



# Études & recherche

Studies & research

2009/2010

## SOMMAIRE

### Avant-Propos

Éditorial du Directeur Général de l'INRS .....	02
Mot du Directeur Scientifique de l'INRS .....	04
Commission scientifique .....	06
Groupes de suivi .....	07
Activités études et recherche des départements de l'INRS .....	10
Entretien avec le Président de la Commission scientifique .....	14
Bilan d'activité 2009 « études et recherche » .....	16

### Activité d'études et recherche 2009

Risques Psycho-sociaux .....	18
Troubles Musculo-squelettiques .....	24
Risques mécaniques .....	27
Bruit .....	36
Champs électromagnétiques .....	39
Risques chimiques .....	42
Déchets et recyclage .....	66
Nanotechnologies et nanoparticules .....	75
Risques pour la reproduction .....	79

### Actions en cours en 2010 .....

83

### Partenariats .....

90

### Publications de l'année 2009 .....

94

### Liste des publications 2009 .....

98

## CONTENTS

### Foreword

Editorial of the Director General .....	03
Message of the Scientific Director .....	05
Scientific commission .....	06
Follow-up groups .....	07
Studies and research Activities of INRS divisions .....	12
Interview with the Chairman of the Scientific Commission .....	15
2009 « studies and research » annual report .....	16

### Study and research activity 2009

Psychosocial risks .....	18
Musculoskeletal disorders .....	24
Mechanical risks .....	27
Noise .....	36
Electromagnetic fields .....	39
Chemical risks .....	42
Waste products and recycling .....	66
Nanotechnologies and nanoparticles .....	75
Risks to reproduction .....	79

### Actions in progress in 2010 .....

83

### Partnerships .....

92

### Publications in 2009 .....

96

### List of publications 2009 .....

98

## EDITORIAL DU DIRECTEUR GÉNÉRAL

Au sein de l'INRS, les études et recherches, la formation, l'assistance, l'information et la communication sont interdépendants. Ces modes d'actions complémentaires, associés à l'approche pluridisciplinaire de l'Institut sont essentiels pour transférer les connaissances vers le terrain avec des solutions de prévention. Toxicologie, épidémiologie, ingénierie, mise au point de méthodes de prélèvement et de dosage, mesurage des expositions au poste de travail, proposition de produits de substitution, conception de dispositifs de protection collective... illustrent la variété des disciplines de l'Institut et sont autant d'atouts au service d'une prévention efficace des accidents du travail et des maladies professionnelles.

Prenons l'exemple d'un risque émergent, les nanoparticules, où l'attente sociale est forte. Le Conseil d'administration de l'Institut a adopté un vaste programme, qui intègre notamment un volet formation et information, pour amplifier les travaux déjà engagés en tenant compte des actions menées par d'autres organismes scientifiques nationaux et internationaux. Des réseaux, tant internes à l'Institut qu'avec d'autres centres de compétences, ont également été constitués sur d'autres sujets pour compléter la réponse à la demande de prévention du monde du travail.

Très bonne lecture



Stéphane Pimbert  
Directeur Général

## EDITORIAL OF THE DIRECTOR GENERAL

Within INRS, the study and research, training, assistance, information and communication activities are indeed interdependent. The complementary modes of action of the institute and its multidisciplinary approach are essential if knowledge is to be transferred to the field along with prevention solutions. Toxicology, epidemiology, engineering, sampling and analytical method development, workstation exposure measurement, substitute product proposals, collective protective device design, etc. all illustrate the variety of the disciplines of the institute which are vital assets at the service of efficient occupational accident and disease prevention.

Take the example of one emerging risk, nanoparticles, where social expectation is high. The Board of Directors of the institute has adopted an extensive programme that integrates training and information components intended to amplify the work already in progress to while taking into account the actions undertaken by other national and international scientific bodies. Networks, both within the institute and with other centres of competence, have also been set up on other subjects to complete the response to the demand for prevention from the world of work.

Wishing you an interesting and informative read.

Stéphane Pimbert  
Director General

## MOT DU DIRECTEUR SCIENTIFIQUE

Du risque toxique au bien-être physique et psychologique, l'INRS mène des recherches pour mieux connaître les risques professionnels, analyser leurs conséquences pour la santé de l'Homme au travail et proposer des moyens de prévention. Les activités de recherche qui représentent aujourd'hui 40% de l'activité de l'Institut, sont conduites par environ 300 personnes au sein de 6 départements et de 25 laboratoires spécialisés. Elles contribuent à la production de connaissances et de solutions de prévention dans le domaine des risques professionnels. Les retombées pratiques de ces recherches sont multiples : nouvelles méthodes, brevets, brochures d'information, formations, nouveaux appareils, logiciels... bien au-delà des publications scientifiques nationales et internationales.

