisation et comités scientifiques, les orateurs des communications magistrales et les présidents de séances qui apporteront à ce congrès leur crédit scientifique.

Grâce à votre présence, nous ne doutons pas que Mixed-expo2012 sera un succès.

Nous vous souhaitons un bon congrès et un bon séjour à Nancy.

Avec toute notre reconnaissance,

Les présidents de la conférence

Pierre Campo  
*Chercheur à l'INRS*

Didier Baptiste  
*Directeur scientifique de l'INRS  
Président de PEROSH*

# SOMMAIRE

COMITÉS	3
PROGRAMME	7
SESSION I: INTERACTION DE PLUSIEURS PRODUITS CHIMIQUES	13
<i>Communications orales</i>	14
<i>Posters</i>	28
SESSION II: EXPOSITIONS AU BRUIT ET A DES AGENTS OTOTOXIQUES	34
<i>Communications orales</i>	35
<i>Posters</i>	47
SESSION III: ACTIVITÉ PHYSIQUE ET EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES	52
<i>Communications orales</i>	53
<i>Posters</i>	67
INDEX DES AUTEURS	71

# COMITÉS

## Présidents

Didier Baptiste, Directeur scientifique de l'INRS  
Pierre Campo, Chercheur INRS

## Comité d'organisation INRS

Claudine Cericola  
Dominique Mur  
Stéphane Vaxelaire

## Comité scientifique INRS

Pierre Campo	Dominique Lafon
Frédéric Cosnier	Eddy Langlois
Benoît Cossec	Jean-Pierre Meyer
François Gagnaire	

## Comité scientifique international

Thaïs Morata	NIOSH, Cincinnati, US
Laurence Fechter	Loma Linda Veterans Administration Medical Center, Loma Linda, US
Paul Avan	Laboratoire de Biophysique des handicaps sensoriels, Université d'Auvergne, Clermont-Ferrand, FR
Robert Tardif	Département Santé environnementale et santé au travail, Université de Montréal, CA
Raymond S.H. Yang	Dept Environm & Radiolog Hlth Sci, Colorado State University, Ft Collins, US
Jacques Malchaire	Unité Hygiène et physiologie du travail, UCL, Louvain, BE
Monique HW Frings-Dresen	Coronel Institute of Occupational Health, Amsterdam, NL
Joanna Bugajska	Central Institute for Labour Protection, Warsaw, PL
Rolf Ellegast	Ergonomics Unit, IFA, Sankt Augustin, DE



**Paul Avan** is currently Professor of Biophysics at the School of medicine, University of Auvergne in Clermont-Ferrand, France. Before getting his medical degree, he was a physicist and got a PhD in the field of laser physics. His secondary professional appointment is at the ENT department at the University Hospital, where he performs electrophysiological diagnoses and cochlear implant fitting. His main research topics are the following :

1) Cochlear Physiology. Mechanotransduction in the organ of Corti of mammals; physical properties of otoacoustic emissions, cochlear physiopathology of sensory cells (noise-induced, genetics, pressure dysregulations).

2) Middle-ear biomechanics. Models of interactions between middle- and inner ear, modulation of otoacoustic emissions. Application to non-invasive monitoring of intracranial and labyrinthine pressure, design of novel testing equipment.

3) Evoked Potentials, otoacoustic emissions & objective testing of hearing, cochlear implant fitting.



**Joanna Bugajska** , MD, PhD, specialist occupational medicine, Head of the Department of Ergonomics and Laboratory of Work Physiology and Hygiene at the Central Institute for Labour Protection. Dr. Bugajska carries out research in the following areas:

- characteristics of hazards and assessment of risk due to performing work connected with exposure to various factors of the working environment such as: static and dynamic physical exercise, repetitive work, microclimate,

- determination of psychophysical safety criteria for persons who perform work of special character and determination of conditionings of safe work of the elderly, taking into account their work abilities that change with age,

- determination of prevalence rate of complaints and overload syndromes of the movement system depending on the work performed as well as individual factors and lifestyle,

- assessment of social and economic effects of chronic diseases.

Dr. Joanna Bugajska is a member of many medical and ergonomics associations, associate editor of "International Journal of Occupational Safety and Ergonomics", reviewer in many other international publications, an author and co-author of numerous articles and monographs in the area of physiology, occupational medicine and ergonomics.

Dr. Bugajska participated in a number of international projects, e.g. AIMs (6<sup>th</sup> Framework Programme), and other OSH-specific project such as Topic Centre project (for the European Agency for Safety and Health at Work), project on "Aging Workforce" realized by the Partnership for European Research in Occupational Safety and Health (PEROSH), JPI More Years – Better Lives Initiative.



**Dr. rer. nat. Rolf Peter Ellegast** - IFA - Institute for Occupational Health and Safety of the German Social Accident Insurance.

Head of BGIA-Ergonomics group, including the sub-divisions "production ergonomics", "biomechanics" and "physiological job design".

Relevant technical skills:

- Excellent research skills and large experience in national and international ergonomic field and laboratory research projects

- Large experience with physiological measuring techniques and statistical analysis of exposure data

- Long-term experience in the field of MSD and ergonomic workplace design

- Excellent consultancy skills and experience with consultancy for companies in the field of ergonomics

- Excellent project management skills, including international projects

Summary:

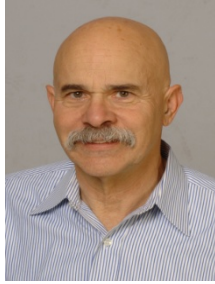
1995: Master's degree in Physics, Institute of Applied Physics, University Bonn

1998: PhD in Physics, Institute of Applied Physics, University Bonn

since 1999: Head of the IFA Ergonomics group

since 2000: University teaching position in Ergonomics at the University of Bonn, Germany

Large experience in national and international projects, including project management.



**Dr. Laurence Fechter** is a Senior Career Research Scientist at the Jerry L. Pettis Memorial VA Medical Center in Loma Linda, CA and holds a Research Professorship in the Department of Otolaryngology, Head & Neck Surgery at the Loma Linda University School of Medicine. Prior to taking these positions, Dr. Fechter was the Mosier Centennial Professor of Toxicology and Director of the Oklahoma Center for Toxicology at the University of Oklahoma Health Sciences Center (1993-2002). His first academic position was in the Department of Environmental Health Sciences at the Johns Hopkins School of Hygiene and Public Health (1976-1993) where he attained the rank of Professor of Environmental Toxicology. Dr. Fechter obtained his Ph.D. from the University of Rochester in the fields of Neurosciences/Biopsychology and undertook post-doctoral training in the Medical Pharmacology Institute at the University of Uppsala (Sweden) Biomedical Center and in the Environmental Toxicology Division at Hopkins School of Hygiene.

Dr. Fechter's research is focused on understanding mechanisms by which chemical contaminants disrupt the auditory system and potentiate noise-induced hearing loss. This work has entailed studies of carbon monoxide, hydrogen cyanide, acrylonitrile, and organic solvents. A major focus of this research has been on understanding the role of oxidative stress in ototoxicity.



**Prof. dr Monique HW Frings-Dresen, PhD.** Monique H.W. Frings-Dresen is Full Professor in 'Occupational Health and Medicine' and director of the Coronel Institute of Occupational Health, Academic Medical Center, Amsterdam, The Netherlands. She was director of AmCOGG (Amsterdam Centre for Health and Health Care Research). Before she worked as researcher at the Faculty of Medicine, University of Amsterdam (Department Physiology), as Assistant Professor at "Centre Hospitalier et Universitaire de Grenoble, consultations de Medecine du Sport" Grenoble, France, and was (co-)director of the Netherlands Centre for Occupational Diseases, Amsterdam.

She is an expert on the topic of occupational diseases and on the topic of patients with chronic diseases and work ability.

She is National Secretary of the International Commission on Occupational Health (ICOH) for The Netherlands and member of:

- ICOH Scientific Committee 'Aging and Work', 'Musculoskeletal Disorders', 'OH in the Construction Industry', 'Work organisation and psychosocial factors', 'Work disability Prevention and Integration' and 'Occupational Medicine'.
- European Expert Group 'Prevention of upper limb disorders' (European Agency for Safety & Health at Work, Bilbao, Spain)
- Technical Committee 'Musculoskeletal disorders' of the International Ergonomics Association (IEA)
- The Dutch Health Council.



**Jacques Malchaire**

Occupational Hygiene and Work Physiology unit. - Catholic university of Louvain

- MSC in electrical engineering UCL Belgium

- Ph. D. In occupational health Univ. of Cincinnati US

- Retired Professor Catholic university of Louvain

- Director of the Occupational Hygiene and Work Physiology research unit

- Author of more than 200 papers in Occupational Hygiene and Ergonomics in internal scientific journals.

Scientific activities :

- Teaching in work physiology and ergonomics to safety engineers, occupational physicians, and ergonomists
- Research on physical agents (acoustical and thermal working conditions, hand arm and whole body vibration) and ergonomics (work physiology and musculoskeletal problems of the back and the upper limbs)
- Author of the philosophy and main developer of the SOBANE strategy for the management of Occupational Risks (application for 15 domains of risk)





**Thais C. Morata** has worked on hearing loss prevention since 1987, when she consulted for the Brazilian Union of Chemical Workers. She did post-doctoral work at the National Institute for Occupational Safety and Health, US, where she now works as a research audiologist. She was a guest researcher at the National Institute for Working Life and the Karolinska Institute in Sweden. Dr. Morata taught graduate courses in Brazil, mentors and collaborates with researchers across the globe. She is a sought after speaker, having been invited to give Keynote addresses in several international and national conferences. She directs the Safe-in-Sound Excellence in Hearing Loss Prevention Awards™. She is a Founding Associate Editor of the international Journal of Audiology and a member of the Editorial Board of the Cochrane Occupational Safety and Health Review Group. Her pioneering work in noise interactions influenced national and international occupational health policies. In 2008 she received the National Hearing Conservation Association Outstanding Hearing Conservationist Award for her accomplishments.



**Dr. Robert Tardif** is currently a Honorary Professor at the Department of Occupational and Environmental Health at University of Montreal and the former Chairman of the Advanced Diploma in Toxicology and Risk Assessment (1996-2010) at the same University. Dr. Tardif is currently the Theme Leader of the «Exposure Assessment and Modeling» of the Quebec Research Network in Environmental Health and a member of the Comité d'experts (CES) «Eaux» de l'Anses.

Dr. Tardif completed undergraduate degree in Chemistry from University of Quebec at Montreal. He obtained his M.Sc. in Pharmacology (1986) and Ph.D. in Environmental Toxicology (1992) from University of Montreal.

Dr. Tardifs' area of expertise is in human health risk assessment and biological monitoring of exposure with emphasis in the areas of inhalation toxicology, physiologically based pharmacokinetic (PBPK) modeling, and chemical dosimetry, with specific application of these approaches to occupational and environmental risk assessments.

Dr. Tardif has been honored by the Society of Toxicology (SOT) with the SOT Risk Assessment Specialty Section Award for Outstanding Presentation in Risk Assessment in 1998 and 2001, and for the best paper in Toxicological Sciences published during 2001, and by the SOT- Occupational and Public Health Specialty Section for the Paper of the year published in 2009. He has published 9 book chapters and 84 peer-reviewed articles on a wide range of health and toxicological topics.



**Raymond S. H. Yang** is Professor Emeritus of Toxicology and Cancer Biology, and the former leader of the Quantitative and Computational Toxicology Group, at the College of Veterinary Medicine and Biomedical Sciences, Colorado State University (CSU). Between October 2007 and July 2009, Dr. Yang had also been a Visiting Scientist at the National Center for Environmental Assessment, USEPA, Cincinnati, to work on TCDD and chemical mixture toxicology and risk assessment, among other projects. Dr. Yang's research focuses on physiologically based pharmacokinetic/pharmacodynamic (PBPK/PD) modeling, and other biologically-based computer modeling with a special emphasis on the toxicology of chemical mixtures. Dr. Yang has had extensive research

and administrative experience in academia, chemical industry, and the federal government. At CSU in the last 20 years, Dr. Yang had served in the capacity as a Department Head, a Center Director, and the Director for a NIEHS Quantitative Toxicology Training Program. Dr. Yang publishes extensively in biomedical journals and is the editor/co-editor of two books; Toxicology of Chemical Mixtures: Cases Studies, Mechanisms, and Novel Approaches (1994), and Physiologically Based Pharmacokinetics: Science and Applications (2005). Dr. Yang is a Fellow of Academy of Toxicological Sciences and served on many prestigious national and international committees and panels. Presently, Dr. Yang is working part-time as an international consultant.



# PROGRAMME

Lundi 2 avril

8:30	<b>Enregistrement et café d'accueil</b>
9:30	<b>Allocutions de bienvenue</b> Stéphane Pimbert, Directeur général de l'INRS Didier Baptiste, Directeur scientifique de l'INRS, Président de PEROSH Pierre Campo, Chercheur à l'INRS

<b>Session I : INTERACTION DE PLUSIEURS PRODUITS CHIMIQUES</b> <i>Présidents : Raymond YANG (Colorado State Univ,) &amp; Robert TARDIF (Univ. Montréal)</i>		
<b>COMMUNICATION ORALES</b>		<b>Page</b>
10:00	<i>Toxicologie des mélanges de produits chimiques : introduction, bref historique, avancées récentes et nouveaux axes de recherche</i> Yang R. SH	15
10:30	<i>Expositions combinées aux agents chimiques en milieu professionnel : évaluation de la situation en France</i> Vincent R., Clerc F.	16
10:50	<i>Gestion des multi-expositions aux substances toxiques dans l'Industrie</i> Sébastien P., Duval-Arnould G., Ripert C.	17
11:10	<i>Estimation par modélisation moléculaire des risques pour la santé d'une co-exposition à des nanomatériaux à base de fullerènes et à des substances organiques industrielles</i> Karilainen T., Róg T., Cramariuc O., Vattulainen I., Laine O.	18
11:30	<i>Modification du niveau de toluène sanguin après co-exposition à des mélanges binaires (toluène + autres solvants)</i> Cosnier F., Nunge H., Décret M.J., Gondrexon J.C., Cossec B.	19
11:50	<i>Cocktails et trajectoires d'exposition professionnelle aux cancérigènes : l'exemple d'une cohorte de patients atteints de cancer en Seine-St-Denis</i> Bertin M., Counil E.	20

12:10	<i>Facteurs de risques professionnels et non professionnels du cancer bronchique : une approche globale</i> Paris C., Bourgkard E., Courouble N., Clement-Duchene C., Fevotte J., Wild P.	21
12:30	<b>Déjeuner / Posters</b>	
14:00	<i>Corrélation de données de multi-expositions atmosphériques avec des tests génotoxiques : le cas des égoutiers de la ville de Paris</i> Ferrari L., Pecson-laribi O., Harteman Ph., Kerautret M.A., Tiberguent A., Paris C., Zmirou-Navier D.	22
14:20	<i>Les Doses Journalières Autorisées (JDA) pour les pesticides sont sous-évaluées par négligence des effets des mélanges imputables aux adjuvants</i> Mesnage R., Clair E., Defarge N., Gress S., Séralini G.-E.	23
14:40	<i>Le "screening", un outil pour identifier les composés volatils dans une atmosphère de travail multipolluée</i> Oury B.	24
15:00	<i>Protection respiratoire et multi-expositions : réflexions sur la nécessité d'intégrer des notions toxicologiques dans le calcul de la durée de vie des cartouches de charbon actif</i> Drolet D., Lara J., Haddad S.	25
15:20	<b>Pause Café / Posters</b>	
16:00	<i>Les outils de la prévention pour évaluer les risques associés aux co-expositions : modèles PBPK et méthodes alternatives</i> Tardif R.	26
16:30	<i>Modélisation prédictive des interactions métaboliques pour des mélanges complexes</i> Bois F.Y., Cheng S.	27
17:00	<b>Table ronde</b>	
18:00	<b>Session posters</b>	
18:45	<b>Cocktail de bienvenue</b>	

## POSTERS

Page

	<i>Développement et validation d'une méthode d'extraction en ligne couplée à la LC/MSMS pour l'analyse de biomarqueurs issus de l'exposition au 1-3 butadiène et à l'acrylonitrile dans des échantillons urinaires</i> Duretz B, Nicolas A, Rousseau J.	29
	<i>Surveillance biologique de l'exposition professionnelle à plusieurs composés organiques volatils par la mesure de leur fraction résiduelle dans l'urine</i> Erb A., Marsan P., Robert A.	30

	<i>Multiexpositions professionnelles aux gaz dans les centrales électriques</i> <i>Jumpponen M., Rönkkömäki H., Pasanen P., Laitinen J.</i>	31
	<i>Habitations incendiées : multiexpositions du personnel chargé de la réhabilitation et des enquêteurs</i> <i>Laitinen J., Mäkelä M., Oksa P., Hakkarainen T., Tillander K., Järnström H., Paloposki T.</i>	32
	<i>Estimation du risque lié à l'exposition à des mélanges de pesticides : étude des effets additifs vis-à-vis de la transactivation du Pregnane X Receptor</i> <i>Nawaz A., de Sousa G., Rahmani R.</i>	33

## Mardi 3 avril

8:15	<b>Enregistrement</b>	
<b>Session II : EXPOSITION AU BRUIT ET A DES AGENTS OTOTOXIQUES</b> <i>Présidents : Thaïs MORATA, NIOSH, Etats-Unis, Pierre CAMPO, INRS, France</i>		
<b>COMMUNICATION ORALES</b>		<b>Page</b>
9:00	<i>Panorama français des expositions aux agents ototoxiques dans les entreprises bruyantes</i> Clerc F., Vincent R.	36
9:20	<i>Etude et évaluation des multi-expositions dans le système de mesure et d'évaluation des expositions des organismes allemands d'assurance d'accidents (MGU)</i> Gabriel S.	37
9:40	<i>Hauts niveaux d'exposition au styrène et fonction cochléaire dans un échantillon de travailleurs exposés : étude pilote</i> Sisto R., Cerini L., Gatto M.P., Gherardi M., Gordiani A., Paci E., Sanjust F., Papaleo B., Tranfo G.	38
10:00	<i>Exposition professionnelle au bruit et aux solvants et usage d'analgésiques : facteurs de risque d'acouphènes et de perte auditive dans une cohorte de jumeaux</i> Johnson A.C., Turunen-Taheiri S., Skjonsberg A.	39
10:20	<b>Pause Café / Posters</b>	

10:50	<i>Signification des distorsions cochléaires relatives aux dommages des cellules ciliées externes induits par le bruit et par des molécules ototoxiques</i> Avan P.	40
11:20	<i>Les effets du toluène sur les réflexes des oreilles interne et moyenne</i> Campo P., Venet T., Rumeau C.	41
11:50	<i>L'exposition au kérosène augmente-t-elle la susceptibilité à l'hypoacousie due au bruit ?</i> Fechter L.	42
12:30	<b>Déjeuner / Posters</b>	
14:00	<i>Impact de l'exposition au bruit sur la cinétique d'apparition de la presbyacousie</i> Rumeau C., Campo P., Venet T., Thomas A., Rieger B., Cour C., Parietti-Winkler C.	43
14:20	<i>Les VLEP auraient-elles été plus basses si l'ototoxicité induite par certaines substances avait été prise en compte ?</i> El Yamani M.	44
14:40	<i>Agents ototoxiques en milieu professionnel : de la recherche aux choix de société et au terrain</i> Morata T.	45
15:10	<b>Table ronde</b>	
16:15	<b>Pause Café/Posters</b>	

## POSTERS

Page

	<i>Exposition professionnelle au bruit et aux solvants aromatiques ototoxiques</i> Belhadj Z., Kandouci C., Chebab O., Kandouci A.B.	48
	<i>Effets d'une exposition professionnelle multifactorielle sur les produits de distorsion acoustique (PDA)</i> Edwards A., Grove T., Schutte PC., Franz RM., Formanowicz A.	49
	<i>Exposition aux particules et au bruit lors des travaux d'entretien des routes</i> Meier R., Danuser B., Casio W. E., Riediker M.	50
	<i>Evaluation des risques en cas d'exposition simultanée au bruit et aux solvants, études de cas</i> Santos P.	51

## Session III : ACTIVITÉ PHYSIQUE ET EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES

Présidents : Jacques MALCHAIRE, UCL, Belgique, Jean-Pierre MEYER, INRS, France

<b>COMMUNICATION ORALES</b>		<b>Page</b>
16:45	<i>Toute condition de travail et d'exposition professionnelle est forcément multifactorielle</i> Malchaire J.	54
17:15	<i>Variabilité de la protection respiratoire en fonction du sujet et de son activité</i> Chazelet S., Meyer J.P., Verdun A., Remy O.	57
17:35	<i>Astreinte thermique et activité de maintenance en présence d'amiante</i> Turpin-Legendre E., Gingembre L.	58
17:55	<i>Troubles de la reproduction chez les soudeurs : un effet combiné d'expositions chimiques et physiques ?</i> Michiels F.	59
20:00	<b>Dîner de la conférence</b>	

## Mercredi 4 avril

<b>8:00</b>	<b>Enregistrement</b>	
9:00	<i>Etude pilote sur l'évaluation de l'activité physique et du stress aux postes de bureau</i> Ellegast R.	60
9:30	<i>Influence des contraintes physiques et psychosociales au travail sur la prévalence des troubles des cervicales, du dos et des membres supérieurs – étude de suivi sur un an</i> Bugajska J., Żoźniarczyk-Zreda D., Jędryka-Góral A., Gasik R., Hildt-Ciupińska K., Malińska M., Bedyńska S.	62
9:50	<i>Quel est le degré de pénibilité du travail des mineurs ? Evaluation des dépenses énergétiques et de l'astreinte physiologique associées aux travaux souterrains</i> Schutte P.C., Grové T.	63
10:10	<b>Pause Café / Posters</b>	
10:40	<i>Stress au travail chez les mineurs d'Afrique du Sud</i> Edwards AL., Milanzi L., Letsoalo S., Hodgskiss J.	64
11:00	<i>Influence des risques psychosociaux sur la prévention des troubles musculo-squelettiques</i> Cuny-Guerrier A., Caroly S., Aublet-Cuvelier A.	65

11:20	<i>Le tango se danse à deux : de la recherche à la prévention</i> Frings-Dresen M. HW	66
11:50	<b>Table ronde</b>	

**POSTERS**

**Page**

	<i>Analyse de l'exposition professionnelle au bruit et de son impact sur les performances des salariés dans une station de pompage du secteur pétrolier</i> Dal U., Birlik G.	68
	<i>Effets combinés du bruit et d'un mélange de solvants sur la pression sanguine des travailleurs dans la construction automobile</i> Attarchi MS., Golabadi M., Labbafinejad Y. Mohammadi S.	69
	<i>Etude rétrospective des effets du travail posté sur la perte de poids chez des travailleurs du sexe masculin</i> Dr. Latif A., Padmanabhan S.	70

<b>12:30</b>	<b>Allocutions de clôture</b>	
<b>12:45</b>	<b>Fin de la Conférence</b>	







## Toxicologie des mélanges de produits chimiques : introduction, bref historique, avancées récentes et nouveaux axes de recherche

Yang R. SH, Ph.D.