L'INRS vous propose cette nouvelle présentation des principaux résultats scientifiques obtenus en 2009. En complément des supports existants rendant compte des travaux scientifiques, tels que les revues *Hygiène et Sécurité du Travail* et *Documents pour le Médecin du Travail*, le site Internet de l'INRS, les publications, les événements (colloques, conférences), ce document s'inscrit dans notre volonté de développer la communication scientifique dans et hors de nos frontières.

L'origine d'un projet de recherche inscrit au programme de l'INRS, dont la durée moyenne est de trois ans, répond généralement à des préoccupations formulées par les services de santé et de prévention au travail (entreprises, médecins du travail, Institution Prévention...). Nos projets sont tous évalués par une commission scientifique indépendante lors de l'ouverture et la clôture d'un projet. Cette évaluation systématique par nos pairs est le garant de la crédibilité scientifique de nos travaux. Par ailleurs, une démarche de veille et de prospective permet d'anticiper les risques professionnels futurs en intégrant des sujets émergents dans notre programme de recherche.

Les domaines prioritaires actuels concernent les risques liés aux nanoparticules avec des actions d'ampleur autour de la toxicologie, la métrologie et les moyens de prévention. Une trentaine de personnes à l'INRS est impliquée sur ce thème. Les risques psychosociaux sont également prioritaires avec des recherches sur le stress, l'isolement, la violence, la charge émotionnelle.

Enfin de nombreux projets de recherche sont menés en partenariat avec des universités et des organismes de recherche nationaux et internationaux.

En vous souhaitant bonne lecture.

Didier Baptiste

Directeur Scientifique de l'INRS

Direction scientifique ([ds@inrs.fr](mailto:ds@inrs.fr))

Elle a pour mission d'assurer l'animation et la coordination des activités d'études et recherche de l'INRS (programmation, suivi et valorisation des études) ainsi que la veille et la prospective (analyse des tendances et évolutions pouvant avoir un impact sur l'environnement de la santé et sécurité au travail). Elle développe des partenariats scientifiques européens et internationaux.

## MESSAGE OF THE SCIENTIFIC DIRECTOR

From toxic risk to physical and psychological well-being, INRS conducts research to better understand occupational risks, analyse their impact on human health at work, and propose means of prevention. The research activities, which today account for 40 % of the activity of the institute, are carried out by some 300 people in six departments and 25 specialised laboratories. They contribute to the production of knowledge and solutions in the field of occupational risk prevention. The practical outcomes of this research are many: new methods, patents, information brochures, training, new apparatus and software as well as national and international publications.

INRS is pleased to present the principal results obtained in 2009. Complementary to the existing supports reporting on our scientific work, including the journals *Hygiène et Sécurité du Travail* and *Documents pour le Médecin du Travail*, the INRS Internet site, the publications, and the events (symposia, conferences), this document is further proof of our readiness to develop scientific communication both within and outside our borders.

The origin of a research project forming part of the INRS programme, the average duration of which is three years, generally responds to the concerns formulated by health and occupational risk prevention departments (enterprises, occupational physicians, French Prevention Institution, etc.). All our projects are assessed by an independent scientific commission on both the launch and closure of a project. This systematic peer assessment is the guarantor of the scientific credibility of our work. In addition, a scientific watch and foresight approach allows the anticipation of future occupational risks by integrating emerging subjects into our research programmes.

The current priority areas concern the risks attached to nanoparticles, with substantial action in the area of toxicology, metrology and means of prevention. Some 30 INRS members of staff are currently working on this topic. Psychosocial risks are also a priority, with research on stress, isolation, violence and emotional load.

Last but not least, some research projects are conducted in partnership with universities and national and international research bodies.

Hope you enjoy the read!

Didier Baptiste  
Scientific Director of INRS



Scientific Executive ([ds@inrs.fr](mailto:ds@inrs.fr))

Our aim is to ensure the leadership and coordination of the study and research activities of INRS (planning, monitoring and study result exploitation) as well as the scientific watch and foresight activities (analyses of the trends and evolution that could have an impact on the occupational health and safety environment). It develops European and international scientific partnerships.