Colorado State University et Ray Yang Consulting, LLC, Fort Collins, United-States

---

Les premiers exemples connus de « toxicologie des mélanges de produits chimiques » pourraient bien être ceux de la médecine chinoise traditionnelle, dont les remèdes étaient constitués d'une décoction de diverses plantes. Le Shen Nong Ben Cao Jing (Classique de la médecine, dont la paternité est attribuée à l'empereur Shennong) est le plus ancien ouvrage sur les plantes médicinales chinoises. Il a été écrit entre le début de la dynastie Qin (221 av. J.-C.) et la fin de la dynastie Han (220 ap. J.-C.), après quelque vingt-deux siècles de pratique de la médecine traditionnelle à base de plantes. Les « médecins » chinois de l'époque ont donc été en quelque sorte les pionniers de la toxicologie des mélanges de produits chimiques. Mais revenons, pour les besoins de cette conférence, à l'époque actuelle : ces vingt ou trente dernières années, nous avons été témoins de progrès rapides dans le domaine de la toxicologie des mélanges de produits chimiques. Les premières études toxicologiques étaient réalisées selon des méthodes et des protocoles conventionnels ; elles étaient essentiellement descriptives. Citons, à titre d'exemples, les études menées parallèlement par le *National Toxicology Program* (États-Unis) et le TNO (Pays-Bas). Puis, tout naturellement, on a fait appel, pour l'étude toxicologique des mélanges de produits chimiques, à des méthodes de plus en plus sophistiquées : méthodes statistiques, modélisation bioinformatique, génomique fonctionnelle, pour n'en citer que quelques-unes. Des exemples illustrant les concepts, démarches et idées mis en œuvre seront présentés. Une série de conférences et d'ateliers internationaux témoignent de l'essor récent des activités dans le domaine de la toxicologie des mélanges de produits chimiques. Citons par exemple : (1) L'atelier Progrès de la recherche sur les mélanges : perspectives et démarches nouvelles pour la prédiction des effets nocifs sur la santé ([Workshop on Advancing Research on Mixtures: New Perspectives and Approaches for Predicting Adverse Human Health Effects](#)), organisé et animé par le *U. S. National Institute of Environmental Health Sciences/National Toxicology Program (NIEHS/NTP)* à Chapel Hill, en Caroline du Nord (États-Unis), en septembre 2011 ; (2) la Conférence internationale sur la toxicologie des mélanges ([International Toxicology of Mixtures Conference](#)), organisée et animée par l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (*Environmental Protection Agency – EPA*) et Elsevier, à Washington DC, en octobre 2011 ; la présente Conférence Multiexpositions 2012 ([Risques pour la santé liés aux multiexpositions](#)), qui est la deuxième d'une nouvelle série de conférences organisées par l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) sur la recherche en matière de santé et de sécurité au travail.

Pour la suite des travaux en matière de toxicologie des mélanges de produits chimiques, deux problèmes se posent avec une acuité particulière. Tout d'abord, il va falloir répondre à la question suivante : « Lorsque l'on cherche à caractériser les effets sur la santé des mélanges de produits chimiques, peut-on prédire la toxicité d'un mélange complexe de façon qu'il soit possible, sur ces bases, de procéder à une évaluation des risques ? ». Entre « oui, bien sûr » et « certainement pas », nul doute que les réponses des différentes équipes de chercheurs couvriront toute une gamme de nuances intermédiaires. Suite à nos travaux au sein de la *Colorado State University*, mes collègues et moi-même présentons une méthode de modélisation des réseaux biochimiques basée sur la modélisation pharmacocinétique (PBPK) ; nous pensons que ce type de modélisation ouvre de nouveaux horizons qui, nous l'espérons, permettront de prédire la toxicologie des mélanges complexes de produits chimiques et d'engager une démarche collective d'évaluation des risques liés à ces mélanges. Le deuxième problème épineux auquel il va falloir s'atteler est celui des effets sur la santé et des impacts environnementaux des nanoparticules : il s'agit souvent de mélanges de produits chimiques présentant des propriétés physico-chimiques inédites. Or ces nanoparticules devraient faire l'objet d'une myriade d'applications commerciales, et les spécialistes des sciences biomédicales et environnementales vont devoir résoudre la problématique très particulière de leurs effets sur la santé et l'environnement.

## Expositions combinées aux agents chimiques en milieu professionnel : évaluation de la situation en France

Vincent R., Clerc F.

Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS)  
Rue du Morvan, CS 60027, 54519 Vandœuvre Cedex, France

*Mots clés : base de données, COLCHIC, co-exposition, agents chimiques, professionnel*

---

L'exposition professionnelle aux agents chimiques est une situation extrêmement complexe en raison de la multiplicité des produits utilisés, des activités et des procédés mis en œuvre. L'exposition à une seule substance correspond de nos jours à des conditions très marginales qui ne concernent probablement qu'un très faible nombre de travailleurs en Europe et dans le monde.

Une évaluation des co-expositions aux agents chimiques a été menée à partir des données archivées dans la base COLCHIC. Créée en 1986, COLCHIC regroupe l'ensemble des mesures d'exposition, effectuées par prélèvement et analyse de l'air des lieux de travail, par les laboratoires de chimie des Caisses d'Assurances Retraite et de la Santé au Travail et de l'INRS. Actuellement COLCHIC contient 850.000 résultats pour 700 agents chimiques dont 160 sont classés Cancérogène, Mutagènes ou Reprotoxiques. Pour mener cette exploitation on a distingué :

- les co-expositions associées, mesures d'agents chimiques effectuées dans des entreprises d'un même secteur par exemple à l'aide de méthodes différentes
- les co-expositions simultanées correspondant à des agents chimiques mesurés simultanément sur le même support de prélèvement dans différentes entreprises.

Cette analyse met en évidence des situations de co-expositions telles que : formaldéhyde-poussières de bois ; cobalt- tungstène ou sulfure de carbone-hydrogène sulfuré. Au total plusieurs centaines de co-expositions associées ou simultanées ont été mises en évidence et hiérarchisées en fonction du nombre d'occurrences par type de co-expositions, d'activités et de métiers.

La situation, décrite au travers de l'analyse de la base COLCHIC, souligne la nécessité de mener des recherches visant à identifier et caractériser les effets combinés de ces co-expositions afin notamment de mieux orienter les actions de prévention.

# Gestion des multi-expositions aux substances toxiques dans l'Industrie

Sébastien P., Duval-Arnould G. & Ripert C.

Saint-Gobain, La Défense, Paris, France

---

## Objectifs

Depuis plusieurs années, un programme d'Hygiène Industrielle est en place dans une branche de Saint-Gobain comprenant plus de 200 sites industriels. La première étape consiste en un recensement de tous les produits chimiques utilisés par les départements de chaque site (Production, Maintenance, R&D) et un enregistrement des substances mentionnées sur les fiches de données de sécurité. Le format standard de l'enregistrement permet de consolider les informations à différents niveaux de l'organisation. La base de données a été analysée pour documenter les multi-expositions.

## Méthodes

A titre d'exemple, l'analyse a porté sur un sous-ensemble de 12 sites dans le secteur des produits abrasifs dits « appliqués » (papiers abrasifs). Les substances étaient identifiées par leur numéro CAS. Une substance a été considérée comme « toxique » dans la mesure où elle figurait sur l'une des trois classifications actualisées : Annexe VI du règlement Européen CLP, ACGIH TLVs vertical booklet 2011, consolidation des monographies IARC. La distribution des substances sur un site était décrite jusqu'au niveau des postes de travail.

## Résultats

Au total, 282 substances toxiques ont été répertoriées dont 16 cancérigènes, 10 repro-toxiques, 1 cancérigène et reprotoxique. Sur la base de critères précis, la toxicité des autres substances a été considérée comme forte (n=49), moyenne (n=110), ou faible (n=96). Des substances toxiques ont été reportées par tous les départements, mais la grande majorité par la production. Concernant les multi-expositions, on a pu dénombrer jusqu'à 14 substances toxiques différentes pour certains postes de travail. La silice cristalline et le formaldéhyde étaient ubiquitaires. L'utilisation des autres cancérigènes n'était pas sectorielle mais locale.

## Conclusions

Cette analyse illustre la problématique des multi-expositions, significative pour certains secteurs industriels. La comparaison des utilisations sectorielles et locales ouvre des perspectives très intéressantes pour la substitution des substances préoccupantes.

## Estimation par modélisation moléculaire des risques pour la santé d'une co-exposition à des nanomatériaux à base de fullerènes et à des substances organiques industrielles

Karilainen T.<sup>1</sup>, Róg T.<sup>1</sup>, Cramariuc O.<sup>1</sup>, Vattulainen I.<sup>1</sup>, Laine O.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tampere University of Technology, Tampere, Finland

<sup>2</sup>Finnish Institute of Occupational Health, Helsinki, Finland

*Mots clé : fullerènes, nanomatériaux, co-exposition, modélisation moléculaire*

---

Des simulations de la dynamique moléculaire ont été utilisées pour estimer les risques pour la santé d'une co-exposition industrielle à des nanomatériaux à base de fullerènes C<sub>60</sub> et à cinq substances organiques. Les substances étudiées étaient l'acétophénone, le benzaldéhyde, l'alcool benzylique, le *m*-crésol et le toluène, toutes potentiellement utilisées avec des fullerènes comme réactifs, ou comme solvants, dans des processus industriels. Selon des études écotoxicologiques antérieures, la co-exposition aux fullerènes et à certains polluants environnementaux pourrait être plus nocive que l'exposition à ces derniers seuls [1, 2].

Les simulations de la dynamique moléculaire ont été réalisées en milieu aqueux sur les fullerènes C<sub>60</sub> et avec les cinq substances chimiques séparément. Au cours de ces simulations, les fullerènes formaient des complexes avec les cinq substances chimiques. Les complexes présentaient un noyau riche en fullerènes et un manteau riche en substances organiques. En d'autres termes, le cœur de l'agrégat contenait toutes les molécules de fullerènes, et l'enveloppe de 90 à 95 % des molécules organiques. Si 10 % des molécules hydrophobes, comme l'acétophénone, le benzaldéhyde et le toluène, étaient dans le cœur des composés, seul 5 % des composés hydrophiles, comme l'alcool benzylique et le *m*-crésol, y étaient.

La complexation des fullerènes avec des substances organiques industrielles, et le fait que des molécules organiques restent à l'intérieur des complexes, signifie que ce type d'agrégats peut constituer une nouvelle voie d'entrée des molécules organiques dans l'organisme en cas de co-exposition professionnelle. Il peut se former, par exemple, dans des aérosols de solvants en milieu professionnel, ou dans les poumons après inhalation. L'hydrophobicité de la molécule organique accroît sa tendance à former des complexes avec des molécules de fullerènes.

- [1] Baun A. *et al.* 2008. Toxicity and bioaccumulation of xenobiotic organic compounds in the presence of aqueous suspensions of aggregates of nano-C<sub>60</sub>. *Aquatic Toxicology* 86: 379-387.
- [2] Ma X. *et al.* 2010. Fullerene nanoparticles affect the fate and uptake of trichloroethylene in phytoremediation systems. *Environmental Engineering Science* 27: 989-992.



## Modification du niveau de toluène sanguin après co-exposition à des mélanges binaires (toluène + autre solvant)

Cosnier F., Nunge H., Décret M.J., Gondrexon J.C., Cossec B.

Institut National de Recherche et de Sécurité pour la Prévention des Maladies Professionnelles et des Accidents du Travail (INRS), Rue du Morvan, CS 60027, 54519 Vandœuvre Cedex, France

[frederic.cosnier@inrs.fr](mailto:frederic.cosnier@inrs.fr)

*Mots-clés : Toluène, Sang, Co-exposition, Biométrie*

---

Les expositions professionnelles sont rarement le fait de produits chimiquement purs mais plutôt celui de mélanges plus ou moins complexes. Selon la composition des mélanges, d'importantes interactions entre les constituants peuvent se produire et modifier leur toxicité. Dans cette étude, nous nous sommes intéressés au toluène dans un contexte de co-exposition. Ce solvant est connu pour ses effets néfastes sur le système nerveux central.

Classiquement, la surveillance de l'exposition professionnelle au toluène peut être réalisée via la métrologie atmosphérique et/ou via le dosage des métabolites urinaires. Bien que moins facile à mettre en œuvre, le dosage du toluène sanguin peut également être entrepris. Puisque la toxicité du toluène est due au produit lui-même et non à ses métabolites, le dosage du toluène sanguin permet d'approcher la quantité de toluène absorbée par l'organisme ; celle-ci étant directement responsable des effets qui pourraient être observés.

Le métabolisme du toluène chez le rat est similaire à celui observé chez l'homme. C'est pourquoi, la mesure des concentrations sanguines en toluène a été entreprise chez des rats Sprague-Dawley exposés par inhalation (6 h par jour pendant 5 jours) à des atmosphères simples de toluène ou à des mélanges binaires contenant du toluène et un autre solvant parmi le n-butanol, la méthyléthylcétone, l'acétate d'éthyle ou le xylène (sous la forme d'un mélange équimolaire des trois isomères). Le sang a été collecté au terme des 1er et 5ème jours d'exposition.

Pour une même concentration atmosphérique en toluène, la concentration sanguine peut être très différente entre les expositions simples et multiples. Ainsi, à titre d'exemple, dans le cas du mélange toluène/méthyléthylcétone, pour des concentrations atmosphériques proches des valeurs limites d'exposition sur 8 heures pour les deux composés (soit 50 et 200 ppm respectivement), une augmentation de la concentration sanguine d'un facteur 3,5 a pu être observée.

Si ces données étaient transposables à l'homme, cela signifierait que, pour un salarié exposé à un tel mélange, le respect des valeurs limites d'exposition ne suffirait pas forcément à le protéger des effets néfastes du toluène. Dans un contexte d'exposition multiple, il conviendra donc de rechercher l'ensemble des substances auxquelles le salarié peut être exposé et d'interpréter les résultats individuels obtenus pour chaque substance dans un contexte d'exposition multiple.

# Cocktails et trajectoires d'exposition professionnelle aux cancérrogènes : l'exemple d'une cohorte de patients atteints de cancer en Seine-Saint-Denis, France

Bertin M.<sup>1</sup>, Counil E.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Groupement d'Intérêt Scientifique sur les Cancers d'Origine Professionnelle  
en Seine-Saint-Denis (GISCOP93), Université Paris 13, Bobigny, France

<sup>2</sup> Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique (EHESP), Paris, France

*Mots clés : Parcours professionnel, exposition aux cancérrogènes, trajectoire, mélange*

---

Divers outils permettent de quantifier l'exposition professionnelle aux cancérrogènes. Les matrices « emploi-exposition », les questionnaires déclaratifs, ou encore l'expertise sont les plus fréquemment utilisés. Ces techniques peuvent également être combinées afin d'améliorer la sensibilité des évaluations. Bien que ces outils soient très utiles pour l'identification des expositions, ils ne parviennent pas à décrire la dimension diachronique et cumulative de celles-ci, ni de rendre compte des associations fréquentes de plusieurs cancérrogènes (mélange ou cocktail).

Ainsi, notre objectif a été d'élaborer des approches novatrices afin (i) d'identifier des mélanges de cancérrogènes fréquemment associés sur différents types de postes, (ii) et d'étudier les trajectoires d'exposition aux cancérrogènes au cours d'un parcours professionnel.

Notre recherche est basée sur une étude permanente menée depuis Mars 2002. Mille dix-sept patients atteints de cancer, pour la majorité broncho-pulmonaires, ont été interviewés. Une expertise pluridisciplinaire a permis par la suite d'identifier les expositions aux cancérrogènes à partir des récits professionnels récoltés par des enquêteurs auprès des patients. Des techniques de classifications ont été utilisées pour identifier des cocktails de cancérrogènes retrouvés sur différents postes de travail. Par ailleurs, une modélisation statistique a été utilisée pour caractériser les types de trajectoires d'exposition aux cancérrogènes dans les parcours professionnels.

Une majorité de patients (85%) a connu au moins une période d'exposition professionnelle entre 1930 et 2010. La poly-exposition concerne les deux tiers des postes exposés. Quatre cocktails de cancérrogènes ont été identifiés : les cocktails bois, métal, peinture et BTP. Ces mélanges regroupent les cancérrogènes les plus fréquemment retrouvés sur des mêmes postes de travail. Enfin, différents types de trajectoires d'exposition aux cancérrogènes ont également été identifiées selon le genre.

En conclusion, la poly-exposition et les trajectoires d'expositions sur l'ensemble du parcours professionnel devraient être davantage prises en compte dans l'évaluation, la prévention et la reconnaissance des risques sanitaires liés aux conditions de travail.

## **Facteurs de risques professionnels et non professionnels du cancer bronchique : une approche globale**

Paris C.<sup>1</sup>, Bourgkard E.<sup>2</sup>, Courouble N.<sup>1</sup>, Clement-Duchene C.<sup>3</sup>, Fevotte J.<sup>4</sup>, Wild P.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>INSERM U954, Faculté de Médecine, Université de Lorraine, 9 rue de la Forêt de Haye,  
54505 Vandœuvre lès Nancy, France

<sup>2</sup>Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), Vandœuvre Cedex, France

<sup>3</sup>Service Pneumologie Clinique CHU, Vandœuvre lès Nancy, France

<sup>4</sup>Unité mixte de recherche épidémiologique et de surveillance en transport, travail et environnement -  
Umrestte, Université Claude Bernard Lyon 1 LYON, France

---

Plusieurs expositions professionnelles sont aujourd'hui reconnues comme facteurs de risque du cancer bronchique. Toutefois, peu d'études ont été consacrées à une approche conjointe de ces facteurs, ce qui peut se traduire par une estimation imprécise du poids des facteurs professionnels dans cette pathologie.

Une enquête cas-témoin en population générale a été réalisée en Lorraine entre 2006 et 2010. Les cas de cancer bronchique histologiquement prouvé, survenant chez des hommes entre 40 et 80 ans et habitant dans le Nord Lorraine ont été inclus. Les témoins, stratifiés sur l'âge, la zone géographique et la catégorie socioprofessionnelle, ont été recrutés par téléphone de manière aléatoire par un institut de sondage. Tous les sujets ont été interrogés à domicile par une enquêtrice formée à l'aide de questionnaires médicaux et professionnels standardisés. Les expositions professionnelles ont été évaluées à l'aide de plusieurs outils dont des questionnaires décrivant les principales tâches exposantes ainsi que des questionnaires spécifiques par branche industrielle, issus de l'enquête Icare. Les données d'exposition ont ensuite été transformées sous la forme de données quantitatives cumulées ou de données qualitatives.