## LA COMMISSION SCIENTIFIQUE DE L'INRS

L'INRS est doté d'une commission indépendante qui assure l'expertise de ses travaux scientifiques et techniques. Celle-ci est chargée d'évaluer la pertinence et la validité des études et recherche que l'Institut conduit. Cette commission comprend 20 membres, qui sont des personnalités particulièrement compétentes et reconnues dans les domaines disciplinaires de l'INRS. Les membres de cette commission scientifique accompagnent chaque opération nouvelle et en suivent le déroulement jusqu'à la clôture, en étroite collaboration avec les spécialistes de l'Institut. Sa composition est votée par le Conseil d'administration pour une durée de quatre ans. Les président et vice-présidents de la commission scientifique rendent compte de leurs avis au Conseil d'administration.

## THE INRS SCIENTIFIC COMMISSION

INRS has an independent scientific commission which appraises its scientific and technical work. It is responsible for assessing the relevance and the validity of the studies and research the institute conducts. This commission comprises 20 members, all very skilled individuals in the disciplinary areas of INRS. The members of this scientific commission accompany each new operation, and in close collaboration with the specialists of the institute follow up its execution till closure. Its composition is voted by the Board of Directors for a period of four years. The chairman and vice-chairmen of the scientific commission report their views to the Board.

### Président | Chairman

Dominique CHOUDAT

Groupe hospitalier Cochin – Pathologie professionnelle, médecine du travail

### Vice-présidents | Vice-chairmen

Denis BOULAUD

IRSN – Direction de l'Environnement et de l'Intervention

Jean-Claude MOISDON

École des Mines de Paris

**Autres membres | Other members**

Alain DEGIOVANNI	LEMTA – Nancy Université – INPL
Pierre DUCIMETIERE	INSERM – Unité 258
Jean-Jacques EHRHARDT	CNRS – LCPME – UMR 7564
Nadine GABAS	Laboratoire de Génie Chimique – École nationale supérieure des ingénieurs en arts chimiques et technologiques (ENSIACET)
Robert GARNIER	Hôpital Fernand Widal Centre Anti-Poisons de Paris
Dominique HABAUT	CNRS – UPR 7051 – Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique (LMA)
Marie-Claire HENNION	ESPCI – Laboratoire Environnement et Chimie analytique – CNRS
Marie-Claude JAURAND	INSERM Unité 674 IFR 105 – CEPH-IUH
Jean-Pierre LIBERT	Faculté de médecine d'Amiens – UPJV
Dominique LISON	Université Catholique de Louvain (Belgique) – Faculté de médecine – Unité de toxicologie industrielle et médecine du travail
Philippe LUBINEAU	CETIM
Joseph MARIANI	COMETS – LIMSI – CNRS – Université de Paris Sud
Antonio MOCCALDI	ISPESL – Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro (Italie)
François MOISAN	ADEME – Centre de Vanves
Françoise SIMONOT-LION	LORIA – Laboratoire Lorrain de Recherche en Informatique et ses Applications

## GROUPES DE SUIVI

Pour couvrir l'étendue des disciplines présentes à l'INRS la Commission Scientifique s'appuie sur des sous-commissions, appelées groupes de suivi. Au nombre de six, chaque groupe est relié, par domaine de compétence, à un département scientifique et technique (voir présentation pages ci-après) du centre de Lorraine de l'INRS. Ces groupes examinent, pour chaque étude, les objectifs, la démarche suivie, les résultats, les retombées escomptées ou réalisées. Leurs membres se réunissent à l'INRS chaque année durant deux jours pour analyser les comptes-rendus de travaux et établir leur rapport d'évaluation.

## FOLLOW-UP GROUPS

To cover the range of disciplines present in INRS the Scientific Commission has recourse to sub-commissions, termed follow-up groups. Numbering six, each group is linked, by area of competence, to a scientific and technical divisions (see following presentation pages) of the INRS Lorraine centre. For each study, these groups examine the aims, the approach followed, the results, and the anticipated or achieved outcomes. Their members meet at INRS each year for two days to analyse the work reports and to draft their assessment report.