L'étude a inclus 246 cas et 531 témoins, sans différence significative pour les caractéristiques générales entre les deux groupes, à l'exception du tabagisme. Après prise en compte des facteurs non professionnels et professionnels, une relation dose-effet significative indépendante a été observée avec l'exposition cumulée à l'amiante (OR 1,18 IC95% [1,06-1,31] / Ln (années.f/ml +1)), la silice cristalline (OR 1,07 [1,01-1,14] / Ln (années.u +1)), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (OR 1,17 [1,04-1,31] / Ln( années.ng/m<sup>3</sup>)), et avec l'exposition aux gaz d'échappement de moteur diesel (OR 1,66 [1,11-2,49]). Les cas sont significativement plus souvent exposés à 3 (29,3% vs 17,3%) voire 4 (15,5 vs 5,8%) de ces 4 cancérogènes que les témoins (p<0,001). Après prise en compte de ces facteurs, aucune relation n'a été observée pour la fumée de soudure inox, le travail dans les mines de fer et les fibres minérales artificielles. Globalement, la fraction attribuable aux 4 facteurs de risque retrouvés dans cette étude est très élevée (56% [41% + 67%]).

Cette étude confirme le caractère multifactoriel du cancer du poumon, et apporte une description globale des principaux facteurs de risque professionnels. Elle souligne que la part attribuable à ces facteurs peut être très élevée dans certaines régions industrielles.

## Corrélation de données de multiexposition atmosphérique avec des tests génotoxiques : le cas des égoutiers de la ville de Paris

Ferrari L.<sup>1,2</sup>, Pecson-laribi O.<sup>1</sup>, Harteman Ph.<sup>1,3</sup>, Kerautret M.A.<sup>4</sup>, Tiberguent A.<sup>5</sup>, Paris C.<sup>1</sup>, Zmirou-Navier D.<sup>1,6</sup>

<sup>1</sup> INSERM U954, Nancy Université, Faculté de Médecine, France

<sup>2</sup> Faculté de Pharmacie, Nancy, France

<sup>3</sup> Nancy Université, Faculté de Médecine, Laboratoire d'Hygiène, Nancy, France

<sup>4</sup> Laboratoire d'hygiène de la ville de Paris, Paris, France

<sup>5</sup> Service de santé au travail de la ville de Paris, France

<sup>6</sup> EHESP Ecole des hautes études en santé publique-IRSET, 35000 Rennes, France

---

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'association de biomarqueurs intégrés d'exposition (test des comètes et des micronoyaux) et des mesures atmosphériques (HAPs et COVs), en prenant en compte les facteurs influençant la cinétique des polluants. Les égoutiers de la ville de Paris ont une espérance de vie réduite de 5 ans, avec un plus grand risque de cancer. Ils sont exposés à divers mélanges de produits chimiques, parmi lesquels on retrouve de nombreux cancérigènes ou génotoxiques.

Durant trois jours ouvrés consécutifs, les HAPs et COVs ont été prélevés dans l'espace de travail de 34 égoutiers et 30 agents administratifs, comme indicateurs de l'exposition atmosphérique. Le dernier jour, les volontaires ont collecté leurs urines de 24 heures. La génotoxicité des extraits urinaires a été évaluée par les tests des comètes et des micronoyaux sur une lignée cellulaire HepG2.

Les concentrations sur les lieux de travail en HAPs (e.g. 23,7 ng.m<sup>-3</sup> pour le fluoranthène) et en COVs (e.g. 19,1 ± 2,9 µ.m<sup>-3</sup> pour le benzène) étaient plus élevées dans les égouts que dans les bureaux (P < 0.01). Les extraits urinaires des égoutiers avaient une génotoxicité plus importante (P < 0,001) que ceux des agents administratifs (étude BEEC).

Après sélection et récupération des paramètres d'intérêt dans les dossiers médicaux des volontaires, nous avons réalisé une analyse descriptive, et construit des index reflétant les statuts physiologiques des agents. Nous avons intégré ces index dans l'étude BEEC, et réalisé une analyse étiologique à l'aide de modèles univariés et multivariés. L'analyse descriptive des deux populations (égoutiers et administratifs) met en lumière certains facteurs qui pourraient affecter la relation entre les données d'exposition atmosphérique et les biomarqueurs. L'analyse multivariée a montré une association significative entre les données météorologiques et les biomarqueurs d'exposition en prenant en compte les index de fonctionnalité ou les facteurs d'ajustement appropriés.

Les égoutiers sont exposés professionnellement à des mélanges de substances génotoxiques. Il y a une association significative entre l'exposition atmosphérique et les biomarqueurs intégrés non spécifiques.

## Les Doses Journalières Autorisées (DJA) pour les pesticides sont sous-évaluées par négligence des effets des mélanges imputables aux adjuvants

Mesnager R.<sup>1,2</sup>, Clair E.<sup>1,2</sup>, Defarge N.<sup>1,2</sup>, Gress S.<sup>1,2</sup>, and Séralini G.-E.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Université de Caen, Pôle Risques MRSN-CNRS, Lab. Oestrogènes et Reproduction EA2608, Esplanade de la Paix, 14032 Caen cedex, France

<sup>2</sup> CRIIGEN, 40 rue de Monceau, 75008 Paris, France

*Mots-clés: Mélanges, Adjuvants, DJA, Pesticides*

---

Etudier la toxicologie des mélanges représente un grand défi scientifique. A vrai dire, le premier mélange qui devrait être étudié est la formulation des pesticides qui contiennent des adjuvants et un principe actif. Les formulations agricoles sont conçues pour stabiliser les principes actifs et accroître leur pénétration dans les cellules. Et pourtant, dans les tests chroniques *in vivo* destinés à évaluer les pesticides, ce sont des molécules seules qui sont administrées aux animaux. Or ces tests sont à la base des calculs de DJA et de Limite Maximale de Résidus (LMR). La DJA, considérée comme une valeur sûre, est aussi utilisée pour l'évaluation des effets combinés avec d'autres composés, comme pour l'Index de Risque (IR). Ceci est une lacune conceptuelle majeure. Nous avons montré sur dix types cellulaires différents de mammifères que le mélange de glyphosate avec ses adjuvants, soit les principaux herbicides au monde, présente une toxicité de l'ordre de 1 000 fois supérieure à celle du glyphosate seul. Nous posons la question du réductionnisme de l'évaluation réglementaire qui sous-estime systématiquement les effets de mélange imputables aux adjuvants. Ceux-ci incluent des effets de perturbation endocrine. Pour coller à la réalité, la définition de la DJA doit être améliorée en tenant compte des dernières connaissances issues de la littérature scientifique révisée par les pairs. Ceci est une recommandation de la directive 2009/1107. Cette définition doit tenir compte des effets toxicologiques *in vivo* des formulations, notamment de la non-linéarité des effets de perturbation endocrine qui pourraient être accentués dans les mélanges déjà formés par les adjuvants.

## Le « Screening », un outil pour identifier les composés volatils dans une atmosphère de travail multipolluée

Oury B.

Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS)  
Rue du Morvan, CS 60027  
54519 Vandoeuvre Cedex, France

---

L'exposition aux agents chimiques volatils des salariés sur leur lieu de travail est parfois complexe et aucune technique universelle n'est capable de détecter et d'identifier tous les composés toxiques susceptibles d'être présents conjointement dans l'atmosphère qu'ils respirent. Outre les produits utilisés dans l'atelier, l'atmosphère peut aussi contenir divers autres polluants : vapeurs d'impuretés, produits secondaires issus de réactions ou de dégradations, substances, employés dans des ateliers voisins ...

Les différentes techniques de prélèvement actuellement disponibles, actives ou passives, sont largement utilisées pour évaluer spécifiquement l'exposition professionnelle à certaines familles de produits et ne permettent que l'évaluation d'un risque préalablement soupçonné basé sur les connaissances et l'expérience de l'observateur. La méthode de screening, mise au point pour combler ce manque, aide les préventeurs dans cette tâche de diagnostic ; un large spectre de substances volatiles peut être balayé par l'analyse d'un unique prélèvement permettant au préleveur de hiérarchiser les risques en sélectionnant les toxiques à évaluer prioritairement. Les polluants sont collectés au travers d'un tube renfermant plusieurs plages successives d'absorbants associés pour leur capacité à piéger différentes familles chimiques. Après désorption thermique, séparation chromatographique et détection spectrométrique, la plupart des polluants piégés sur ces tubes sont identifiés avec une sensibilité suffisante, de l'ordre de 10 ppb pour un prélèvement de 2 à 4 litres. Le dopage des tubes avec un marqueur ajoute à la méthode une possibilité d'évaluation semi-quantitative des niveaux d'exposition aux composés identifiés et facilite la hiérarchisation des risques.

L'utilisation depuis plus d'une année de cette méthode par des préventeurs confirme son utilité comme méthode de diagnostic pour les atmosphères des lieux de travail multi-pollués ou mal cernés.



## Protection respiratoire et multi-expositions : réflexions sur la nécessité d'intégrer des notions toxicologiques dans le calcul de la durée de vie des cartouches de charbon actif

Drolet D.<sup>1</sup>, Lara J.<sup>2</sup>, Haddad S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail du Québec ([IRSSST](#))  
505 boul. De Maisonneuve Ouest, Montréal. Québec, Canada, H3A 3C2

<sup>2</sup> Université de Montréal, Département de Santé environnementale et Santé au travail ([SEST](#))  
2375, chemin de la Côte Ste-Catherine, Montréal (Québec), Canada, H3T 1A8

*Mot clés : multi-expositions, protection respiratoire, temps de claquage, effets sur la santé*

---

La protection respiratoire utilisée contre les mélanges de solvants est souvent de type filtrante, l'air contaminé étant purifié avec des cartouches de charbon actif. Leur durée de vie utile est limitée et dépend des propriétés de surface du charbon et des propriétés physico-chimiques des contaminants. Le temps de claquage 10% (TC<sub>10%</sub>), temps auquel la concentration du contaminant à l'intérieur du masque (concentration effectivement respirée) est égale à 10% de la concentration incidente, est un indice souvent utilisé pour remplacer les cartouches.

La situation est plus complexe lors de multi-expositions impliquant des solvants de volatilité différente. Il se produit un phénomène de désorption des contaminants retenus dans la cartouche respiratoire avec pour conséquence de retrouver à l'intérieur du masque, de façon transitoire, des concentrations des solvants les plus volatiles plus élevées que les concentrations d'exposition.

Depuis 10 ans, des outils informatiques de prédiction du TC<sub>10%</sub> sont disponibles sur le WEB (Saturisk, 3M, NIOSH). Dans un contexte de multi-expositions, ils utilisent tous un algorithme additionnant l'ensemble des concentrations des solvants et calculant le TC<sub>10%</sub> à partir des paramètres du solvant le plus volatil. Cette approche prudente évite l'exposition des travailleurs à de « fortes » concentrations transitoires, mais elle ne tient pas compte de la concentration réelle du solvant le plus volatil. En ajoutant une concentration infime d'une substance volatile, par exemple l'éthanol, à un mélange de solvants moyennement volatils, la recommandation du TC<sub>10%</sub> peut être diminuée d'une valeur de plusieurs jours ou plusieurs semaines à quelques heures seulement ! Cela conduit à des recommandations qui peuvent être aberrantes et causer une pression économique aux entreprises dans un contexte où les budgets d'achat de cartouches sont limités.

Il importe donc d'introduire à l'algorithme de prédiction du TC<sub>10%</sub> une « valeur toxicologique ajoutée » pour s'assurer que la recommandation de changer une cartouche demeure « pertinente » pour la protection de la santé. Ainsi, la concentration relative de la substance par rapport à sa VLE, la durée de la phase transitoire, le type d'effets sur la santé (aigus, chronique) et la possibilité d'effets additifs ou synergiques devraient être considérés. La sélection du solvant le plus volatil pour calculer le TC<sub>10%</sub> doit donc être basée sur ces critères pour que la recommandation de changer une cartouche prenne tout son sens.

## Les outils de la prévention pour évaluer les risques associés aux co-expositions : modèles PBPK et méthodes alternatives

Tardif R.

Département de santé environnementale et santé au travail, Université de Montréal  
IRSPUM, Montréal, Canada

Il est assez rare que les travailleurs soient exposés à un seul contaminant chimique durant leur journée de travail. Par exemple, l'utilisation importante de plusieurs substances chimiques dans certains procédés industriels donne lieu à des expositions multiples dont les conséquences pour la santé demeurent difficiles à prédire, notamment à cause des possibilités d'interactions qui existent entre elles. En l'absence d'interaction, la toxicité associée à un mélange de substances est considérée égale à la somme des effets toxiques de chacune d'elles à pareil niveau d'exposition (additivité des effets). En présence d'interaction, les effets peuvent être supra-additifs (synergie, potentialisation) ou infra-additifs (antagonisme). Ces modulations de la toxicité peuvent provenir de modifications toxicocinétiques (ex, altération du métabolisme) ou toxicodynamiques (ex, altération de l'intensité des effets).

En santé du travail, la pratique actuelle relative à l'exposition à des mélanges repose sur l'hypothèse, par défaut, que les effets soient additifs (effets similaires); bien sûr une telle hypothèse peut sous-estimer comme surestimer les effets.

Les critères sanitaires utilisés aujourd'hui pour évaluer le risque associé aux substances chimiques (VLEP, TLV) sont déterminés sur une base individuelle et ne tiennent pas compte de la possibilité que des interactions puissent survenir en présence de plusieurs substances. Pour chacune d'elle, les critères sont déterminés à partir d'un effet critique (parmi plusieurs possibles) provenant d'études épidémiologiques, ou plus souvent toxicologiques (animales), qui permettent d'identifier des doses repères : NOAEL (no observable adverse effect level), LOAEL (lowest observable adverse effect level) ou BMD (Benchmark dose) pour les non-cancérogènes (avec seuil); excès de risque unitaire (ERU) pour les cancérogènes (sans seuil).

Il existe diverses approches/outils permettant d'appréhender ou d'estimer les effets potentiels pour les travailleurs résultant d'expositions à des mélanges.

L'une d'elles, préconisée par l'ACGIH<sup>®</sup>, consiste à calculer un indice d'exposition (critère sanitaire) pour un mélange appelé  $R_m$ . Cet indice correspond à la somme des rapports C/T de chaque substances du mélange, où C représente la concentration (exposition) d'une substance dans le milieu et T la valeur de sa VLEP ( $R_m = C_1/T_1 + C_2/T_2 + \dots + C_n/T_n$ ). Dans le cas où la valeur de  $R_m$  est  $\geq 1$ , le critère sanitaire est dépassé. Cependant cette approche n'est valable que dans l'hypothèse d'additivité des effets, c'est-à-dire dans le cas où les effets suspectés sont similaires et affectent les mêmes organes. Une des limites de cette approche est qu'elle ne prend en compte que l'effet critique qui a été choisi pour le calcul du critère sanitaire d'une substance en particulier et non sur la toxicité potentielle du mélange.

Un outil WEB (Utilitaire *miXie/IRSST-Québec*) a récemment été développé et mis à disposition des intervenants ; il permet d'identifier rapidement les situations d'exposition à des mélanges pouvant donner lieu non seulement à des effets additifs mais également à des effets infra-additifs ou supra-additifs. Cet utilitaire comporte une base de données extensive sur la toxicologie de 695 substances et permet non seulement un calcul rapide du  $R_m$ , mais également de statuer sur la possibilité que l'exposition à un mélange donné puisse causer des effets supra- ou infra-additifs.

Plus récemment, la modélisation toxicocinétique (modèles PBPK) a été proposée comme une alternative intéressante pour évaluer le risque, à la différence toutefois que l'évaluation est basée sur une estimation de la dose interne de chacune des substances d'un mélange, laquelle est déterminée par le comportement des substances dans l'organisme (ex, absorption, élimination). Des études récentes ont montré qu'il est possible en recourant à cette approche de prédire les changements engendrés par l'exposition à un mélange sur des indicateurs d'exposition interne [ $AUC_{tissu}$  (Aire sous la courbe de la concentration tissulaire versus le temps),  $C_{max}$  (concentration sanguine maximale), métabolites...] ou sur la concentration/quantité de substance toxique dans un tissu cible. Il est alors possible de calculer un indice de danger pour un mélange ( $HI_{mélange}$ ) qui tient compte des interactions possibles au niveau toxicocinétique. Dans ce cas, la valeur de  $HI_{mélange}$  correspond à la somme des rapports  $AUC_{tissu}/AUC_{tissu-VLEP}$  de chaque substance du mélange, où  $AUC_{tissu}$  est l'aire correspondant à sa concentration d'exposition et,  $AUC_{tissu-VLEP}$ , l'aire pour une exposition à la VLEP ( $HI_{mélange} = AUC1_{tissu}/AUC1_{tissu-VLEP} + AUC2_{tissu}/AUC2_{tissu-VLEP} + \dots + AUCn_{tissu}/AUCn_{tissu-VLEP}$ ). Une approche similaire est possible pour les toxiques sans seuil.

## Modélisation prédictive des interactions métaboliques pour des mélanges complexes

Bois F.Y.<sup>1,2</sup>, Cheng S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INERIS, DRC/VIVA/METO, Parc ALATA, BP 2, 60550 Verneuil en Halatte, France

<sup>2</sup> Université technologique de Compiègne, Chaire de modélisation mathématique pour la toxicologie systémique, Centre de recherche de Royallieu, BP 20529, 60205 Compiègne Cedex, France

*Mots-clés: Interactions, Métabolisme, Mélanges complexes, Toxicologie prédictive*

---

La prédiction des interactions métaboliques entre substances chimiques, suite à des expositions au travail, ailleurs, par l'alimentation et les traitements thérapeutiques, est *a priori* d'une redoutable complexité. Ces interactions contribuent aux expositions "de base", qui conditionnent largement les susceptibilités inter-individuelles, mais n'ont pas en elle-mêmes de valeur prédictive. Cependant, la simple modélisation des interactions métaboliques entre substances est très complexe pour des mélanges réalistes de dizaines ou centaines de substances.

Nous avons développé une nouvelle approche et de nouveaux outils de modélisation mathématique de l'absorption, distribution, élimination et métabolisme des produits chimiques. Notre logiciel *GNU MCSim* est maintenant capable de fusionner des modèles de voies métaboliques pour des collections de substances et de les coupler à un modèle pharmacocinétique physiologique (PBPK) générique. Le modèle global ainsi généré peut simuler les interactions entre un nombre théoriquement illimité de substances. La complexité du modèle n'augmente que linéairement avec le nombre de substances considérées, alors que le nombre d'interactions possibles croît exponentiellement.

Nous présentons des résultats obtenus avec des mélanges simulés de 30 à 50 substances, ainsi que des simulations prédictives d'interactions dans le mélange benzène, toluène, éthylbenzène et m-xylène (BTEX). Le comportement quantitatif des réseaux synthétiques a été analysé à l'aide de simulations stochastiques. Pour BTEX, des modèles individuels de la cinétique et du métabolisme de ces substances ont été calibrés par simulations MCMC. Les prédictions du modèle pour des mélanges BTEX ont été validées à l'aide de données sur ces mélanges mêmes. Un modèle mécaniste des compétitions de BTEX pour l'enzyme CYP2E1 donne des prédictions qualitativement correctes et quantitativement acceptables des données. Des modèles un peu plus complexes (incluant des isoformes enzymatiques, des compétitions entre produits parents et métabolites, ou des inductions enzymatiques) pourraient être développés et pourraient aisément améliorer nos prédictions pour BTEX.

Nous concluons qu'une approche de biologie systémique pour la prédiction des interactions métaboliques à large échelle est avantageuse sur plusieurs plans et techniquement faisable. Cependant, il est nécessaire de développer des méthodes efficaces pour obtenir les valeurs de micro-constantes de réactions métaboliques.



## POSTERS

# Développement et validation d'une méthode d'extraction en ligne couplée à la LC/MSMS pour l'analyse de biomarqueurs issus de l'exposition au 1-3 butadiène et à l'acrylonitrile dans des échantillons urinaires

Duret B.<sup>1</sup>, Nicolas A.<sup>2</sup>, Rousseau J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Thermo Fisher, Les Ulis, France

<sup>2</sup> Toxilabo, Nantes, France

*Mots clés: LC/MSMS, extraction en ligne, CEMA, MHBMA et DHBMA*

---

## Objectif

La LC/MS est véritablement un outil de choix pour l'analyse et la quantification de petites molécules. Cependant la qualité des résultats est très étroitement liée à la préparation de l'échantillon. Les méthodes les plus communément utilisées dans ce domaine sont la SPE (Solid Phase Extraction) et l'extraction liquide-liquide. Ces deux méthodes présentent cependant des limitations en terme de coût de réactifs mais aussi de main d'œuvre. Nous présenterons ici une méthode d'extraction en ligne couplée à la LC/MS dédiée à l'analyse biomarqueurs de l'acrylonitrile et du 1-3 butadiène dans des échantillons urinaires.

## Méthode

Les échantillons d'urine sont tout d'abord centrifugés et un volume de 50µl injecté dans une colonne Hypercarb pour extraction. Les composés piégés sur cette colonne sont ensuite élués vers une colonne analytique (Accucore HILIC, 50 x 2.1mm, 2.6 µm) à l'aide d'un solvant organique pour séparation. Cette séparation sur colonne analytique est réalisée à l'aide d'un gradient chromatographique d'une dizaine de minutes et les composés sont ensuite analysés par spectrométrie de masse tandem (Appareil Triple quadripolaire Ultra - Thermo Scientific équipé d'une source electrospray).

## Résultats

Des courbes de calibration ont respectivement été établies entre 100 et 10 000 ng/ml pour le DHBMA (N-acétyl-S-(3,4-dihydroxybutyl)cystéine), de 1 à 100 ng/ml pour le MHBMA, un mélange de S-(1-hydroxy-2-butène-1-yl)-N-acétyl-cystéine et de S-(2-hydroxy-3-butène-1-yl)-N-acétyl-cystéine et de 10 à 1000 ng/ml pour le CEMA (N-acétyl-S-(2-cyanoéthyl)cystéine) dans l'urine. Des injections répétées de contrôles qualités ont permis d'évaluer la répétabilité et la fidélité intermédiaire avec des valeurs de CV obtenues toujours inférieures à 15%. La précision est bonne avec un biais moyen inférieur à 15%. La justesse est également correcte avec des valeurs très proches de 100% et ceci aux 3 niveaux de concentration des contrôles qualités. La spécificité a été vérifiée : aucune interférence au niveau de l'étalon interne ni des molécules analysées n'a été observée. Les limites de quantification sont respectivement de 2 ng/ml pour l'ensemble des molécules.

## Conclusion

La méthode développée satisfait très largement aux critères de validation analytique. Elle est en effet simple, sensible, spécifique, répétable, reproductible, juste, linéaire et rapide.

## Surveillance biologique de l'exposition professionnelle à plusieurs composés organiques volatils par la mesure de leur fraction résiduelle dans l'urine

Erb A., Marsan P., Robert A.

Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS)  
Rue du Morvan, CS 60027, 54519 Vandœuvre Cedex, France

*Mots-clefs : COV, surveillance biologique, multi-expositions, Headspace*

---

Les multiexpositions aux produits chimiques sont fréquentes en milieu professionnel et représentent une problématique d'actualité. Ainsi, d'après les résultats de l'étude Sumer 2003, 20% des salariés seraient exposés à au moins 5 agents chimiques. Parmi les composés chimiques dangereux pour la santé, de nombreux composés organiques volatils (COV) sont couramment utilisés en industrie et sont classés parmi les CMR (composés carcinogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction) ou encore parmi les composés ototoxiques. Pour évaluer les expositions professionnelles aux COV, une voie alternative au suivi de l'excrétion urinaire de métabolites pertinents consiste à mesurer les concentrations résiduelles des COV non métabolisés dans l'urine. La technique de l'analyse de l'espace de tête (Headspace) permet d'éviter les traitements préalables et généralement fastidieux de l'échantillon urinaire, étape souvent nécessaire lors de la mise en œuvre des techniques traditionnelles. L'utilisation d'un système d'headspace dynamique couplé à un chromatographe en phase gazeuse et à un spectromètre de masse permet en outre d'obtenir des sensibilités élevées, nécessaires à ce type d'analyse.

Dans un premier temps, une méthode est mise au point pour analyser simultanément des composés de type hydrocarbure aliphatique et aromatique ainsi que des composés chlorés. Cette méthode pourra ensuite être utilisée en entreprise pour évaluer les multiexpositions sur le terrain.



## Multiexpositions professionnelles aux gaz dans les centrales électriques

Jumpponen M.<sup>1</sup>, Rönkkömäki H.<sup>2</sup>, Pasanen P.<sup>3</sup>, Laitinen J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Finnish Institute of Occupational Health, Neulaniementie 4, FI-70101 Kuopio, Finland

<sup>2</sup> Finnish Institute of Occupational Health, Aapistie 1, FI-90220 Oulu, Finland

<sup>3</sup> University of Eastern Finland, Department of Environmental Sciences,  
Yliopistoranta 1, FI-70211, Kuopio, Finland

*Mots clés : centrale électrique, cendre, gaz, multiexpositions*

---

Toute combustion génère une pollution atmosphérique sous forme de gaz, de composés organiques et de particules. Les problèmes environnementaux dus aux gaz de combustion des centrales électriques ont été étudiés dans le monde entier, les composants de ces gaz étant particulièrement nocifs pour la santé et néfastes pour l'environnement. En dépit de ce constat, l'exposition des salariés à ces composés reste peu étudiée.

L'objet de cette étude était de mesurer l'exposition des salariés à ces gaz lors des opérations de retrait des cendres et de maintenance dans des centrales électriques alimentées par de la biomasse. Nous avons eu recours à l'utilitaire Mixie pour évaluer les risques liés aux gaz auxquels sont exposés ces salariés. Nous avons utilisé les concentrations maximales des gaz (CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S et NH<sub>3</sub>) afin de déterminer les effets du scénario d'exposition le plus défavorable.

Les résultats ont montré qu'une exposition de courte durée à des concentrations élevées de gaz peut avoir des effets nocifs sur la santé des salariés exposés, avec des effets aigus tels qu'une perturbation du transport de l'oxygène, une irritation des voies aériennes supérieures et des troubles du système nerveux central. Parmi les concentrations de gaz mesurées, celles ayant le plus d'effets multiples sur l'irritation des voies aériennes supérieures représentaient 4,6 fois la valeur limite applicable en cas de multiexpositions aux gaz lors des opérations de maintenance effectuées dans une centrale électrique alimentée par de la tourbe. Lors des opérations de retrait des cendres effectuées dans les centrales électriques alimentées par des combustibles recyclés, les effets multiples représentaient 70 % de ceux enregistrés dans les centrales alimentées par de la tourbe, contre 9 % pour les centrales au bois.

Nous recommandons aux salariés qui travaillent dans des centrales électriques à biomasse d'utiliser au minimum des appareils de protection respiratoire à ventilation assistée, munis de cartouches filtrantes de type ABEK+P3 et de détecteurs de monoxyde de carbone ou, de préférence, des appareils de protection respiratoire à adduction d'air comprimé.

## Habitations incendiées : multiexpositions du personnel chargé de la réhabilitation et des enquêteurs

Laitinen J.<sup>1</sup>, Mäkelä M.<sup>1</sup>, Oksa P.<sup>1</sup>  
Hakkarainen T.<sup>2</sup>, Tillander K.<sup>2</sup>, Järnström H.<sup>2</sup>, Paloposki T.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Finnish Institute of Occupational Health, Topeliuksenkatu 41 a A, FI-00250 Helsinki, Finland

<sup>2</sup> VTT Technical Research Centre of Finland, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland

*Mots clés : personnel chargé de la réhabilitation des sites incendiés, enquêteurs incendie, habitations incendiées, multiexpositions*

---

Le personnel chargé de la réhabilitation des habitations incendiées et les enquêteurs missionnés pour déterminer les circonstances de ce type de sinistres sont exposés à de nombreux agents chimiques, tels que des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), des composés organiques volatils et des particules ultrafines. Si les effets d'un seul de ces agents sont bien connus, les données sur les effets des multiexpositions ne sont pas encore stabilisées. En outre, les multiples voies d'exposition (système respiratoire, absorptions cutanée et gastro-intestinale) sont des facteurs de confusion supplémentaires qui ne facilitent pas l'évaluation des risques.

Cette étude avait pour objet d'évaluer les multiexpositions aux HAP chez le personnel chargé de la réhabilitation des habitations incendiées et les enquêteurs ; cette évaluation s'est faite par le biais de mesurages sur sites, dans des conditions où le personnel portait des équipements de protection individuelle standard ou améliorés. L'exposition potentielle par inhalation aux hydrocarbures aromatiques polycycliques a été mesurée dans la zone respiratoire du personnel concerné. L'exposition réelle aux hydrocarbures aromatiques polycycliques au niveau des mains a été mesurée par analyse de l'eau de lavage des mains, et l'exposition du corps entier a été estimée par analyse d'échantillons cutanés prélevés sur la poitrine et le dos des personnes, sous les vêtements de protection. L'exposition totale a été évaluée par le dosage de deux métabolites urinaires, le 1-hydroxypyrene et le 1-naphtol. Les échantillons urinaires ont été prélevés avant exposition, immédiatement après exposition, six heures après la fin de l'exposition et le lendemain matin. Les facteurs d'équivalence toxique des HAP ont été pris en compte pour le calcul des multiexpositions à 15 hydrocarbures aromatiques polycycliques différents, et la somme des résultats a été comparée à la valeur limite finlandaise pour le benzo[a]pyrène.

De faibles concentrations de HAP ont été relevées dans l'atmosphère des sites d'habitations incendiées. Les concentrations les plus élevées ont été mesurées lors de la réhabilitation des sites. La biométrie a confirmé ces résultats. Bien que les niveaux d'exposition soient peu élevés, l'analyse de l'eau de lavage des mains a démontré l'importance du port de gants de protection contre les substances chimiques pour la prévention de l'exposition des mains. Par ailleurs, l'analyse des prélèvements cutanés a démontré que le port de combinaisons était utile pour prévenir l'exposition au niveau du corps entier.

## Estimation du risque lié à l'exposition à des mélanges de pesticides : étude des effets additifs vis-à-vis de la transactivation du Pregnane X Receptor

Nawaz A., de Sousa G., Rahmani R.

Toxicologie Cellulaire et Moléculaire des Xénobiotiques, Centre de Recherche INRA  
AGROBIOTECH, 400 Route des Chappes, 06903, Sophia Antipolis, France

Les pratiques agricoles dans les états industrialisés font largement appel à l'utilisation de pesticides. Ainsi, l'homme est exposé bien malgré lui à une multitude de pesticides résiduels au travers de son alimentation et de son environnement. Les effets toxicologiques de ces composés sont difficilement extrapolables à partir des données réglementaires disponibles pour chacun d'entre eux. L'objectif de cette étude, menée *in vitro*, est l'évaluation toxicologique de mélanges de pesticides, retenus sur la base de leur fréquence de contamination dans les denrées alimentaires. Il a, dans un premier temps, été nécessaire de modéliser les « cocktails » de pesticides auxquels la population française est exposée à travers son alimentation (ANSES). Parmi les nombreuses cibles potentielles de ces molécules, le « pregnane X receptor » (PXR, NR112) régule l'expression d'une batterie de gènes impliqués dans le métabolisme et l'élimination des xéno- et endo-biotiques au niveau hépatique. L'activation et/ou l'inhibition du PXR par ces différents composés (seuls et en association) a été évaluée à l'aide d'une lignée transfectée de façon stable (HepG2-PXR), permettant ainsi d'analyser les interactions de type synergie, additivité, ou potentialisation, pouvant survenir. Sept cocktails, définis comme représentatifs de l'exposition alimentaire de la population française, ont donc été étudiés (dose réponse : 7 concentrations). Les 3 cocktails présentant le plus fort pouvoir de transactivation du PXR ainsi que chaque composant ont été modélisés après bootstrap (5 parameter's curve fitting). Ces résultats ont été confrontés au modèle théorique de « concentration addition » défini par Loewe. Les cocktails ont été évalués en concentration équimolaire mais également en proportion réelle d'exposition. Pour un des cocktails composé de 6 pesticides, le potentiel de transactivation relatif à celui de la rifampicine (agoniste modèle du PXR, EC50=1,8µM) s'échelonnait entre 1,5 et 26,9, un seul pesticide n'ayant aucun effet. Néanmoins, les 3 mélanges induisaient de façon significative l'expression du CYP3A4 dans des hépatocytes humains (x 2,9 à 3,8 : 10µM, 72 h d'exposition). Cet effet pourrait avoir un impact sur la biotransformation des xéno- et endo-biotiques *in vivo*. Nos résultats montrent que l'utilisation de lignées transfectées stables utilisant des promoteurs humains impliqués dans la détoxification des pesticides pourraient s'avérer d'un grand intérêt pour tenter d'estimer les potentiels dangers et risques liés à l'exposition aux pesticides.

Nous tenons à remercier l'ANR et HEC pour leur soutien financier (Projet 2008-016 01 PERICLES).





# Panorama français des expositions aux agents ototoxiques dans les entreprises bruyantes

Clerc F., Vincent R.

Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS)  
Rue du Morvan, CS 60027, 54519 Vandœuvre Cedex, France

*Mots clés : base de données, COLCHIC, ototoxicité, agents chimiques, professionnel*

---

Cet article présente des données d'exposition au bruit conjointes à des données d'exposition atmosphériques de certains agents chimiques dont l'ototoxicité est avérée ou suspectée.

A partir des données de la base COLCHIC, sept substances chimiques utilisées par les travailleurs français sont étudiées : plomb, styrène, toluène, trichloroéthylène, éthylbenzène, n-hexane et xylène. Créée en 1986, COLCHIC regroupe l'ensemble des mesures d'exposition, effectuées par prélèvement et analyse de l'air des lieux de travail, par les laboratoires de chimie des Caisses d'Assurances Retraite et de la Santé au Travail et de l'INRS. Actuellement COLCHIC contient 850.000 résultats pour 700 agents chimiques. Parmi ces mesures, près de 300.000 ont été recueillies depuis 2002 en référence à une Valeur Limite d'Exposition Professionnelle de 8h (prélèvement individuel) dont près de 40.000 concernent les sept agents ototoxiques préalablement mentionnés. Pour chacune de ces substances, l'exposition des travailleurs est présentée, ainsi que le détail par secteur d'activité professionnelle et par métier. Il est connu que les mesures de l'exposition à une substance chimique suivent une loi log normale à partir de laquelle ce profil d'exposition est calculé.

Ces profils d'exposition à des substances sont comparés aux niveaux d'exposition moyens au bruit par secteur d'activité et métier recueillis sur la base des données compilées par la Suva (organisme Suisse de prévention, assurance et réadaptation professionnelles).

De manière générale, on montre que les travailleurs de l'industrie chimique et du travail du bois sont confrontés à des niveaux d'exposition plus élevés que la moyenne à certaines substances ototoxiques. Parallèlement, ces activités ainsi que les fonderies ou le travail des matières plastiques sont des secteurs où les niveaux de bruit moyens sont souvent supérieurs au seuil de danger.

Les travailleurs de ces secteurs devraient donc être tout particulièrement sensibilisés à la prévention des troubles auditifs.

# Etude et évaluation des multi-expositions dans le système de mesure et d'évaluation des expositions des organismes allemands d'assurance accidents (MGU)

Gabriel St.

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA),  
Sankt Augustin, Germany

*Mots clés : étude des multi-expositions, bruits et substances chimiques,  
banques de données MEGA et MELA, substances ototoxiques*

---

En raison des risques multiples auxquels les salariés peuvent être exposés aujourd'hui en milieu professionnel, l'identification et l'évaluation des risques prennent une importance particulière. Il n'est généralement pas possible d'estimer le rôle des substances dangereuses, des agents biologiques, des facteurs climatiques ou du bruit en cas de co-exposition, ni de définir les mesures de prévention appropriées.

Le système MGU a été conçu pour étudier et évaluer les expositions aux substances dangereuses, aux agents biologiques, aux facteurs climatiques et au bruit en milieu de travail. Les données sur l'exposition sont enregistrées dans les bases de données MEGA (substances dangereuses) et MELA (bruit).

Les données de ces deux bases MGU sont indexées dans la plupart des cas au moyen de codes identiques. Le codage des secteurs industriels, des postes de travail et des activités permet de sélectionner des données expérimentales selon divers critères. Il est ainsi possible de réunir des données totalement anonymes concernant des postes de travail similaires, et de les soumettre à un traitement statistique.

Le premier exemple de multi-expositions concerne des postes de travail sur métaux durs. Les métaux durs sont des matériaux comportant une phase dure, souvent du carbure de tungstène, une phase de liaison en métal mou, souvent du cobalt, et des métaux auxiliaires. Les valeurs mesurées ont été classées par types de postes de travail.

Le second exemple est relatif à l'exposition aux solvants organiques, responsables de polyneuropathies et d'encéphalopathies. La banque de données fait apparaître des multi-expositions aux solvants organiques lors de pulvérisations ou d'applications au pinceau de peintures et de vernis.

Dans un troisième exemple, 170 000 données expérimentales relatives à des substances ototoxiques, provenant de quelque 15 000 entreprises, ont été évaluées. De plus, les mêmes secteurs industriels et postes de travail ont été évalués dans la banque de données MELA afin de réaliser des analyses comparatives sur le bruit.

## Hauts niveaux d'exposition au styrène et fonction cochléaire dans un échantillon de travailleurs exposés : étude pilote

Sisto R.<sup>1</sup>, Cerini L.<sup>1</sup>, Gatto MP.<sup>1</sup>, Gherardi M.<sup>1</sup>, Gordiani A.<sup>1</sup>, Paci E.<sup>2</sup>, Sanjust F.<sup>1</sup>, Papaleo B.<sup>2</sup>, Tranfo G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INAIL ex-ISPEL, Département d'hygiène du travail, Monteporzio Catone, Rome, Italie

<sup>2</sup> INAIL ex-ISPEL, Département de médecine du travail, Monteporzio Catone, Rome, Italie

---

L'objet de cette étude était d'évaluer les effets ototoxiques de fortes concentrations de styrène, associées ou non à une exposition concomitante au bruit. La fonction cochléaire était évaluée en mesurant les émissions otoacoustiques évoquées transitoires (EOAET) et les produits de distorsion acoustique (PDA). Le rapport amplitude/intensité a été également enregistré et analysé.

Des sujets exposés à de fortes concentrations de styrène ont été sélectionnés dans une fabrique italienne de fibres de verre renforcées. Diverses méthodes d'évaluation de l'exposition aux solvants organiques (EBTx) ont été utilisées. Un monitoring atmosphérique a été réalisé au moyen d'un système d'échantillonnage passif « Radiello » et de pompes actives à flux contrôlé. Une méthode spécifique, innovante, a été utilisée pour évaluer directement la concentration de styrène dans la salive. Ce procédé permettait notamment d'évaluer le solvant inspiré même lorsque les travailleurs portaient des équipements de protection individuelle. L'absorption biologique a été estimée en mesurant la concentration urinaire d'acide mandélique et d'acide phénylglyoxylique (MA+PGA). L'exposition au bruit était aussi évaluée au moyen d'exposimètres portatifs.

Les données relatives à l'exposition aux EBTx étaient corrélées entre elles. On observait une bonne corrélation entre les doses ambiantes, les concentrations salivaires et les concentrations de MA+PGA. Des niveaux élevés d'exposition au styrène, relevés dans le groupe de travailleurs exposés également à des niveaux de bruit modérés (de l'ordre de 80 dBA), étaient proches des valeurs limites des indicateurs biologiques (400 mg/g de créatinine urinaire) et de la valeur limite atmosphérique pondérée sur 8 h, qui est de 20 ppm. Un modèle statistique de régression multivariée a été utilisé pour étudier la corrélation entre les émissions otoacoustiques (en particulier le PDA mesuré à f2=3 kHz) et les variables quantifiant l'exposition. Si l'on considère des sujets normo-entendants (seuil d'audition ≤ 20 dB HL à chaque fréquence audiométrique), les émissions otoacoustiques ont permis de discriminer les sujets exposés des témoins.

Auteur correspondant :

Renata Sisto

e-mail [renata.sisto@ispeil.it](mailto:renata.sisto@ispeil.it)



# Exposition professionnelle au bruit et aux solvants et usage d'analgésiques : facteurs de risque d'acouphènes et de perte auditive dans une cohorte de jumeaux

Johnson A.C., Turunen-Taheri S., Skjonsberg A.

Unit of Audiology, Dept. Clinical Science, Intervention and Technology,  
Karolinska Institutet, Sweden

*Mots clés : bruit et facteurs extraprofessionnels, acouphènes, perte auditive, jumeaux*

---

## Contexte

L'hypoacousie et les acouphènes peuvent avoir différentes causes, dont les plus courantes sont l'exposition au bruit et/ou aux solvants, l'usage d'analgésiques, des facteurs héréditaires/génétiques, certaines maladies, ainsi que le processus normal de vieillissement. La Suède possède un registre des jumeaux unique en son genre, il regroupe des données sur environ 85 000 jumeaux nés après 1886 ; à partir de ce registre, une cohorte a été constituée pour étudier les facteurs de risque d'acouphènes et de perte auditive.