**Membres du groupe de suivi département Epidémiologie en entreprise I**

**Members of the Occupational Epidemiology follow-up group**

Alain BERGERET	Institut Universitaire de Médecine du Travail – Institut Pierre Mazel Université Claude Bernard – Lyon I
Dominique CHOUDAT	Groupe Hospitalier Cochin – Pathologie Professionnelle – Médecine du Travail – Président de la CS
Pierre DUCIMETIERE	INSERM – Villejuif
Annette LECLERC	INSERM – Unité 687 Hôpital Paul Brousse
Philippe MORSALINE	PSA Peugeot Citroën Service Médical – Centre technique de la Garenne

**Membres du groupe de suivi département Homme au Travail I**

**Members of the Working Life follow-up group**

Emmanuel ABORD DE CHATILLON	Institut de Recherche en Gestion et Economie – Université de Savoie
Christine CHAUVIN-BLOTTIAUX	Université de Bretagne Sud Lorient CRPCC (Centre de Recherches en Psychologie, Cognition et Communication)
Laurence CHEZE	Université Lyon 1 – INRETS – LBMC UMR T 9406 – Laboratoire de Biomécanique et Mécanique des Chocs
Xavier CUNY	Professeur honoraire au CNAM
Alexis D'ESCATHA	Assistance Publique Hôpitaux de Paris Pôle Rééducation-Evaluation-Réinsertion (RER) Unité de Pathologie Professionnelle, de Santé au Travail et d'Insertion
François DANIELLOU	École Nationale Supérieure de Cognitique – Département d'Ergonomie – Bordeaux
Cynthia FLEURY	CNRS – Sciences et technologies de l'information et de l'ingénierie – Unité UPS 2262
Philippe GORCE	Université du Sud – Toulon
Benoît JOURNE	Faculté Sciences Eco. et Gestion, Institut d'Economie et de Management de Nantes
Jean-Pierre LIBERT	Faculté de Médecine – UPIV - Amiens
Philippe MAIRIAUX	Université de Liège – Faculté de Médecine, Département des Sciences de la Santé Publique
Jean-Claude MOISDON	École des Mines, Paris
Christine NOEL	AUDENCIA – École de Management – Nantes
James RICHARDSON	Université de Paris Sud XI
Pascal UGHETTO	LATTS – Université Paris-Est Marne-la-Vallée

**Membres du groupe de suivi département Ingénierie des Equipements de Travail I**

**Members of the Work Equipment Engineering follow-up group**

Michel BERENGIER	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées Centre de Nantes
Richard DELMAS	CRAMIF – Paris
Bernard DEMOULIN	Professeur émérite IEMN /DHS, Groupe TELICE – Villeneuve-d'Ascq
Christian GARNIER	CRAM Auvergne Centre Interrégional de Mesures Physiques
Luc GAUDILLER	Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures UMR CNRS/INSA 5259 – Villeurbanne
Dominique HABAUT	CNRS – Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique (LMA) – Marseille
Philippe LUBINEAU	CETIM
Joseph MARIANI	COMETS – LIMSI – CNRS Université de Paris Sud
Françoise SIMONOT-LION	LORIA – Laboratoire Lorrain de Recherche en Informatique et ses Applications

Patrick MARTIN	ENSAM – Laboratoire de Conception Fabrication Commande Arts et Métiers Paris Tech – Centre de Metz
Jean-Claude SAGOT	Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, Dépt. Ergonomie, Design et Ingénierie mécanique, Laboratoire Systèmes et Transport – ERCOS

#### Membres du groupe de suivi département Ingénierie des Procédés I

##### Members of the Process Engineering follow-up group

Francis ALLARD	Université de La Rochelle (LEPTIAB) Pôle Sciences et Technologie
Alain DEGIOVANNI	ENSEM LEMTA – Nancy Université – INPL
Nadine GABAS	Laboratoire de Génie Chimique ENSIACET – École Nationale Supérieure des Ingénieurs en Arts Chimiques et Technologiques, Toulouse
Andrée GOOD	Caisse Régionale d'Assurance Maladie Rhône-Alpes
Pierre LE CLOIREC	École Nationale Supérieure de Chimie de Rennes (ENSCR)
Michel LEBRUN	CRAM d'Auvergne – Centre Interrégional de Mesures Physiques
Claude MICHEL	Caisse Régionale d'Assurance Maladie d'Ile-de-France – Direction des risques professionnels
François MOISAN	ADEME – Centre de Vanves
Jacques VENDEL	IRSN – Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire – Direction de la Sécurité des usines, des laboratoires, des transports et des déchets

#### Membres du groupe de suivi département Métrologie des Polluants I

##### Members of the Pollutant Metrology follow-up group

Denis BOULAUD	IRSN/Direction de l'Environnement et de l'Intervention
Jacques CATANI	CRAM du Sud-Est DRP, Laboratoire Risques Chimiques – Métrologie
Jean-François CERTIN	CRAM des Pays-de-la-Loire Laboratoire Interrégional de Chimie
Martine CHOUVET	ITGA Laboratoire PRYSM Technopole le Polygone – Saint-Étienne
Jean-Jacques EHRHARDT	CNRS – LCPME – UMR 7564 Université Henri Poincaré – Nancy
Marie-Claire HENNION	ESPCI – Laboratoire Environnement et Chimie Analytique du CNRS – UMR 7121
Jérôme LAVOUE	Centre de Recherche du CHUM – Montréal
Enric ROBINE	CSTB – Département Développement Durable – Division Santé et Bâtiment
Alain SOYEZ	CRAM Nord-Picardie Laboratoire d'Évaluation des Risques Professionnels
David VERNEZ	Institut Universitaire Romand de Santé au Travail – Lausanne

#### Membres du groupe de suivi département Polluants et Santé I

##### Members of the Pollutants and Health follow-up group

Jacques BOPP	Centre Hospitalier de Mulhouse
Bruno BUCLEZ	Rio Tinto Alcan / Aluminium Pechiney – Bauxite et Aluminium
Robert GARNIER	Hôpital Fernand Widal – Centre Anti-Poisons de Paris Assistance Publique – Hôpitaux de Paris
Pascal GAUDUCHON	Université de Caen-Basse Normandie Centre de Lutte contre le cancer François Blaclesses Laboratoire de cancérologie expérimentale
Marie-Claude JAURAND	INSERM Unité 674 IFR 105-CEPH-IUH
Dominique LISON	Université Catholique de Louvain – Faculté de Médecine – Unité de Toxicologie Industrielle et Médecine du Travail, Bruxelles
Marc PALLARDY	INSERM U. 461 – Laboratoire de Toxicologie Faculté de Pharmacie Paris-Sud
Alain PINEAU	Laboratoire de Toxicologie Faculté de Pharmacie, Nantes Cedex

## ACTIVITÉS ÉTUDES ET RECHERCHE DES DÉPARTEMENTS DE L'INRS

### Métrologie des polluants

Ce département travaille essentiellement sur l'évaluation de l'exposition professionnelle aux agents chimiques. Il développe des méthodes de prélèvements et d'analyse, et les diffuse via la base de données METROPOL. Il effectue des campagnes de mesurage de l'exposition aux substances toxiques dans les entreprises à risques, les données collectées alimentant la base de données COLCHIC.

#### Laboratoires

- Chimie analytique organique
- Caractérisation du risque chimique
- Laboratoire d'analyse inorganique et de caractérisation des aérosols
- Métrologie des aérosols

### Ingénierie des procédés

Ce département de l'INRS recherche, étudie et fait la promotion de solutions de prévention en réponse aux problèmes d'exposition aux polluants chimiques ou à la chaleur. Il recherche la solution la plus pertinente en analysant les processus à l'origine du problème d'exposition professionnelle et en privilégiant la réduction des émissions à la source.

#### Laboratoires

- Évaluation du risque chimique
- Applications technologiques pour l'évaluation des risques
- Ingénierie aéronautique
- Procédé et épuration des polluants

### Polluants et santé

Ce département de l'INRS a pour vocation la recherche appliquée en toxicologie, dans le domaine de l'évaluation des risques liés à l'exposition aux polluants en milieu professionnel. Les deux axes de travail sont la surveillance biologique des expositions et de leurs conséquences chez l'homme en situation professionnelle, et la mesure des effets toxiques sur des systèmes expérimentaux.

#### Laboratoires

- Cancérogénèse et toxicité du développement
- Neurotoxicité et immunotoxicité
- Surveillance biologique de l'exposition aux substances inorganiques
- Unité de service inter-laboratoires
- Surveillance biologique de l'exposition aux substances organiques
- Toxicocinétique expérimentale et exposition dermique

### **Ingénierie des équipements de travail**

Le département est chargé des actions d'évaluation et de réduction des risques physiques liés aux équipements de travail. Les équipements concernés sont les machines (machines fixes ou portatives, outils, engins...), les composants de sécurité, les locaux (ateliers, bureaux...), et les équipements de protection individuelle ou collective. Les risques physiques se rapportent au risque d'accident et aux nuisances physiques telles que le bruit, les vibrations, la chaleur, les rayonnements optiques ou électromagnétiques... Son action vise l'amélioration des équipements et des dispositifs de protection utilisés par l'homme au travail.