## Matériel et méthodes

Une cohorte de jumeaux de sexe masculin (n~1100 ; âge 34-78 ans) a été constituée pour étudier la fréquence d'apparition des acouphènes. Était notamment étudiée l'influence, sur les acouphènes et la perte auditive, de l'usage d'analgésiques (salicylates et anti-inflammatoires non stéroïdiens –AINS) et de l'exposition professionnelle au bruit et aux solvants. L'audition était évaluée par audiométrie tonale et à l'aide d'un questionnaire très complet sur la santé et les expositions professionnelles.

## Résultats

13,5 % des jumeaux (n=146) souffrait d'acouphènes symptomatiques. Dans ce groupe, les seuils d'audition étaient plus élevés, et on notait une exposition plus fréquente aux salicylates/AINS, au bruit et aux solvants que chez les sujets qui ne signalaient pas d'acouphènes. Le risque d'acouphènes augmentait également avec l'âge. Pour l'ensemble de la cohorte, une corrélation statistique significative a été établie entre l'usage de salicylates/AINS et l'exposition au bruit d'une part, et la perte auditive à 4000 Hz d'autre part.

# Signification des distorsions cochléaires relatives aux dommages des cellules ciliées externes induits par le bruit et par des molécules ototoxiques

Avan P., Giraudet F., Gilain L., Mom T.

Laboratoire de Biophysique des handicaps sensoriels (UMR INSERM 1107),  
Faculté de médecine, Université d'Auvergne, Clermont-Ferrand, France

---

Les effets délétères d'une exposition combinée au bruit et à des agents chimiques ototoxiques sur le système auditif périphérique sont largement rapportés dans la littérature. Des dommages anatomiques des cellules sensorielles sont souvent mentionnés, en particulier des dommages concernant les cellules ciliées externes (CCE) connues pour leur fragilité. Plusieurs mécanismes de synergie rendant le bruit plus dangereux en présence de molécules agressives ont été pointés du doigt. Certains d'entre eux portent directement sur les effets induits sur les CCEs : la présence prolongée de molécules dans les cellules augmente leur sensibilité aux stimulations mécaniques par des bruits de forte intensité ; d'autres relèvent d'effets indirects : par exemple, il a été suggéré que certaines molécules chimiques perturberaient le fonctionnement du système nerveux central ce qui ferait disparaître la protection des structures cochléaires par le réflexe de l'oreille moyenne ou le réflexe efférent. En augmentant l'énergie acoustique atteignant la cochlée, ces molécules abaisseraient le seuil à partir duquel l'exposition au bruit serait potentiellement dangereuse.

Le but de cette présentation est de faire une revue des méthodes audiologiques qui permettent de tester et d'enregistrer le fonctionnement des cellules sensorielles, ou de mettre en évidence des dommages infra-cliniques, ou des risques inhérents à des expositions combinées.

La perte, ou la simple diminution de l'efficacité des CCEs, connues pour être particulièrement vulnérables, provoque des pertes en sensibilité et des pertes de sélectivité en fréquence parallèlement à la diminution de la capacité de la cochlée à distordre et à émettre des otoémissions acoustiques (OAEs).

La sensibilité peut être évaluée par une technique d'audiométrie tonale (Békésy) et, avec une précision accrue et de façon plus complète, en s'appuyant sur des méthodes audiométriques utilisant un balayage en fréquence automatique (Audioscan). Mais il a été montré que des dommages cellulaires pourraient exister même lorsque les seuils auditifs restent normaux, ceci étant particulièrement vrai pour des dommages relatifs aux basses fréquences. L'ajout de méthodes objectives est très souhaitable pour consolider les preuves en cas de procédure légale. Toutefois, il faut bien garder à l'esprit qu'il n'existe pas de méthodes simples et rapides qui permettent d'examiner la sélectivité en fréquence. Non-invasive, objective, rapide et spécifique en fréquence, la détection des produits de distorsion acoustiques (PDA) a plusieurs avantages. Le premier d'entre eux est que le mécanisme qui engendre les PDAs est aussi celui mis en œuvre dans la production d'une haute sensibilité cochléaire et une grande sélectivité en fréquence. Il s'ensuit qu'une diminution des amplitudes de PDAs permet de quantifier le dysfonctionnement d'une étape assurant la sensibilité cochléaire et la sélectivité en fréquence. Puisque les données relatives aux PDAs peuvent difficilement être normalisées en raison d'une part, de la diversité des protocoles, et d'autre part, de la dispersion des données, les sujets inclus dans un programme de tests basés sur le recueil des PDAs se doivent d'être leur propre témoin. Le second avantage est que les mesures de PDAs permettent d'établir une carte fonctionnelle des pertes dues aux dommages des CCEs. Il est donc fondamental de déterminer d'où viennent les PDAs, et, pour assurer une bonne lecture des cartes fonctionnelles dessinées, quelles ultrastructures des CCE sont endommagées lorsque les PDAs sont affectés. Dans le cas d'un dysfonctionnement avéré, il serait bon de savoir si le dysfonctionnement est de nature fonctionnelle ou anatomique, ce dernier étant plus difficilement réversible.

Cette présentation aura pour but de passer en revue les preuves de ce que l'origine des PDAs repose sur le comportement non-linéaire des canaux mécano-transducteurs présents dans les touffes stéréociliaires et non, par exemple, sur l'électromotilité des CCEs. La relation entre la présence ou l'absence de PDAs et la présence et l'absence du gain cochléaire (qui, lui, fait intervenir l'électromotilité) n'est donc pas immédiate. La propagation des PDAs de l'endroit où ils ont été engendrés jusqu'au canal auditif externe implique plusieurs étapes complexes qui doivent être prises en compte dans l'analyse d'une carte en fréquence des PDAs pour pouvoir être corrélées au statut des CCEs le long de la lame spirale. Le comportement des PDAs, lorsque les CCEs sont endommagées, diffère à plusieurs titres de celui correspondant aux CCEs non fonctionnelles mais avec des stéréocils intacts –par exemple quand le potentiel endocochléaire est simplement diminué. Enfin, les avantages pratiques, comme la rapidité d'exécution des PDAs, seront comparés à ceux des otoémissions acoustiques transitoires plus largement utilisées en clinique.

## Les effets du toluène sur les réflexes des oreilles interne et moyenne

Campo P., Venet T., Rumeau C.

Institut national de recherche et de sécurité (INRS), Département Toxicologie,  
Rue du Morvan, CS 60027, 54519 Vandœuvre Cedex, France

*Mots-clefs : Toluène, oreille interne, oreille moyenne, PDA*

---

Des études chez l'homme et l'animal ont montré que des solvants aromatiques tels que le toluène peuvent provoquer des pertes auditives et exacerber les effets du bruit en modifiant les réponses des motoneurons contrôlant les réflexes des oreilles interne et moyenne. Dans cette expérience, l'audition des rats Long-Evans était évaluée en mesurant les produits de distorsion acoustiques ( $2f_1-f_2$ ) pour lesquels  $f_1 = 800$  Hz,  $f_2 = 9600$  Hz et  $f_1/f_2 = 1,2$ . L'évaluation de l'audition des animaux était faite avant, pendant et après l'activation du réflexe de l'oreille moyenne. Un bruit contralatéral, dit supprimeur, était utilisé pour modifier l'amplitude des  $2f_1-f_2$ . Ce bruit était un bruit de bande centrée sur 4 kHz et délivré contro-latéralement. Cette approche audiométrique a été mise au point pour étudier l'efficacité physiologique des réflexes des oreilles interne et moyenne lors d'une injection d'un bolus d'intralipide (véhicule) contenant 58,4, 87,4, ou 116,2 mM de toluène dans l'artère carotide.

Les résultats montrent que le toluène peut diminuer l'efficacité du réflexe de l'oreille moyenne. Pour tester l'impact du toluène sur le réflexe de l'oreille interne (olivo-cochléaire), les muscles stapédien et tenseur stapédien ont été coupés. La force du réflexe de l'oreille interne a été testée en augmentant l'intensité du bruit contralatéral. Les résultats ont montré que l'effet protecteur des deux réflexes dépend de l'intensité. Le réflexe olivo-cochléaire s'est révélé moins sensible au toluène que le réflexe de l'oreille moyenne. En conclusion, les effets synergiques sur l'audition d'une co-exposition au bruit et aux solvants aromatiques sont dus à la dépression exercée par les solvants sur les noyaux centraux qui pilotent le réflexe de l'oreille moyenne.

## L'exposition au kérosène augmente-t-elle la susceptibilité à l'hypoacousie due au bruit ?

Fechter L.D.

Loma Linda VA Medical Center  
Loma Linda CA 92357, United-States

*Mots clés : bruit et substances chimiques, hydrocarbures aromatiques,  
exposition complexe, inhalation, rats*

---

Des études de laboratoire et des études épidémiologiques publiées ces vingt dernières années ont identifié un risque de perte auditive accru en cas d'exposition concomitante au bruit et à des polluants chimiques spécifiques. L'objectif de la présente étude était d'évaluer dans quelle mesure le kérosène JP-8 accentue l'hypoacousie due au bruit, en associant pendant quatre semaines l'inhalation de carburant à des bruits continus ou intermittents. Des groupes de rats étaient exposés en parallèle soit à un bruit non lésionnel (un bruit de bande d'octave centrée sur 8 kHz à 85 dB<sub>lin</sub>) et au carburant, soit seulement à du bruit (75, 85 et 95 dB), ou n'étaient exposés ni au carburant ni au bruit. Une atteinte significative de la fonction auditive liée à la concentration a été mesurée avec les produits de distorsion acoustiques (PDA) et les seuils des potentiels auditifs composites (PAC). Elle a été constatée chez les rats exposés à la fois au JP-8 et au bruit, lorsque les niveaux de JP-8 étaient de 1500 mg/m<sup>3</sup>, avec des tendances à l'amélioration pour une exposition à 750 mg/m<sup>3</sup> de JP-8 et au bruit. Le JP-8 seul n'a pas eu d'effet délétère significatif sur la fonction auditive. Quant au bruit, il n'a pas perturbé les PDA, ni augmenté les seuils auditifs avant une exposition de 95 dB. Dans une étude ultérieure, des rats mâles (n=5 par groupe) et femelles (n=5 par groupe) recevaient 1000 mg/m<sup>3</sup> de JP-8 pendant 6 h/j 5 j/s, 4 s, avec ou sans exposition à un bruit de 102 dB (bruit de bande d'octave) pendant 15 min/h (durée totale du bruit 90 min). Des comparaisons ont été faites avec les rats exposés au bruit seul et avec les témoins. Des augmentations significatives des seuils auditifs, notamment dans les hautes fréquences, ont été trouvées chez les rats mâles exposés à la fois au JP-8 et au bruit.

Cette étude permet de mettre en évidence un accroissement des pertes auditives après une exposition sub-chronique au kérosène JP-8.

Elle a été partiellement financée par le service du Ministère des anciens combattants (E.U.) chargé de la recherche - développement dans le domaine de la réinsertion.

## Impact de l'exposition au bruit sur la cinétique d'apparition de la presbyacousie

Rumeau C.<sup>1</sup>, Campo P.<sup>1</sup>, Venet T.<sup>1</sup>, Thomas A.<sup>1</sup>, Rieger B.<sup>1</sup>, Cour C.<sup>1</sup>  
Parietti-Winkler C.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS)

Rue du Morvan, CS 60027, 54519 Vandœuvre Cedex, France

<sup>2</sup> Service d'Otorhinolaryngologie et de chirurgie cervico-faciale, Hôpital Central, Nancy, France

<sup>2</sup> INSERM U954, Faculté de Médecine, Université de Nancy, France

*Mots-clés: presbyacousie, bruit, âge, rat.*

---

La presbyacousie correspond à l'ensemble des altérations de l'appareil auditif liées au vieillissement. C'est un phénomène physiologique aux conséquences psycho-sociales importantes, s'amplifiant avec le vieillissement de la population. L'objectif de cette étude longitudinale était de tester, chez le rat Brown Norway âgé de 6 mois, l'influence d'expositions modérées au bruit sur la cinétique d'apparition de la presbyacousie.

Les animaux étaient exposés à un bruit de bande d'octave centrée sur 8 kHz. Le bruit avait un Lex,8h de 85 dB SPL et durait 6 heures par jour, cinq jours par semaine, pendant quatre semaines. Les produits de distorsions acoustiques (PDA) étaient utilisés pour tester le fonctionnement cochléaire tout au long des deux années de vie des rats. Les mesures ont permis d'objectiver des diminutions temporaires d'amplitudes de PDAs, en particulier avec des niveaux de primaires f1 et f2 situés autour de 60 dB SPL. A long terme, une décroissance des performances cochléaires a été constatée chez les rats vieillissants, touchant, comme pour la presbyacousie chez l'homme, les fréquences aiguës avant les médiums. Les données histologiques ont montré une accélération du processus de presbyacousie chez les rats ayant été exposés au bruit. Au total, les rats de 2 ans, exposés au bruit, ont souffert d'une baisse de 7 dB de l'amplitude des PDA par rapport aux rats témoins du même âge, ainsi qu'une perte cellulaire ganglionnaire et ce, dès l'âge de un an.

Les données de cette étude plaident pour l'existence d'un impact différé des effets d'une exposition au bruit, même lorsque le bruit est d'intensité modérée, et ouvrent la voie à une réflexion nouvelle sur le dépistage auditif précoce de populations cibles à l'aide des mesures de PDA.

## **Les VLEP auraient-elles été plus basses si l'ototoxicité induite par certaines substances avait été prise en compte?**

El Yamani M. et la Commission VLEP de l'ANSES

Direction de l'évaluation des risques, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation,  
de l'environnement et du travail (ANSES)  
27-31 avenue du Général Leclerc, 94701 Maisons-Alfort Cedex, France

---

Recommander des valeurs limites d'exposition professionnelles (VLEP) basées uniquement sur des critères sanitaires est une mission confiée au comité d'experts spécialisés « VLEP » (CES-VLEP) de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'alimentation, l'environnement et le travail. Au-delà de la construction des VLEP, le comité conduit des travaux méthodologiques pour se doter d'un cadre de travail et tenir compte des dernières données en santé au travail.

L'exposition professionnelle au bruit est bien connue comme un facteur de perte de l'audition. Cependant, les substances chimiques agissant seules, ou en interaction avec le bruit, se sont révélées être l'une des plus importantes causes de perte d'audition au travail. Par ailleurs, l'exposition concomitante au bruit et aux solvants chimiques aggrave les pertes auditives. Durant les dernières décennies plusieurs études humaines et animales ont rapporté le mécanisme d'action de ces substances sur le système auditif en interaction avec le bruit.

Comme les normes actuelles ne prennent pas en compte le risque potentiel de perte d'audition suite à l'exposition simultanée au bruit et au solvant, le CES VLEP étudie la pertinence d'accorder une « notation bruit » à certaines substances. Pour cela un travail préliminaire de ré-évaluation de la VLEP recommandée a été conduit pour des substances chimiques reconnues comme ototoxiques (styrène, trichloréthylène, monoxyde de carbone et toluène). L'objectif de ce travail est de voir si la VLEP recommandée aurait été plus basse si l'effet critique choisi avait été l'ototoxicité et l'étude clé choisie basée sur une relation dose-réponse d'ototoxicité.

# Agents ototoxiques en milieu professionnel : de la recherche aux choix de société et au terrain

Morata T.C.

Division of Applied Research and Technology  
National Institute for Occupational Safety and Health, United-States  
[tmorata@cdc.gov](mailto:tmorata@cdc.gov)

---

## Résumé

Tout au long de notre vie, nous sommes exposés à de nombreux agents chimiques, physiques et biologiques qui, en relation avec nos caractéristiques et habitudes individuelles, ont une incidence sur notre santé et notre bien-être. Nous passons une grande partie de notre vie au travail, où sommes donc confrontés à des expositions et à des risques spécifiques. Comprendre l'influence des facteurs qui agissent sur la santé peut avoir un impact non seulement sur l'individu, mais aussi sur les choix de société, et induire des changements visant à améliorer la vie et à préserver l'environnement. Il n'en reste pas moins que les effets de ces multiples facteurs sont difficile à cerner.

## Démarches suivies par la recherche : agent isolé ou multi-expositions

Aujourd'hui, la recherche dans le domaine de la santé ne s'intéresse généralement qu'à un seul agent à la fois, comme s'il était présent isolément dans l'environnement de travail. Quatre-vingt-quinze pour cent des données en toxicologie sont issues d'études portant sur un seul agent chimique. Les normes et recommandations relatives à l'exposition sont fondées sur ces données, l'hypothèse étant que les effets sur la santé d'une co-exposition à deux substances peuvent être prédits en additionnant les effets de l'exposition à chacune d'elles. L'approche mono-agent a produit un volume de données considérable, et des risques graves ont pu être identifiés et maîtrisés grâce à elle. Néanmoins, les limites de cette démarche apparaissent de plus en plus clairement, grâce à des études récentes sur les multi-expositions. L'idée d'étudier les expositions en relation les unes avec les autres n'est pas nouvelle, et c'est probablement la complexité d'une telle démarche qui explique qu'elle n'ait bénéficié jusqu'ici que de peu d'attention. Les avancées de la recherche et des méthodes statistiques ont cependant conduit dernièrement à une augmentation du nombre d'études scientifiques sur les combinaisons de facteurs.

## Étude des interactions

Les résultats qui suscitent le plus d'inquiétude viennent de publications relatives à des phénomènes de synergie (cas où les effets observés dépassent la somme des effets individuels), signalés lors de co-exposition à des substances d'usage courant. Les études suivant une démarche globale dans l'analyse des facteurs de risque offrent des exemples illustrant l'importance de ces phénomènes. L'action des composantes individuelles des mélanges chimiques peut être altérée par la présence d'autres substances. Des effets renforcés ont été signalés dans de nombreux systèmes, en particulier les systèmes nerveux, sensoriels, respiratoire et reproductif. Les effets de potentialisation de certains mélanges de solvants, concernant le foie, les reins et le système nerveux, ont été rapportés. Des mélanges de solvants ont également été associés à des effets additifs ou antagonistes sur le système nerveux. Certaines combinaisons de substances chimiques agissant comme des perturbateurs endocriniens se sont révélées beaucoup plus puissantes (jusqu'à 1600 fois) que n'importe laquelle de ces substances prise isolément, même en cas d'exposition à un faible niveau. L'une des substances du mélange, qui n'avait pas d'effet perturbateur propre, augmentait considérablement la capacité des autres substances à perturber le système endocrinien. La fumée de tabac et l'amiante potentialisent mutuellement leurs effets sur les poumons. Certaines des questions posées sur le Syndrome de la Guerre du Golfe n'ont reçu de réponse que grâce à des études portant sur des combinaisons de substances, qui n'ont par ailleurs aucun effet lorsqu'elles agissent seules. L'exposition à des substances chimiques présentes dans l'environnement peut renforcer les effets du bruit sur l'audition, au-delà du niveau prédictible compte tenu de leurs effets individuels.

## Exemple des substances ototoxiques et du bruit

Dans divers contextes, le bruit coexiste avec d'autres facteurs potentiellement dangereux pour l'ouïe. Il est établi que les substances toxiques peuvent aussi provoquer une perte auditive et accroître la sensibilité au bruit. Ces données ont incité à proposer de nouvelles règles et normes de prévention de l'hypoacousie. Au niveau législatif,

le Parlement européen a publié une directive sur le bruit en 2003 (10/CE) ; elle doit être adoptée par tous les pays membres. Cette Directive exige des employeurs qu'ils tiennent compte, lors de l'évaluation des risques professionnels, des effets sur la santé et la sécurité des travailleurs d'éventuelles interactions entre bruit et substances ototoxiques. La législation relative à la réparation a changé en Australie (Workcover Guides for the Evaluation of Hearing Impaired – Guides pour l'évaluation des atteintes auditives d'origine professionnelle, juin 2002) et au Brésil (Décret 3048, du 6 mai 1999). Au niveau des normes et directives, l'Institut national de sécurité et santé au travail des États-Unis (NIOSH) a examiné les besoins de recherche dans le domaine de l'ototoxicité des substances utilisées en milieu professionnel. L'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Conférence américaine des hygiénistes industriels) et l'armée américaine ont proposé des mesures pratiques préliminaires, applicables par les employeurs et les professionnels de santé au travail, pour améliorer la prévention de l'hypoacousie. L'Australie et la Nouvelle-Zélande ont élaboré les normes AS/NZS 1269:2005, recommandant des tests auditifs pour les travailleurs exposés à des agents ototoxiques. Deux documents européens récemment mis en ligne proposent une revue de la littérature et examinent les facteurs à prendre en compte dans le domaine de la santé au travail et des tests toxicologiques ([http://osha.europa.eu/en/publications/literature\\_reviews/combined-exposure-to-noise-and-ototoxic-substances](http://osha.europa.eu/en/publications/literature_reviews/combined-exposure-to-noise-and-ototoxic-substances) and <http://gupea.ub.gu.se/handle/2077/23240>). Dans ce dernier document, la création d'un étiquetage relatif à l'ototoxicité a été envisagée.