#### **Laboratoires**

- Prévention technique / Équipements de protection individuelle
- Prévention technique des machines
- Ingénierie de conception de systèmes sûrs
- Sûreté des systèmes automatisés
- Modélisation des systèmes mécaniques de prévention
- Réduction du bruit au travail

### **Homme au travail**

Ce département a pour objectif la recherche d'une meilleure adaptation de la situation de travail (tâche, outil, poste, organisation, environnement) aux caractéristiques (physiques, physiologiques, mentales et sociales) de l'opérateur humain. Les critères d'optimisation de cette adaptation sont la sécurité, la santé (physique et mentale), mais aussi l'efficacité, le confort, la satisfaction au travail des opérateurs, l'ensemble de ces critères concourant à la sécurité et à la fiabilité des systèmes de production et de services.

#### **Laboratoires**

- Biomécanique et ergonomie
- Ergonomie et psychologie appliquées à la prévention
- Gestion de la sécurité
- Organisation, changement et prévention
- Physiologie du travail

### **Épidémiologie en entreprise**

Le département conduit des études épidémiologiques visant à mettre en évidence des altérations de la santé en rapport avec des expositions professionnelles. Les études conduites s'intéressent aux pathologies respiratoires, aux perturbations du système nerveux périphérique, aux troubles neuro-comportementaux, aux pathologies liées au stress, aux cancers professionnels. Elles sont rendues publiques et contribuent aux décisions en matière de prévention.

# STUDIES AND RESEARCH ACTIVITIES OF INRS DIVISIONS

## Pollutant Metrology

This division mainly works on assessing occupational exposure to chemical agents. It develops sampling and analysis methods, and circulates them through the METROPOL database. It carries out toxic substance exposure measurement campaigns in companies at risk; the collected data is fed into the COLCHIC database.

### Laboratories

- Organic analytical chemistry
- Chemical risk characterisation
- Aerosol Inorganic Analysis and Characterisation Laboratory
- Aerosol metrology

## Process Engineering

This division studies exposure to chemicals or heat and promotes prevention solutions. It seeks the most appropriate solution by analysing the processes causing the occupational exposure problem and emphasizing source emission reduction.

### Laboratories

- Chemical Risk Assessment
- Technology Applications for Risk Assessment
- Aerodynamics Engineering
- Pollutant and Air Cleaning Process

## Pollutants and health

This division conducts applied research in toxicology to assess risks related to pollutant exposure in the occupational environment. Its two orientations are biological monitoring of exposures and their consequences on working populations, and the assessment of toxic effects on experimental systems.

### Laboratories

- Carcinogenesis and Developmental Toxicity
- Neurotoxicity and Immunotoxicity
- Biological Monitoring of Exposure to Inorganic Substances
- Interlaboratory Services Unit
- Biological Monitoring of Exposure to Organic Substances
- Experimental Toxicokinetics and Dermal Exposure

### Work Equipment Engineering

This division is in charge of assessing and reducing physical risks related to work equipment such as machinery (stationary machines or portable tools, engines, etc.), safety components, premises (workshops, offices, etc.), and personal or collective protective equipment. The physical risks are related to accident risks, and physical stressors such as noise, vibration, heat, optical or electromagnetic radiation, etc. This division aims to improve equipment and safety devices used in working life.

#### Laboratories

- Personal protective equipment
- Machinery
- Design engineering of Safe Systems
- Safety of Automated System
- Modelling of Prospective Mechanical Systems
- Occupational Noise Reduction

### Working Life

The division's objectives are to fit the work situation (task, tool, workstation, organisation, and environment) to the human operator needs (physical, physiological, mental and social). The optimisation criteria for this adjustment are operator safety, physical and mental health, and also efficiency, comfort, and work satisfaction.

#### Laboratories

- Biomechanics and ergonomics
- Ergonomics and psychology applied to prevention
- Safety management
- Organisation, change and prevention
- Work physiology

### Occupational Epidemiology

This department conducts epidemiological studies aimed at highlighting deteriorations in health due to occupational exposures. The studies carried out examine respiratory pathologies, peripheral nervous system perturbations, neuro-behavioural disorders, pathologies linked to stress, and occupational cancers. They are made public and contribute to prevention-related decisions.

## ENTRETIEN AVEC LE PRÉSIDENT DE LA COMMISSION SCIENTIFIQUE



Dominique Choudat  
Président de la Commission  
Scientifique  
Chairman of the Scientific  
Commission

### Quel est l'apport de la Commission scientifique aux travaux de l'INRS ?

« J'ai l'honneur d'animer la Commission scientifique de l'INRS depuis plusieurs années et à ce titre de présider les réunions plénières, qui ont pour objectif d'examiner la finalité des opérations scientifiques de l'INRS. Dans le but d'améliorer le plus possible la prévention des risques professionnels, la Commission scientifique a pour rôle de garantir la pertinence des résultats scientifiques. Ce travail se fait en complément à celui d'autres organes d'évaluation scientifique, tels que les comités de lecture de revues ».