Alors que les travaux de recherche se poursuivent, le NIOSH conseille aux travailleurs, aux employeurs et aux professionnels de la santé au travail de réfléchir aux mesures permettant de réduire à un minimum les expositions aux agents physiques, chimiques et biologiques et d'améliorer l'organisation du travail. Lors de l'évaluation des risques liés à une tâche ou un processus, le NIOSH recommande d'être attentif à l'environnement de travail dans son ensemble. En l'absence de données sur une combinaison spécifique de facteurs, il est sage de rechercher non seulement des données sur les dangers inhérents à chacun des agents en cause (en particulier s'ils ont des organes cibles communs), mais aussi à des combinaisons similaires. En résumé, cette présentation évoquera les directives et évolutions réglementaires récentes, et analysera les stratégies applicables pour prévenir les effets auditifs de l'exposition à des substances ototoxiques.

### **Mise en garde**

Les observations et conclusions du présent résumé sont celles de l'auteur. Elles ne représentent pas nécessairement le point de vue de l'Institut national de sécurité et santé au travail des États-Unis, et n'engagent en aucune manière les orientations ou la politique de l'agence.





# Exposition professionnelle au bruit et aux solvants aromatiques ototoxiques

Belhadj Z.<sup>1</sup>, Kandouci C.<sup>1</sup>, Chebab O., Kandouci A.B.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Recherche en Environnement et Santé  
Service de Médecine du Travail, CHU Sidi Bel-Abbès, Algérie

*Mots clés: Solvants, Bruit, Ototoxicité.*

---

## Objectif

Une co-exposition au bruit et aux solvants aromatiques a des effets sur l'audition, plus néfastes que ceux induits par l'exposition à chacun des facteurs (solvants et bruit) séparément.

Notre objectif était d'évaluer l'atteinte de l'audition en milieu professionnel due à la co-exposition au bruit et à un mélange de solvants aromatiques, ainsi que leurs facteurs de risque.

## Méthodes

Il s'agit d'une étude transversale de type « exposé, non exposé » :

- Un groupe exposé aux solvants et au bruit (N= 144) dans une industrie électronique.

Ce groupe a été subdivisé en deux sous groupes selon le niveau d'exposition au bruit :

\*Un sous groupe exposé aux solvants seulement N=80, Iexp= 2,5 (Indice d'exposition moyen des solvants) et à un Leq (niveau de bruit équivalent) entre 77-80 dB (A),

\*Un sous groupe exposé aux solvants et au bruit, N=64, et Leq entre 82-92 dB (A) et a un Iexp=2,5.

-Un groupe exposé au bruit seulement N=136, Leq entre 82-105 dB (A), dans une industrie de matériel électronique,

-Un groupe non exposé N=96, travailleurs de l'administration d'une entreprise de construction de matériel agricole.

Chaque travailleur répondait à un questionnaire sur ses données socioprofessionnelles et habitudes de vie et subissait une audiométrie tonale liminaire entre 0,125 et 8 kHz.

## Résultats

Le pourcentage de perte auditive > à 20 dB dans le groupe exposé au bruit et aux solvants était de 57,8 %. Il était donc plus grand que le pourcentage obtenu avec l'exposition au bruit seul qui était de 35,3%, et celui des non exposés 27,7 %.

Une analyse de régression logistique multivariée a montré que le groupe exposé au bruit et aux solvants présentait un risque de perte auditive plus élevé OR= 4,4 que le groupe exposé au bruit seul. L'atteinte auditive étant plus importante pour les fréquences conversationnelles basses entre 500 Hz et 2 kHz, que pour les hautes fréquences entre 4 kHz et 8 kHz.

## Conclusion

Les solvants aromatiques potentialisent la perte auditive dans un environnement bruyant. L'impact le plus important se fait sur les fréquences conversationnelles.

## **Effets d'une exposition professionnelle multifactorielle sur les produits de distorsion acoustique (PDA)**

Edwards A.L., Grové T., Schutte P.C., Franz R.M. , Formanowicz A.

Council for Scientific and Industrial Research, Centre for Mining Innovation  
Johannesburg, South Africa

*Mots clés : produits de distorsion acoustique, risques multifactoriels*

---

### **Introduction**

Les mineurs sont exposés à des facteurs de risque combinés, sachant qu'ils passent la majeure partie de leur temps de travail à effectuer des travaux physiques dans un environnement bruyant, chaud, humide et poussiéreux, avec parfois une exposition à des produits chimiques. Ces expositions combinées ne facilitent pas l'évaluation et la prédiction des effets imputables à chacun des facteurs en cause, condition préalable à l'évaluation des effets combinés. Des études antérieures ont démontré qu'une exposition au bruit combinée à une activité physique pouvait donner lieu à des effets de synergie (Chen *et al.*, 2007 ; Engdahl, 1996). L'objectif de la présente étude était de mesurer, à l'aide de PDA, les effets sur la santé de l'exposition professionnelle à des facteurs de risque individuels et combinés dans des conditions de laboratoire contrôlées s'approchant des conditions de travail dans une mine.

### **Méthode**

L'expérience a été menée dans une chambre climatique avec trois femmes et huit hommes. Les facteurs de risque pour la santé simulés en fonction des niveaux d'exposition dans les mines étaient les suivants : bruit, chaleur et exercice physique. Le protocole comprenait des périodes d'exposition à ces trois risques pendant deux heures, espacées par des périodes de repos de deux heures, sur quatre jours.

### **Résultats**

Selon les résultats de l'expérience, la combinaison activité physique + bruit semble provoquer un effet de synergie ; sur les huit fréquences testées, les intensités des PDA de sept d'entre elles étaient plus faibles après deux heures d'exposition, mais aucun effet supplémentaire n'a été observé lorsque les participants étaient exposés aux trois facteurs de risque. L'intensité des PDA baissait de 1 à 4 dB SPL. Les différences entre les mesures pré- et post-expositions n'étaient que rarement significatives sur le plan statistique pour la combinaison chaleur + bruit ( $p < 0,06$ ) et pour la combinaison chaleur + activité physique ( $p < 0,005$ ). Aucune différence significative n'a été décelée entre les hommes et les femmes dans les conditions expérimentales.

### **Conclusion**

Les résultats de cette expérience montrent que les mesures de PDA peuvent donner une indication de la souffrance cochléaire due à une exposition multifactorielle, et que l'intensité des primaires et le bruit de fond étaient compatibles avec des mesures de PDA sur le terrain. La confirmation des résultats de cette étude avec un échantillon plus important permettra de mieux connaître les effets des expositions multifactorielles sur l'audition des travailleurs.

## Exposition aux particules et au bruit lors des travaux d'entretien des routes

Meier R.<sup>1</sup>, Danuser B.<sup>1</sup>, Casio W.E.<sup>2</sup>, Riediker M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut universitaire romand de Santé au Travail, Lausanne, Switzerland

<sup>2</sup>National Health and Environmental Effects Research Laboratory, US EPA, RTP, NC, United-States

*Mots clés : polluant particulaire, bruit, entretien des routes, analyse de l'activité*

---

L'exposition simultanée aux polluants particulaires et au bruit a été associée à l'infarctus du myocarde et à l'ischémie cardiaque. Les travailleurs chargés de l'entretien des routes passent la plus grande partie de leur temps de travail dans la circulation routière et sont régulièrement exposés à des polluants particulaires et au bruit.

Notre étude avait pour objectif de mieux cerner cette multi-exposition et ses effets sur certains paramètres biologiques des travailleurs. Pour quantifier l'exposition, nous avons réalisé un suivi de 13 travailleurs au cours de 35 postes de travail non consécutifs. Nous avons utilisé une méthodologie basée sur des mesures individuelles et à des postes de travail particuliers, afin d'évaluer l'exposition aux particules fines (PM<sub>2,5</sub>), ultrafines (PUF), et l'exposition au bruit. De plus, nous avons mesuré l'exposition à des co-polluants gazeux (monoxyde de carbone, dioxyde d'azote et ozone).

Les résultats préliminaires montrent que selon les travaux réalisés et le lieu de l'intervention, l'exposition varie dans une large mesure : de 17,0 µg/m<sup>3</sup> à 321,0 µg/m<sup>3</sup> (moyenne 56,8 µg/m<sup>3</sup>) pour la concentration moyenne par poste de PM<sub>2,5</sub>, et de 15,538 particules/cm<sup>3</sup> à 408,518 particules/cm<sup>3</sup> (70,721 particules/cm<sup>3</sup>) pour les PUF. Les niveaux de bruit étaient généralement élevés, voire très élevés lors de certaines activités. Le niveau sonore L<sub>eq</sub> allait de 76,5 dB[A] à 100,3 dB[A] en fonction du poste, pour une valeur moyenne sur l'ensemble des postes de 88,7dB[A]. L'exposition aux particules était maximale lors du fauchage de l'herbe ; les niveaux de bruit les plus élevés étaient mesurés lors des travaux de réparation des glissières de sécurité. Le bruit et les concentrations de particules n'étaient que très faiblement corrélés entre eux.

On conclura que les ouvriers d'entretien des routes sont exposés à de fortes concentration de particules et à des intensités élevées de bruit, par rapport à la population générale. Il est donc possible qu'ils encourrent un risque accru de maladies cardiovasculaires spécifiques. Compte tenu du faible degré de corrélation entre les intensités de bruit et les concentrations de particules, il sera possible d'analyser les différences entre les effets sur la santé de ces deux types d'exposition dans la population concernée.

Cette proposition de communication ne reflète pas nécessairement la politique de l'US EPA.

## Evaluation des risques en cas d'exposition simultanée au bruit et aux solvants, études de cas

Santos P.

A.Ramalhão, Consultoria, Gestão e Serviços, Lda. Rua Nossa Senhora do Porto n° 825,  
4250-456 Porto, Portugal

---

Les effets nocifs du bruit sur l'audition sont aujourd'hui connus de tous et bien documentés. Il s'agit d'un problème commun à un grand nombre de secteurs industriels. Cependant, il est bien connu que cet agent physique n'est pas le seul facteur de risque au poste de travail ayant un impact sur l'ouïe des travailleurs. Certaines substances, dites ototoxiques, peuvent porter atteinte, elles aussi, à l'audition. Il est donc primordial d'accorder plus d'attention aux risques résultant, pour les travailleurs, de l'exposition simultanée à des niveaux de bruit élevés et à de fortes concentrations de produits chimiques, et des synergies entre ces deux facteurs.

Dans un grand nombre d'environnements industriels, des produits chimiques ototoxiques affectent le système auditif, en particulier des solvants, des métaux et des substances provoquant l'asphyxie. D'après les données dont on dispose, les travailleurs exposés à de telles substances et à de fortes intensités de bruit présentent un risque d'hypoacousie plus élevé que ceux qui sont exposés uniquement à du bruit ou à des ototoxiques.

Au Portugal, la loi DL n° 182/2006 du 6 septembre souligne l'importance d'une prise en compte des multi-expositions au bruit et à des substances ototoxiques dans l'évaluation des risques.

Dans la présente étude, l'objectif était d'étudier les effets combinés du bruit et des solvants (substances ototoxiques). Dans les cas étudiés, on a reporté les risques liés aux multi-expositions, les mesures de prévention mises en œuvre et les niveaux de bruit et de solvants mesurés. Les mesures ont été réalisées par le laboratoire ARLab – Laboratório de A.Ramalhão, Lda, accrédité par l'IPAC (Portugal). Pour la mesure du bruit et des concentrations de solvants, nous avons utilisé la méthodologie ISO 9612, reconnue au niveau international, ainsi que des méthodes développées par le NIOSH.





## COMMUNICATIONS ORALES



## Toute condition de travail et d'exposition professionnelle est forcément multifactorielle

Malchaire J.

Université Catholique de Louvain, Belgique

---

1973. À l'époque, les soudeuses électriques par point et, a fortiori, les robots n'existent pas. Les carrosseries des voitures sont assemblées par soudures manuelles. Sur la chaîne de montage des voitures "coccinelles", 4 travailleurs sont chargés de meuler et poncer les soudures apparentes, en particulier au niveau des bas de caisse et des corniches. Le travail est pénible : les meules et ponceuses sont lourdes et les positions de travail pénibles. De plus, afin d'éviter les projections incandescentes des outils de leurs collègues, les travailleurs portent une cagoule en cuir recouvrant tête, torse, dos et bras. Lorsque, entre deux carrosseries, ils la retirent pendant quelques secondes, ils sont trempés. Enfin, le bruit est assourdissant.

Le médecin du travail, cardiologue par ailleurs, s'inquiète de la charge physique imposée aux travailleurs. Il demande mon aide en ce qui concerne le bruit et la chaleur. Fidèles à la formation que nous avons reçue, nous commençons par mesurer des pics de 170 battements par minute de fréquence cardiaque enregistrés par Holter, et 95 dB(A) au sonomètre intégrateur. Nous n'allons pas jusqu'à mesurer la température centrale (rectale), mais constatons une compensation hydrique (parfois en bière belge !) de plus de 2 litres sur la journée et de cagoules ruisselantes de sueur. Un rapport de 40 pages est préparé avec force tracés de fréquence cardiaque et enregistrements sonores.

Grâce à la persuasion du Médecin du travail, le rapport ne reste pas cette fois lettre morte et l'entreprise décide d'allonger la chaîne. Au cours de l'été suivant, un "grill band" est installé : il s'agit de 4 postes successifs sur la chaîne où la carrosserie est montée sur une broche et peut pivoter de manière à présenter les bas de caisse et les corniches à 65 cm de hauteur.

L'entreprise est fière de cette amélioration ergonomique et nous aussi : jusqu'à ce jour, l'histoire de l'entreprise, disponible sur le web, parle d'un "investissement d'humanisation du travail". Le travail de meulage et de ponçage se fait maintenant à bonne hauteur et la charge physique s'en trouve fortement réduite. Les travailleurs, éloignés de 4 mètres les uns des autres, ne sont plus exposés aux projections des meules des collègues, si bien que les cagoules ont pu être remplacées par une protection frontale, beaucoup plus légère : la contrainte thermique est réduite. Enfin, les niveaux sonores ont diminué de 95 à 91 dB(A), chacun n'étant plus exposé qu'essentiellement au bruit de son propre travail et une paroi recouverte de matériaux acoustiques absorbants le séparant de la chaîne voisine. Le bilan est jugé très positif.

Magnifique exemple de "multinuissances"!

Nous ne nous étions pas préoccupés des vibrations, pourtant évidentes (ce n'était pas "à la mode"), ni des problèmes de vision provoqués par les fumées dégagées par le meulage et le ponçage. Heureusement, cet aspect fut amélioré au "grill band", de même que la pollution de la zone respiratoire due à ces fumées.

Trois mois plus tard, l'entreprise constate un taux d'absentéisme important à ces 4 postes et des demandes incessantes de mutation ! Que se passe-t-il ?

Nous prenons alors la peine généreuse de rencontrer les travailleurs qui nous informent de leur organisation de groupe au poste antérieur. Selon le bureau des méthodes et temps de l'entreprise, le groupe de 4 travailleurs disposait de 2min30 pour traiter une carrosserie dans son ensemble et, ensuite de 30 secondes de "repos". Ce temps étant totalement insuffisant pour ranger les machines, retirer les cagoules, se rafraîchir et se rhabiller, le groupe gérait son temps de telle sorte que 3 d'entre eux traitent successivement 3 carrosseries successives : la première en léger retard, la seconde à temps et la troisième en avance. Le groupe parvenait ainsi à se ménager ensuite une minute d'arrêt. Durant ces 9 minutes, le quatrième travailleur avait pu se rafraîchir, fumer une cigarette (les temps ont changé !), discuter avec d'autres, aller aux toilettes... avant de reprendre sa place dans le prochain groupe de trois pour, au choix du groupe, soit meuler, soit poncer. Le groupe s'entendait parfaitement, l'absentéisme était occasionnel et justifié auprès des collègues.

Dans la nouvelle organisation, le groupe n'existe plus, chacun doit meuler ou poncer les mêmes bas de caisse ou corniches durant 8h, avec une autonomie pratiquement nulle : plus de contact social, isolement quasi complet (grâce au mur acoustique !), arrêt maximal de 30 secondes entre deux carrosseries, cigarette qui se "gaspile" inutilement dans le cendrier entre deux arrêts, recours indispensable à un moniteur pour tout arrêt de plus de 30 secondes...



Quel est l'objectif ? L'absence de traumatismes (accidents) et de maladies professionnelles ou la recherche de Santé au sens de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), à savoir "un état de complet bien-être physique, mental et social"<sup>(1)</sup>.

Notre approche de ce poste de travail de meulage et ponçage avait déjà été de type "multinuissance": charge physique, bruit, contrainte thermique. Elle était cependant passée à côté de cette recherche du bien-être complet physique, mental et social.

Il est assez surprenant et décevant que cette définition de l'OMS, datant de 1946 et souvent répétée, ait si peu été concrétisée par les hygiénistes, ergonomes, médecins, agents de sécurité, psychologues, et par nous-mêmes qui travaillons dans le domaine de la Santé au travail. Ces dernières années, l'apparition de la pluridisciplinarité semble dans de nombreux cas aggraver le clivage entre "spécialistes" : les agents chimiques pour l'hygiéniste, les accidents pour l'agent de sécurité, pendant que l'ergonome se soucie des mouvements répétitifs et le psychologue du stress. La parcellisation des préoccupations ira en s'aggravant sans une réflexion approfondie sur la signification et les implications de l'INTERdisciplinarité, et une remise en question des programmes de formation.

En 1959, Hertzberg <sup>(2)</sup> proposait la "Théorie des deux facteurs" dans laquelle deux types de facteurs influencent le comportement :

- les premiers, appelés facteurs d'hygiène, concernent le contexte dans lequel le salarié travaille : la politique salariale, les conditions de travail, le système de supervision, la sécurité du travail ;
- les seconds, appelés facteurs de motivation, sont relatifs à l'épanouissement du salarié dans son travail : les possibilités de réalisation de soi, d'évolution de carrière, d'autonomie, de responsabilités, de reconnaissance, d'intérêt du travail.

Alors que les premiers, lorsque non pourvus, ne peuvent qu'être sources d'insatisfaction, seuls les seconds sont sources de satisfaction et de motivation.

Dans notre cas, la réduction des contraintes de bruit, de chaleur et de charge physique a contribué à réduire des causes physiques d'insatisfaction. La nouvelle organisation a, par contre, entraîné une réduction de l'autonomie de ces salariés, de leur satisfaction sociale et mentale et de leur motivation. Leur bilan les amène à vouloir quitter ce poste : il est donc globalement négatif.

#### Que conclure?

1. Toute exposition est multifactorielle et, de même qu'il serait saugrenu de soigner l'eczéma de quelqu'un sans se préoccuper de son diabète et de son hypertension, il est tout aussi saugrenu de se soucier du bruit auquel un travailleur est exposé, sans se préoccuper en même temps de son milieu chimique, de sa charge physique et de son environnement psychosocial.
2. Quel que soit le problème considéré (bruit, charge physique...), il est indispensable de le replacer dans le contexte général de la situation de travail, au lieu de le traiter séquentiellement en fonction de circonstances externes (compétence et intérêt de celui qui observe) et approfondir son étude ensuite si nécessaire, quand le problème ne peut être résolu d'emblée et quand le risque est très important (risques chimiques, accidents, incendie...).
3. L'objectif est le maintien ou l'amélioration du bien-être du collectif de travail (salariés et encadrement local). Aucune action cohérente ne peut alors être menée sans la connaissance de la situation de travail que seul ce collectif de travail détient. Ce collectif doit alors être l'acteur principal de la prévention et non pas l'objet de la prévention.
4. Toute démarche doit être participative et non seulement consultative, c'est-à-dire être basée sur une collaboration directe, active et équitable au sein du collectif de travail sur LEURS conditions de vie ensemble dans l'entreprise.
5. Cette démarche est particulièrement indispensable dans les PME qui occupent plus de 60% des travailleurs. Des outils simples, faciles à utiliser et peu coûteux doivent être développés en ce sens en tenant compte des moyens limités en santé-sécurité. Les méthodes Sirtes<sup>(3)</sup> LEST<sup>(4)</sup>, AET<sup>(5)</sup>, FIOH<sup>(6)</sup>... développées dans les années '70 et '80, puis abandonnées, allaient dans ce sens. Aujourd'hui, il ne semble exister que les guides WISE <sup>(7)</sup> et SOBANE – Déparis <sup>(8)</sup>.
6. La démarche classique actuelle d'évaluation des risques doit être remise en question afin d'arriver plus économiquement, plus rapidement et plus facilement à des plans d'action cohérents. La démarche doit être orientée vers la prévention directe et l'évaluation des risques n'est qu'une étape pas toujours indispensable. Il est certes intéressant d'étudier l'accroissement du risque de surdité dû aux vibrations, ou du risque de troubles musculosquelettiques dû à des facteurs psychosociaux délétères et vice versa. Cependant les méthodes de lutte contre le bruit ne seront pas différentes qu'il y ait exposition concomitante aux vibrations ou non et le climat psychosocial doit être amélioré pour lui-même, et non pas parce qu'il entraîne une aggravation des TMS.
7. La démarche actuelle d'évaluation des risques doit être remise en question afin d'arriver à des plans d'action cohérents plus économiquement, plus rapidement et plus facilement. La démarche doit être orientée vers la

prévention directe et l'évaluation des risques n'est qu'une étape pas toujours indispensable. Il est certes intéressant d'étudier l'accroissement du risque de surdité dû aux vibrations, ou celui du risque de troubles musculosquelettiques d   à des facteurs psychosociaux délétères, ou vice versa. Cependant, les méthodes de lutte contre le bruit ne seront pas différentes qu'il y ait exposition concomitante aux vibrations ou non et le climat psychosocial doit être amélioré pour lui-même, et non pas parce qu'il entraîne une aggravation des TMS.