### Comment se déroule cette mission d'évaluation ?

« L'évaluation des travaux de recherche passe par l'examen de la qualité du contenu scientifique par des pairs (notamment mes collègues de la Commission scientifique) et de la qualité des produits de valorisation réalisés par l'INRS. Nous sommes 20 experts mobilisés au sein de cette instance INRS, qui œuvre en totale indépendance. En fait, elle ne saurait fonctionner sans les 38 autres membres composant les groupes de suivi qui, avec les membres de la Commission scientifique, sont directement en contact avec les chercheurs de l'INRS lors de réunions à Nancy. Ainsi, ils couvrent de par leur champ d'expertise l'ensemble des disciplines présentes à l'INRS (psychosociologie, toxicologie, ...) ce qui renforce la crédibilité de ses travaux ».

### Quelles orientations semblent se dessiner pour les années à venir ?

« En plus des domaines traditionnels pour lesquels l'INRS apporte de nombreuses avancées en matière de prévention (nuisances physiques, chimiques, biologiques...), l'Institut poursuit ses efforts pour anticiper les questions de prévention d'aujourd'hui et de demain, en développant de nouvelles approches, comme par exemple le programme transversal nanoparticules, les multi-expositions, la modélisation au service de la conception... L'INRS est un institut de référence en matière de santé et de sécurité au travail, et à ce titre, ses contributions sont reconnues au niveau national et international ».

## INTERVIEW WITH THE CHAIRMAN OF THE SCIENTIFIC COMMISSION

### What does the Scientific Commission contribute to the work of INRS?

*"I have had the honour of directing the Scientific Commission for several years, and as such have chaired plenary sessions aimed at examining the outcomes of the scientific operations of INRS. With improving occupational risk prevention firmly in mind, the Scientific Commission plays the role of guaranteeing the relevance of the scientific results. This work is intended to complement that of other scientific assessment bodies such as the publication review committees".*

### How do you go about this assessment mission?

*"The assessment of the research work involves examining the quality of the scientific content by peers (notably my colleagues of the Scientific Commission) and the quality of the result-exploitation products created by INRS. There are 20 experts mobilised within this INRS body, who operate in total independence. Indeed, the Scientific Commission could not function without the other 38 members making up the follow-up groups who are, together with the Scientific Commission members, in direct contact with INRS's researchers during meetings in Nancy. Thus, they cover, by their area of expertise, all the disciplines present at INRS (psycho-sociology, toxicology, etc), which strengthens the credibility of their work".*

### What appears to be in store in the coming years?

*"Besides the traditional areas where INRS has contributed many advances in terms of prevention (physical, chemical, biological risks, etc.), the institute pursues its efforts to anticipate the prevention questions of today and tomorrow by developing new approaches, including the nanoparticle transversal programme, multi-exposures, design-aid modelling, etc. INRS is a benchmark institute in terms of occupational safety and health, and as such its contributions are recognised both at national and international levels".*

## BILAN D'ACTIVITÉ 2009 « ÉTUDES ET RECHERCHE »

En 2009, 121 études ont été conduites par les départements scientifiques et techniques de l'INRS. La répartition de cette activité par thématique principale (rattachement en fonction du risque étudié, de la pathologie ou du secteur d'activité concerné) est présentée dans le graphique ci-contre. (L'ensemble des thématiques du cadrage stratégique est présenté dans le rapport annuel *Faits&Chiffres 2009*). En 2009, le risque chimique, qui inclut des domaines tels que la toxicologie, la métrologie ou l'ingénierie des procédés, représente 36 % de l'activité de recherche. L'activité autour des nanoparticules est en nette augmentation avec 10 % du volume horaire total.

**26 études se sont achevées en fin d'année 2009. Une synthèse de 21 d'entre elles est présentée dans les pages qui suivent, 5 ne figurent pas dans cette édition pour des raisons de confidentialité ou de propriété intellectuelle :**

- Surveillance biologique des peintres utilisant des chromates.
- Identification d'allergènes respiratoires et cutanés par cytométrie en flux.
- Effet de métaux associés sur la cytotoxicité et le pouvoir transformant de la silice.
- Comparaison des effets cytotoxiques, génotoxiques et transformants de particules d'oxydes métalliques sous leurs formes micro et nanoparticulaires.
- Impact de l'irradiation UV sur la matière organique contenue dans une eau de piscine préalablement chlorée. Identification et cinétique des sous-produits formés.