### Références

1. OMS (1946), Préambule à la Constitution de l'Organisation mondiale de la Santé, Actes officiels de l'Organisation mondiale de la Santé, n   2, p. 100.
2. HERZBERG F. (1959), "The Motivation to Work." New York: John Wiley and Sons
3. ANON (1979), Les profils de postes, méthode d'analyse des conditions de travail. Collection Hommes et Savoirs, Masson, Paris.
4. GUELAUD F., BEAUCHESNE M-N, GAUTRAT J. et coll. (1975) Pour une analyse des conditions de travail des ouvriers dans l'entreprise (Recherche du laboratoire d'économie et de sociologie du travail C.N.R.S.), Librairie Armand Colin. pp. 245.
5. ROHMERT W. et LANDAU K. (1983), A new technique for job analysis, London, Taylor & Francis. pp. 95.
6. AHONEN M., LAUNIS M., KUORINKA R. (1989), Ergonomic workplace analysis. Finnish Institute of Occupational Health, Helsinki. pp. 31.
7. WISE (2004) Work Improvement in Small Enterprises, International Labour Organization. [http://www.ilo.org/safework/info/instr/lang--en/docName--WCMS\\_110322/index.htm](http://www.ilo.org/safework/info/instr/lang--en/docName--WCMS_110322/index.htm)
8. MALCHAIRE J. (2004), The SOBANE risk management strategy and the D  paris method for the participatory screening of the risks; Arch. Occup. Environ. Health, 77 443-450 : <http://www.deparisnet.be/sobane/SOBANE.htm#artFR>

## Variabilité de la protection respiratoire en fonction du sujet et de son activité

Chazelet S., Meyer J.P., Verdun A., Remy O.

Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS)  
Rue du Morvan, CS 60027  
54519 Vandœuvre Cedex, France

*Mots clés : masque respiratoire, facteur de protection, fréquence cardiaque, activité physique*

---

L'évaluation des performances des appareils de protection respiratoire (APR) vis-à-vis des particules repose sur des mesures alternées des concentrations en polluants entre l'intérieur et l'extérieur de l'APR qui définissent le facteur de protection de l'APR. Cette étude, menée parallèlement au programme PEROSH pour la mise en place d'un protocole de mesure sur le terrain des facteurs de protection, vise à mettre en évidence la variabilité de ce facteur en fonction de la morphologie du sujet et de son activité physique. Pour cela elle a fait appel à 15 sujets d'expérimentations.

L'installation d'essais est composée d'une cabine à l'intérieur de laquelle se trouve un tapis de marche sur lequel les sujets effectuent divers exercices. Une alimentation continue par un générateur de NaCl ainsi que des ventilateurs de reprise au sol assurent une concentration ambiante constante dans la cabine.

Les essais ont intégré la variation des paramètres suivants :

- la concentration en polluant : élevée et faible
- le type de masque : demi-masque et masque complet, équipé chacun d'un filtre à particules de classe P3
- la vitesse de marche sur tapis : 3 et 6 km/h et l'astreinte physiologique (mesure en continu de la fréquence cardiaque FC)
- les mouvements en marche : mouvements de tête, parole

Le facteur de protection est mesuré au moyen d'un compteur de particules (entre 0,25 et 30  $\mu\text{m}$ ). Les volumes ventilés ( $\dot{V}_E$ ) sont extrapolés de FC lors de la marche et de la relation  $FC = f(\dot{V}_E)$  établie lors d'un test d'effort.

Les résultats montrent que le demi-masque filtrant est très dépendant de la morphologie, de la fréquence cardiaque et des mouvements du sujet. En revanche, le port du masque complet atténue fortement ces fluctuations en offrant à chaque sujet une protection importante. Les résultats permettent de conclure à une augmentation du facteur de protection avec l'activité physique (volume ventilé). Par contre, une diminution de la protection est observée lors de l'accentuation des mouvements de la tête du sujet.

# Astreintes thermique et physique lors d'une activité de maintenance en présence d'amiante

Turpin-Legendre E., Gingembre L., Didry G.

Institut national de recherche et de sécurité (INRS)  
Rue du Morvan, CS 60027  
54519 Vandoeuvre cedex, France

---

## Introduction

L'objectif de cette étude était de comparer les astreintes physiologiques et subjectives de salariés portant 2 équipements de protection différents lors d'une activité de maintenance dans une chaufferie en présence d'amiante.

## Méthode

L'intervention a eu lieu dans une chaufferie dont la température était environ de 41°C à 2 m du sol. Dix salariés ont porté alternativement 2 combinaisons : une combinaison étanche à usage unique et une tenue ventilée constituée d'une combinaison en coton et d'une surcombinaison, mais non étanche, au moment des essais (prototype non finalisé). Sur la combinaison en coton étaient fixées 5 arrivées d'air (1 à la tête, 2 au thorax et 2 aux lombaires) à environ 18 °C.

Par équipe de 2, les salariés ont effectué 45 min de travail comprenant le montage et démontage d'un échafaudage et la pose et le retrait de calorifugeage autour d'une vanne.

La fréquence cardiaque (FC) a été enregistrée en continu. Les températures à l'intérieur des combinaisons ont été mesurées. La perte sudorale a été calculée. Sept échelles subjectives ont permis d'évaluer les astreintes thermique, sudorale et respiratoire et le confort de la combinaison. La contrainte physique a également été évaluée par l'échelle de pénibilité RPE de Borg.

## Résultats-Discussion

Les données de FC ont permis de montrer que la charge physique de travail était élevée. Pour les 2 équipements de protection, le coût cardiaque était voisin de 50 bpm et des valeurs individuelles de FCmax dépassaient parfois la limite recommandée de 85 % de la FC maximale théorique. L'échelle de pénibilité montre que le travail était ressenti comme moins pénible avec la tenue ventilée.

Les températures relevées à l'intérieur des combinaisons étaient en moyenne de 30 à 35 °C, ce qui démontre la présence d'une contrainte thermique. Les valeurs moyennes d'extra pulsation cardiaque thermique étaient en deçà de la valeur limite préconisée (30 bpm) avec néanmoins, pour 3 salariés, des valeurs supérieures à celle-ci ce qui dénote une importante astreinte à la chaleur. De même, la sudation était abondante pour tous les salariés. Ces données physiologiques élevées sont une réponse à la contrainte thermique ambiante et à une forte charge physique de travail.

Les 2 combinaisons induisaient les mêmes astreintes physiques et thermiques. La combinaison ventilée n'était pas étanche et l'air frais, dont le débit n'était pas contrôlé, atteignait difficilement les membres supérieurs et inférieurs. Dans des conditions optimales, l'air frais aurait dû permettre une moindre sudation et une évaporation de la sueur.

Malgré ces observations, elle était mieux appréciée des salariés car elle procurait une sensation de confort et de rafraîchissement avec moins de sueur sur la peau.

## Conclusion

Lors de cette activité de maintenance, les salariés ont subi des astreintes physiques et thermiques. La tenue ventilée n'était pas suffisamment finalisée pour réduire de façon significative ces astreintes. Le travail avec la tenue ventilée a toutefois été ressenti comme moins pénible avec plus de confort et un meilleur rafraîchissement.

## Troubles de la reproduction chez les soudeurs : un effet combiné d'expositions chimiques et physiques ?

Michiels F.

Service de santé des armées, centre de médecine de prévention des armées de Brest, France

*Mots clés : fumées de soudage, troubles de la reproduction, mélange chimique,  
facteur thermique*

---

Les activités de soudage et de brasage constituent depuis plusieurs décennies un excellent modèle de multi-expositions à des facteurs tant physiques que chimiques. Elles sont également une des circonstances d'exposition les plus anciennes aux nanoparticules.

Mais le caractère particulièrement hétérogène de l'ensemble de ces expositions, tant sur le plan quantitatif que qualitatif, rend difficile la sélection de groupes de soudeurs réellement homogènes en terme d'exposition. Ceci explique sans doute le manque de reproductibilité, voire les contradictions retrouvées dans la littérature quant aux conséquences sanitaires de l'exposition aux fumées de soudage, notamment au sujet du risque cancérogène. Il est donc d'autant plus remarquable que, malgré ces grandes disparités d'exposition, les troubles de la reproduction revêtent chez les populations de soudeurs un caractère transverse. Ainsi, deux méta-analyses relativement récentes confirment une augmentation du délai de procréation parmi les couples dont le sujet mâle est soudeur.

Depuis longtemps, cette transversalité a été attribuée à l'existence d'un risque physique commun à tous les soudeurs : la chaleur. L'exposition chronique des testicules à un rayonnement thermique est en effet un facteur bien connu d'altération de la spermatogénèse. Néanmoins, cette explication uniciste rend mal compte de la diversité des anomalies du spermogramme ou de l'anatomie testiculaire décrites dans la littérature.

Les données toxicologiques disponibles, à l'origine de certaines évolutions réglementaires récentes, concernant plusieurs substances chimiques auxquelles les soudeurs sont susceptibles d'être exposés, suggèrent une origine professionnelle multi-factorielle à ces troubles reproductifs. Ainsi, l'analyse du mode d'action toxique du chrome, du cadmium et de l'acide borique, met en évidence la possibilité d'atteintes anatomiques, mais aussi de troubles quantitatifs ou qualitatifs du sperme. Ces anomalies sont identiques à celles décrites de manière apparemment contradictoire dans diverses études effectuées chez les soudeurs. Nous pensons en réalité que les effets reprotoxiques observés dans cette population résultent de la combinaison des effets thermiques avec les effets toxiques de ces substances, la variabilité observée dans les études ayant pour cause l'hétérogénéité des conditions et des niveaux d'exposition respectifs à ces agents chimiques. Nous suggérons d'initier de nouvelles études afin d'étudier le caractère additif ou synergique de ces effets combinés.

# Étude pilote sur l'évaluation de l'activité physique et du stress aux postes de bureau

Ellegast R.<sup>1</sup>, Weber B.<sup>1</sup>, Mahlberg R.<sup>1</sup>, Harth V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA),  
Sankt Augustin, Germany

<sup>2</sup> Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IPA),  
Bochum, Germany

---

## Introduction

Les causes de TMS d'origine professionnelle sont généralement multifactorielles, et il existe de nombreux facteurs de risque pour les divers types de TMS [1]. Les travailleurs sont exposés simultanément à plusieurs facteurs, dont l'interaction peut contribuer à une aggravation des effets.

Si l'on dispose de méthodes pour évaluer les effets d'expositions à un seul facteur, on manque d'outils capables d'évaluer la combinaison de divers types d'exposition.

On présentera ici une étude pilote visant à tester un ensemble de méthodes d'évaluation de l'activité physique (AP) et du stress à des postes de travail de bureau.

## Méthodes

Vingt-cinq employés de bureau (6 femmes et 19 hommes) ont participé à des essais contrôlés et aléatoires à leur poste de travail. Contrairement au groupe témoin (n=12), le groupe d'intervention (n=13) bénéficiait d'une série de mesures de soutien. Ces mesures comprenaient des dispositions relatives à la posture de travail (tables assis-debout, par exemple) et au comportement [pédomètres, motivation individuelle, participation à des programmes conçus pour promouvoir l'activité physique (AP)]. Le soutien durait 12 semaines.

Durant cette période, l'AP professionnelle était objectivée par un enregistrement détaillé et par un système de mesure de l'activité appelé AiperMotion 320. Des évaluations précises avant et durant le soutien étaient réalisées au moyen d'un système expert de mesure de l'activité (CUELA) comportant 7 capteurs de mouvements inertiels [2]. Ce système identifie automatiquement les activités et postures corporelles en déterminant la dépense d'énergie et l'intensité de l'activité physique (PAI) pour différentes régions du corps.

Avant et après intervention, plusieurs méthodes ont été appliquées pour analyser le stress et l'état de santé. Des questionnaires standardisés ont été utilisés pour évaluer le bien-être physique et émotionnel. Un examen médical général et un examen médical orthopédique standardisé ont été également réalisés. Des tests d'endurance ont été réalisés sur une bicyclette ergométrique. La force maximale de différents muscles a été mesurée à l'aide d'un dynamomètre, et la force-endurance des muscles du dos, de l'abdomen, des épaules et des cuisses a été déterminée par des tests classiques issus de la médecine de réadaptation.

Des analyses de variance non-paramétriques à deux facteurs et des tests de Wilcoxon ont été utilisés pour effectuer la comparaison avant-après.

## Résultats

La mise en œuvre des différents éléments de la méthode s'est traduite par des effets positifs significatifs. L'enregistrement des activités a montré que, sur toute la période, les sujets du groupe soutenu passaient plus de temps debout ( $p \leq 0,001$ ) par rapport aux témoins. Le système classique de mesure de l'activité a montré également que le groupe soutenu a effectué un plus grand nombre de pas que le groupe témoin ( $p \leq 0,001$ ). Le système expert CUELA confirme ces différences significatives ( $p \leq 0,001$ ) de comportement : réduction du temps passé en position assise, augmentation du temps passé debout ( $p \leq 0,001$ ) ou à marcher ( $p \leq 0,001$ ), et augmentation des niveaux de PAI des membres supérieurs et inférieurs et du tronc ( $p \leq 0,001$  pour chaque grandeur) dans le groupe soutenu. Par ailleurs, aucun effet significatif n'a été observé dans le groupe témoin.

Les sujets présentaient en outre des améliorations du bien-être émotionnel, de la masse corporelle et de la fréquence cardiaque au repos, et l'on notait une plus grande souplesse dans certains mouvements des articulations (extension du genou, par exemple), une augmentation de la résistance maximale (muscles du dos uniquement) et de la force-endurance.

## Discussion

Les résultats de l'étude pilote suggèrent que le programme de soutien a été efficace et que la méthode testée était adaptée pour quantifier l'activité physique et le stress aux postes de bureau. L'absence de résultats significatifs pour certaines méthodes peut signifier soit que la méthode n'était pas appropriée (taille de l'échantillon trop réduite, par exemple, ou saturation des effets), soit que la méthodologie considérée n'était pas assez sensible. Dans l'ensemble, une sélection restreinte de méthodes qui associe des questionnaires standardisés d'évaluation du bien-être, des systèmes de mesure de l'activité physique et des examens médicaux, semble prometteuse pour l'analyse des effets d'interventions relatives à l'activité physique à des postes de bureau. En complétant par d'autres tests, de nouveaux outils, s'inspirant de cette approche, pourraient permettre d'évaluer les effets de multi-expositions - activité physique et vibrations au corps entier, par exemple [3].

## Références :

- [1] Parent-Thirion, A., Fernández, M.E., Hurley, J., Vermeulen, G., 2007. Fourth European Working Conditions Survey. European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions, Dublin.
- [2] Weber B, Hermanns I, Ellegast R, Kleinert J, 2009. A person-centered measurement system for quantification of physical activity and energy expenditure at workplaces. In: Karsh B-T, editor. Ergonomics and Health Aspects, HCII 2009. Berlin: Springer; LNCS 5624, 121-130.
- [3] Raffler, N.; Hermanns, I.; Sayn, D.; Göres, B.; Ellegast, R.P.; Rissler, J., 2010. Assessing Combined Exposures of Whole-body Vibration and Awkward Posture - Further Results from Application of a Simultaneous Field Measurement Methodology. Industrial Health 48 (2010) Nr. 5, 638-644.

# **Influence des contraintes physiques et psychosociales au travail sur la prévalence des troubles des cervicales, du dos et des membres supérieurs – étude de suivi sur un an**

Bugajska J.<sup>1</sup>, Żołnierczyk-Zreda D.<sup>1</sup>, Jędryka-Góral A.<sup>2</sup>, Gasik R.<sup>2</sup>, Hildt-Ciupińska K.<sup>1</sup>,  
Malińska M.<sup>1</sup>, Bedyńska S.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Central Institute for Labour Protection – National Research Institute  
00-701 Warsaw, Czerniakowska 16, Poland

<sup>2</sup> Institute of Rheumatology, 02-637 Warsaw, Spartańska 1, Poland

<sup>3</sup> Warsaw School of Social Sciences and Humanities, 03-815 Warsaw, Chodakowska 19/33, Poland

*Mots clés : TMS, multiexpositions, contraintes physiques et psychosociales au travail*

---

## **Introduction et objectifs**

Les troubles musculosquelettiques sont l'une des principales plaintes exprimées par les travailleurs, quelle que soit la nature de leur activité. Bien que l'étiologie de ces troubles soit complexe, les aspects physiques et psychosociaux des conditions de travail jouent un rôle majeur à cet égard. L'objectif de l'étude était de déterminer la relation entre contraintes physiques et psychosociales au travail et troubles musculosquelettiques, dans le cadre d'enquêtes de suivi sur un an.

## **Méthode**

Les aspects psychosociaux des conditions de travail ont été analysés à partir du questionnaire de Karasek (1979) sur le contenu des tâches. L'analyse des contraintes physiques incluait les aspects suivants : répétitivité des tâches, force exercée et durée du travail. Les troubles musculosquelettiques étaient établis à l'aide du questionnaire nordique (Kourinka et al., 1987). Des tests de provocation selon le protocole de Sluiter et al. (2001) étaient utilisés pour évaluer la prévalence des troubles musculosquelettiques. L'étude portait sur 725 sujets âgés de 20 à 70 ans.

## **Résultats**

Les résultats de l'étude ont montré que les troubles musculosquelettiques touchaient principalement les régions lombaires (58 % des sujets), cervicales (57 %), poignet/main (47 %), et dorsales (44 %). Parmi les syndromes de sur-sollicitation, c'est le syndrome du canal carpien qui présentait la prévalence la plus élevée (33,6 % des sujets), suivi des tendinites (15,4 %), du syndrome du canal de Guyon (13,4 %), de l'épicondylite latérale (7,6 %) et de l'épicondylite médiale (5,3 %).

## **Conclusions**

Les résultats de l'étude montrent que les facteurs psychosociaux sont des prédicteurs de la prévalence des troubles musculosquelettiques et des syndromes de sur-sollicitation, et sont indépendants des facteurs individuels comme l'âge ou le genre. Une analyse logistique a donné les résultats suivants :

- une augmentation des contraintes psychiques liées au travail accroît le risque d'épicondylite latérale ou médiale,
- une augmentation du degré de maîtrise de l'activité réduit le risque de syndrome du canal carpien,
- une augmentation des contraintes psychiques liées au travail accroît le risque de syndrome du canal carpien,
- il n'a pas été établi de corrélation entre l'insécurité de l'emploi, le soutien social, l'allongement des horaires de travail ou la pratique d'un sport, d'une part, et la prévalence de certains syndromes de sur-sollicitation, d'autre part.



# Quel est le degré de pénibilité du travail des mineurs ? Evaluation des dépenses énergétiques et de l'astreinte physiologique associées aux travaux souterrains

Schutte P.C., Grové T.

Centre for Mining Innovation, Council for Scientific and Industrial Research,  
Johannesburg, South Africa

*Mots clés : activité physique, exposition professionnelle à la chaleur,  
astreinte physiologique, rythme de travail*

---

## Introduction

L'exploitation minière est souvent associée à des conditions de travail difficiles, et le métier de mineur est considéré comme l'un de ceux qui comportent le plus de contraintes physiques. En Afrique du Sud, l'industrie minière doit tenir compte des spécificités d'une main-d'œuvre très diverse qui peut être aussi bien masculine que féminine. Des informations sur les dépenses énergétiques et les astreintes physiologiques inhérentes au travail dans les mines sont essentielles pour que tous les salariés – hommes et femmes – bénéficient d'un environnement de travail présentant le moins de risque possible pour leur sécurité et leur santé.

## Méthodologie

Pour déterminer les dépenses énergétiques et les astreintes physiologiques, on a enregistré, à l'aide du système de surveillance physiologique CorTemp™, le rythme cardiaque et la température centrale d'un groupe de mineurs (hommes et femmes) lors de leurs activités habituelles. Le rythme cardiaque permettait d'estimer les dépenses énergétiques et, en combinant cette information avec la température centrale du corps, de calculer l'indice d'astreinte physiologique. Les résultats obtenus ont été utilisés pour déterminer les relations entre dépenses énergétiques (et astreinte physiologique) d'une part, et exigences physiques de la tâche d'autre part, compte tenu des caractéristiques physiques de l'environnement de travail, des conditions thermiques, des cycles travail/repos et de la durée d'exposition. Les données ont été également utilisées pour déterminer les différences entre mineurs hommes et femmes.

## Résultats

Les dépenses énergétiques obtenues dans cette étude sont, en moyenne, d'intensité modérée. Les travaux pénibles incombent avant tout aux professions intervenant directement dans la production. Les travaux très pénibles sont généralement de courte durée, et semblent être une exception plutôt que la règle. Les mineurs de sexe féminin subissaient au cours des tâches physiques dures des niveaux d'astreinte physiologique plus élevés que leurs collègues masculins. Bien qu'attendue, cette observation ne peut être ignorée lors de l'affectation des mineurs de sexe féminin à des activités comportant une charge physique élevée.

## Conclusions

La quantification des dépenses énergétiques et des contraintes physiques des mineurs a fourni une base scientifique pour définir des politiques de placement de la main-d'œuvre (sur la base, notamment, de critères physiques) et identifier les métiers où des interventions ergonomiques ou autres sont nécessaires pour protéger la santé et le bien-être des travailleurs.

## Stress au travail chez les mineurs d’Afrique du Sud

Edwards A.L., Milanzi L., Letsoalo S., Hodgskiss J.

Council for Scientific and Industrial Research, Centre for Mining Innovation,  
Johannesburg, South Africa

*Mots clés : stress au travail, niveaux de cortisol salivaire*

---

### Introduction

Le travail à la mine est extrêmement rude, et pourtant on dispose de relativement peu d’informations sur l’impact que peut avoir le stress professionnel, provoqué par les multiples facteurs de risque pour la santé et la sécurité des mineurs de fond, sur leur bien-être psychologique. Le stress a été signalé comme un facteur qui compromet la sécurité et contribue à l’apparition de divers problèmes de santé. Le stress est habituellement mesuré par le biais de questionnaires individuels (subjectifs) et de marqueurs biologiques (objectifs) tels que le cortisol salivaire.

### Méthodologie

Cette étude a permis de mesurer, de façon objective et subjective, le stress auquel ont été soumis 173 mineurs manipulant des produits différents et travaillant à des postes différents. Le dosage du cortisol salivaire a été effectué avec une « salivette ». Le stress psychologique a été mesuré à l’aide de trois questionnaires connus pour permettre de mesurer divers aspects du stress professionnel, à savoir le *Job Content Questionnaire* (questionnaire sur la nature du travail), le *General Health Questionnaire* (questionnaire sur l’état de santé général) et le *Subjective Fatigue Checklist* (questionnaire sur la fatigue subjective ressentie). L’analyse des résultats visait à mesurer le stress chez les mineurs hommes et femmes travaillant au fond et au jour.

### Résultats

Les résultats ont révélé chez les mineurs des niveaux modérés de latitude décisionnelle et d’exigences psychologiques ainsi qu’une faible détérioration de leur état de santé et de leur bien-être psychologique. En moyenne, 36 % des mineurs travaillant la nuit présentaient des symptômes de fatigue physique et 31 % d’entre eux se plaignaient de difficultés de concentration. Après le travail, 17 % des mineurs présentaient des concentrations de cortisol salivaire supérieures à celles escomptées.

### Conclusion

Au vu des résultats, les outils de mesure objective et subjective se révèlent un bon moyen pour mesurer le stress au travail chez les mineurs d’Afrique du Sud. La gestion des lieux de travail, et notamment des exigences psychologiques, de la fatigue physique et des difficultés de concentration, pourrait permettre de réduire le risque d’accidents, de prévenir les problèmes de santé et de préserver le bien-être psychologique.

# Influence des risques psychosociaux sur la prévention des troubles musculo-squelettiques

Cuny-Guerrier A.<sup>1</sup>, Caroly S.<sup>2</sup>, Aublet-Cuvelier A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), Rue du Morvan  
CS 60027, 54519 Vandœuvre Cedex, France

<sup>2</sup> Laboratoire PACTE, Politiques publiques, Action politique, Territoires Pacte, INPG,  
46 avenue Félix Viallet, 38031 Grenoble cedex, France

*Mots-clés : Troubles musculosquelettiques, psychosocial, physique, prévention*

---

## Introduction

Les relations entre troubles musculosquelettiques (TMS) et risques psychosociaux (RPS) sont maintenant bien documentées sur le plan scientifique. En situation de travail, il n'est pas pour autant évident de traduire ces connaissances en termes de stratégies d'action pour la prévention. Cette étude a été menée suite à des difficultés d'action exprimées par un service de santé au travail en matière de prévention des TMS dans les activités de nettoyage qui exposent à la fois à des risques physiques et psychosociaux.

## Objectifs

Identifier par une approche ergonomique les relations entre RPS et TMS au sein des activités de nettoyage et leur retentissement potentiel sur la stratégie de prévention des TMS dans ce secteur.

## Méthodes

La méthodologie de référence est la recherche-intervention en ergonomie. L'analyse repose sur des données issues de la retranscription d'entretiens avec 10 médecins du travail et des observations des activités de nettoyage. Elle a conduit à identifier des facteurs de RPS en lien avec les TMS et à en évaluer l'impact sur le suivi des salariés et des entreprises par les médecins du travail.

## Résultats

Les TMS sont mis en relation avec une exposition physique importante mais également avec de multiples facteurs de risques psychosociaux tels que des tensions générées par l'intensification du travail tout en préservant la qualité du travail et des relations avec le client. La représentation de ces liens par les médecins du travail peut faciliter l'action en termes de mobilisation et conduire à un élargissement du diagnostic ergonomique susceptible de faire émerger de nouvelles pistes d'action. A l'inverse, cette représentation peut aussi renforcer le sentiment d'incapacité à intervenir en l'absence de marges de manœuvre organisationnelles.

## Discussion/conclusion

A l'issue de cette étude, des perspectives de recherche apparaissent, visant à étudier plus précisément les relations entre RPS et risque de TMS dans l'activité de travail pour optimiser les stratégies de prévention associant ces deux risques.

## Il faut être deux pour danser le tango : de la recherche à la prévention

Prof Frings-Dresen M. HW

Coronel Institute of Occupational Health  
Academic Medical Center (AMC)  
Amsterdam, the Netherlands  
Email: [m.frings@amc.uva.nl](mailto:m.frings@amc.uva.nl)

---

La recherche est nécessaire pour recueillir des données scientifiques sur les risques professionnels, et les mettre en relation avec les maladies professionnelles et les plaintes des salariés. La littérature comporte de très nombreuses données sur les niveaux d'exposition et les effets des expositions en termes de maladies professionnelles. En ce qui concerne les multiexpositions, cependant, les données scientifiques sont plus rares et une coopération entre la recherche et le terrain est nécessaire. Les expositions combinées ou mixtes peuvent avoir des effets aigus ou chroniques, ou une combinaison d'effets aigus et chroniques, avec ou sans période de latence. Les multiexpositions peuvent notamment induire des effets accrus ou inattendus sur la santé, ou engendrer de nouveaux risques. C'est le cas de l'hypoacousie liée à l'interaction entre le bruit et certains produits chimiques, par exemple, ou du risque accru de troubles musculosquelettiques en cas de coexposition à des facteurs physiques et psychosociaux. Même pour un préventeur qualifié, il n'est pas facile d'identifier quelles sont les données les plus pertinentes pour une action préventive en milieu de travail en cas d'exposition mixte ou combinée. L'approche facteur par facteur n'est pas adaptée à la maîtrise des risques professionnels en cas de multiexpositions. Les données relatives aux différents facteurs en cause ne suffisent pas non plus pour modifier l'exposition professionnelle : des considérations éthiques, les avis des experts en santé au travail et les valeurs, intérêts et priorités des salariés, des entreprises et des pouvoirs publics sont déterminants.

Dans les études d'intervention en milieu de travail, les essais contrôlés randomisés (ECR) sont reconnus comme méthode standard pour évaluer l'efficacité des interventions, mais il arrive que certains facteurs importants ne puissent pas être contrôlés dans ce type d'études. Dans le cas des multiexpositions, il faut recueillir des informations auprès de ceux qui font le travail. La recherche participative implique un coapprentissage entre chercheurs et travailleurs. L'évaluation des processus est également un outil important pour cerner l'impact d'aspects spécifiques sur la mise en œuvre d'une intervention. Pour qu'une intervention à visée préventive soit couronnée de succès, il importe que la direction et l'encadrement soient partie prenante dans l'intervention, et pas seulement les travailleurs et les experts en santé au travail.

En fait, la mise en œuvre d'interventions visant à protéger la santé au travail fait appel au comportement des employeurs, des travailleurs et des autres acteurs concernés. La connaissance des phases sous-tendant l'évolution des comportements au cours de la mise en œuvre des interventions est cependant limitée.

Il importe de développer et de mettre en œuvre de nouvelles méthodes de surveillance pour déterminer le nombre de travailleurs concernés par des multiexpositions spécifiques et identifier les effets de ces multiexpositions sur la santé.

En résumé, pour favoriser la diffusion des résultats de la recherche, il convient de développer la collaboration entre spécialistes de santé au travail et travailleurs. Le thème des multiexpositions est un domaine particulier où la recherche et le terrain doivent travailler ensemble : il faut être deux pour danser le tango.



## **Analyse de l'exposition professionnelle au bruit et de son impact sur les performances des salariés dans une station de pompage du secteur pétrolier**

Dal U., Birlik G.

Department of Engineering Sciences, Middle East Technical University, Inonu Bulvar,  
06531, Ankara, Turkey

*Mots clés : questionnaire, mesurage du bruit, efficacité au travail, analyse factorielle*

---

Le site pétrochimique qui a fait l'objet de la présente étude est situé à une altitude de 2 200 mètres environ. Il compte onze bâtiments aménagés sur une superficie de 40 000 m<sup>2</sup>. La température moyenne est de -11,4 °C en janvier et + 16,3 °C en juillet. Le site emploie 92 salariés en travail posté (14 jours de travail – 14 jours de repos). Le niveau de bruit continu équivalent, pondéré A, L<sub>Aeq</sub> (8 h) était compris entre 81,2 et 110,2 dB(A). L'indicateur de performances des salariés à leur poste était de 2,9/5.

L'objectif de cette étude était d'analyser le niveau de bruit d'une station de pompage du secteur pétrolier et son impact sur les performances des salariés. Pour ce faire, une enquête par questionnaire a été menée, et les niveaux d'exposition au bruit sur le site ont été enregistrés. Le classement subjectif des niveaux de bruit auxquels les salariés ont été exposés et les performances des salariés dans un environnement bruyant ont été analysés par le biais de questionnaires (taux de réponse : 86 %, soit 79/92). On a pu établir une bonne corrélation entre le classement subjectif des niveaux de bruit et les performances des salariés.

# Effets combinés du bruit et d'un mélange de solvants sur la pression sanguine des travailleurs dans la construction automobile

Attarchi M.S., Golabadi M., Labbafinejad Y., Mohammadi S.

Occupational Medicine Department and Occupational Medicine Research Center of Tehran  
University of Medical Sciences, Tehran, Iran  
Majid Golabadi, MD  
Golabadi\_m@yahoo.com

*Mots clés : Hypertension, pression sanguine, bruit, solvants, exposition professionnelle*

---

## Introduction

L'hypertension est un problème majeur de santé publique dans le monde. Des études récentes indiquent que les expositions professionnelles au bruit et aux solvants organiques peuvent affecter la pression sanguine. Cette étude avait pour but d'étudier l'interaction entre le bruit et les mélanges de solvants organiques sur la pression sanguine des travailleurs employés dans la construction automobile.

## Méthodes

429 travailleurs d'une usine de construction automobile en Iran ont été répartis en quatre groupes. G1 : travailleurs exposés au bruit et à un mélange de solvants organiques à des niveaux inférieurs aux valeurs limites (témoins) ; G2 : travailleurs exposés à un mélange de solvants organiques dont la concentration (VME) était supérieure aux valeurs limites (exposition aux solvants) ; G3 : travailleurs exposés à un niveau de bruit Lex, d supérieur aux valeurs limites (exposition au bruit), et G4 : travailleurs exposés à des niveaux de bruit Lex, d et à des concentrations de solvants organiques VME supérieurs aux valeurs limites (co-exposition). La pression systolique et diastolique (PSS et PSD) ainsi que la prévalence de l'hypertension ont été comparées pour les différents groupes. L'interaction biologique des deux variables sur l'hypertension a été calculée en utilisant un indice de synergie.

## Résultats

Les travailleurs co-exposés (G4) présentaient une PSS et une PSD, ainsi qu'une prévalence de l'hypertension, significativement plus élevées par rapport aux travailleurs exposés uniquement au bruit ou aux solvants ( $p < 0,05$ ) et par rapport aux témoins ( $p < 0,001$ ). Une analyse de régression logistique, ajustée pour tenir compte des facteurs de confusion, a montré également une relation significative entre l'hypertension et l'exposition au bruit et à un mélange de solvants. Les odds ratio (OR) pour l'hypertension dans le groupe G4 et les groupes G3 et G2 étaient, par rapport au groupe G1, de 8,67, 6,64 et 2,50 respectivement. L'indice de synergie a été estimé à 1,07.

## Conclusion

Nos résultats indiquent que l'exposition au bruit ou à un mélange de solvants peut se traduire par une prévalence accrue de l'hypertension chez les travailleurs du secteur automobile, et que la co-exposition au bruit et à un mélange de solvants a un effet additif sur l'hypertension. Des programmes adaptés de prévention et de surveillance sont donc recommandés pour ces travailleurs.

# Etude rétrospective des effets du travail posté sur la perte de poids chez des travailleurs du sexe masculin

Latif A.<sup>1</sup>, Padmanabhan S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Health promotion unit, Medical services department, Qatar Petroleum

<sup>2</sup> Occupational health, Medical services department, Qatar Petroleum

*Mots clés : travail posté, poids, indice de masse corporelle, activité physique*

---

## Contexte

Les programmes de mise en forme jouent un rôle important dans l'amélioration de la santé des salariés par la promotion d'une alimentation saine et d'une activité physique régulière. Les facteurs spécifiques influant sur les programmes de gestion du poids ne sont pas clairs.

## Objectif

Comparer rétrospectivement les effets du travail posté et du travail de jour sur la perte de poids chez des salariés de la compagnie pétrolière et gazière de l'Etat du Qatar, Doha, Qatar.

## Conception

Etude de cohorte rétrospective.

## Cadre

Consultation de gestion du poids, centre médical de Qatar Petroleum, la compagnie pétrolière et gazière nationale de l'état du Qatar, Doha, Qatar.

## Participants

60 salariés obèses (IMC > 30 kg/m<sup>2</sup>), âgés de 25 à 55 ans, dont 30 ayant un travail posté et 30 travaillant de jour.

## Principales données recueillies

Taille, poids et indice de masse corporelle (IMC) recueillies au jour 0 et au bout de 6 mois dans la base de données du service.

## Résultats

Les valeurs moyennes ( $\pm$  l'écart type) de la modification de l'IMC chez les travailleurs postés et chez ceux qui travaillaient le jour étaient respectivement de  $1,41 \pm 1,09$  et de  $2,26 \pm 1,48$  kg/m<sup>2</sup>. Il y a une différence statistique ( $p= 0,014$ ) entre les deux groupes pour ce qui est de l'évolution de l'IMC au cours de ces 6 mois. Cette différence est de  $-0,85$  kg/m<sup>2</sup>, IC 95% ( $-1,52$  à  $-0,17$ ).

## Conclusions

Chez les sujets suivis lors de la consultation de gestion du poids de l'entreprise, pendant une période de 6 mois, les travailleurs postés avaient une perte de poids moyenne plus faible que celle constatée chez les travailleurs de jour ; ces résultats suggèrent que le travail de jour est plus favorable à la perte de poids que le travail posté.

Ces données conduisent à s'interroger sur le travail posté et ses effets sur la santé, et à se demander si des programmes de mise en forme et de soutien en milieu de travail auraient un effet bénéfique notable pour inciter les travailleurs à une activité physique régulière et à une alimentation saine.



# INDEX DES AUTEURS

---

## A

Attarchi MS. ....	69
Aublet-Cuvelier A. ....	65
Avan P. ....	40

---

## B

Bedyńska S. ....	62
Belhadj Z. ....	48
Bertin M. ....	20
Birlik G. ....	68
Bois F.Y. ....	27
Bourgard E. ....	21
Bugajska J. ....	62

---

## C

Campo P. ....	41, 43
Caroly S. ....	65
Casio W. E. ....	50
Cerini L. ....	38
Chazelet S. ....	57
Chebab O. ....	48
Cheng S. ....	27
Clair E. ....	23
Clement-Duchene C. ....	21
Clerc F. ....	16, 36
Commission VLEP de l'ANSES ....	44
Cosnier F. ....	19
Cossec B. ....	19
Counil E. ....	20
Cour C. ....	43
Courouble N. ....	21
Cramariuc O. ....	18
Cuny-Guerrier A. ....	65

---

## D

Dal U. ....	68
Danuser B. ....	50
de Sousa G. ....	33
Décret M.J. ....	19
Defarge N. ....	23
Didry G. ....	58
Drolet D. ....	25
Duretz B. ....	29
Duval-Arnould G. ....	17

---

## E

Edwards A.L. ....	49, 64
El Yamani M. ....	44
Ellegast R. ....	60
Erb A. ....	30

---

## F

Fechter LD ....	42
Ferrari L. ....	22
Fevotte J. ....	21
Formanowicz A. ....	49
Franz RM. ....	49
Frings-Dresen M. HW ....	66

---

## G

Gabriel St. ....	37
Gasik R. ....	62
Gatto M.P. ....	38
Gherardi M. ....	38
Gilain L. ....	40
Gingembre L. ....	58
Giraudet F. ....	40
Golabadi M. ....	69
Gondrexon J.C. ....	19
Gordiani A. ....	38
Gress S. ....	23
Grové T. ....	49, 63

---

## H

Haddad S. ....	25
Hakkarainen T. ....	32
Harteman Ph. ....	22
Harth V. ....	60
Hildt-Ciupińska K. ....	62
Hodgskiss J. ....	64

---

## J

Järnström H. ....	32
Jędryka-Góral A. ....	62
Johnson A.C. ....	39
Jumpponen M. ....	31

---

## K

Kandouci A.B. ....	48
--------------------	----

Kandouci C.....	48
Karilainen T.....	18
Kerautret M.A. ....	22

---

## L

Labbafinejad Y.....	69
Laine O. ....	18
Laitinen J. ....	31, 32
Lara J. ....	25
Latif A. ....	70
Letsoalo S. ....	64

---

## M

Mäkelä M. ....	32
Malchaire J. ....	54
Malińska M.....	62
Marsan P. ....	30
Meier R.....	50
Mesnager R.....	23
Meyer J.P.....	57
Michiels F. ....	59
Milanzi L. ....	64
Mohammadi S. ....	69
Mom T. ....	40
Morata T.C. ....	45

---

## N

Nawaz A.....	33
Nicolas A.....	29
Nunge H.....	19

---

## O

Oksa P.....	32
Oury B.....	24

---

## P

Paci E. ....	38
Padmanabhan S.....	70
Paloposki T. ....	32
Papaleo B.....	38
Parietti-Winkler C.....	43
Paris C.....	21, 22
Pasanen P. ....	31
Pecson-Iaribi O. ....	22

---

## R

Rahmani R. ....	33
Remy O.....	57

Riediker M. ....	50
Rieger B. ....	43
Ripert C. ....	17
Robert A.....	30
Róg T.....	18
Rönkkömäki H.....	31
Rousseau J. ....	29
Rumeau C. ....	41, 43

---

## S

Sanjust F. ....	38
Santos P. ....	51
Schutte P.C. ....	49, 63
Sébastien P. ....	17
Séralini G.-E. ....	23
Sisto R. ....	38
Skjonsberg A. ....	39

---

## T

Tardif R. ....	26
Thomas A.....	43
Tiberguent A. ....	22
Tillander K.....	32
Tranfo G.....	38
Turpin-Legendre E. ....	58
Turunen-Taheri S. ....	39

---

## V

Vattulainen I. ....	18
Venet T. ....	41, 43
Verdun A.....	57
Vincent R. ....	16, 36

---

## W

Weber B.....	60
Wild P. ....	21

---

## Y

Yang R. SH.....	15
-----------------	----

---

## Z

Zmirou-Navier D. ....	22
Żołnierczyk-Zreda D. ....	62



[www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)



*Organisée par l'Institut national de recherche  
et de sécurité (INRS) avec le soutien  
du Partenariat pour la recherche européenne  
en santé et sécurité au travail (PEROSH)*