## 2009 « STUDIES AND RESEARCH » ANNUAL REPORT

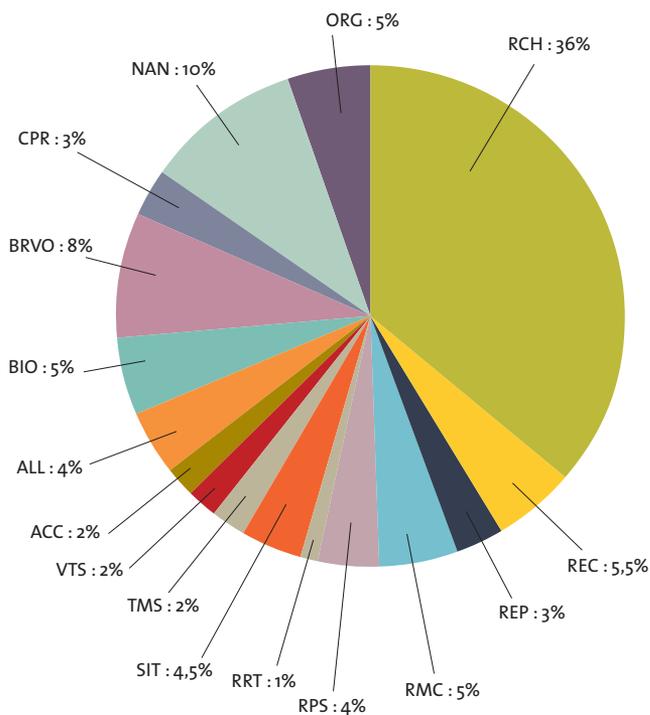
In 2009, 121 studies were conducted by the scientific and technical divisions of INRS. The distribution of this activity by main topic (incorporation as a function of the risk studied, the pathology or the sector of activity concerned) is presented in the graph above. (All the topics of the strategic framework are presented in the annual report *Facts & Figures 2009*). In 2009, chemical risk, which includes areas such as toxicology, metrology and process engineering, represented 36 % of the research activity. The activity surrounding nanoparticles rose sharply with 10 % of the total volume of hours.

**26 studies were completed by the end of 2009. An overview of 21 of them is given in the following pages; five are not included in this edition for reasons of confidentiality or intellectual property:**

- Biological monitoring of painters using chromates.
- Identification of respiratory and skin allergens by flux cytometry.
- Effect of metals associated with cytotoxicity and the transforming ability of silica.
- Comparison of the cytotoxic, genotoxic and transforming effects of metal oxide particles in their micro- and nanoparticle forms.
- Impact of UV irradiation on the organic matter contained in pre-chlorinated swimming pool water – Identification and kinetics of by-products.



**Répartition activité Études & Recherche 2009 I**  
 Distribution of the Studies and Research activity 2009



**Légende des thématiques**

- ACC Accidentologie, perception du risque et acceptabilité
- ALL Allergies professionnelles
- BIO Risques biologiques
- BRVO Bruits, vibrations, champs électromagnétiques, optique
- CPR Cancers professionnels
- NAN Nanotechnologies et nanoparticules
- ORG Organisation, santé, sécurité et bien-être au travail
- RCH Risques chimiques
- REC Déchets et recyclage
- REP Risques pour la reproduction
- RMC Risques mécaniques
- RPS Risques psychosociaux (stress, violence interne et externe)
- SIT Conception des équipements, des lieux et des situations de travail
- TMS Troubles musculo-squelettiques et lombalgies
- VTS Vieillesse, travail, santé

**Legend of the topics**

- ACC Accidentology, risk perception and acceptability
- ALL Occupational allergies
- BIO Biological risks
- BRVO Noise, vibrations, electromagnetic and optical fields
- CPR Occupational cancers
- NAN Nanotechnologies and nanoparticles
- ORG Organisation, health, safety and well-being at work
- RCH Chemical risks
- REC Waste products and recycling
- REP Risks to reproduction
- RMC Mechanical risks
- RPS Psychosocial risks (stress, internal and external violence)
- SIT Design of equipment, workplaces and work situations
- TMS Musculoskeletal disorders and lower back pain
- VTS Ageing, work, health

# RISQUES PSYCHO-SOCIAUX

Les risques psychosociaux englobent les risques de stress, de violences internes et externes. Ils sont aussi des facteurs de risques de TMS, de lombalgies ou de pathologies cardiovasculaires et contribuent aux risques d'accidents. Des travaux sur les violences au travail et sur les suicides sont nécessaires pour développer les connaissances en ces domaines. Ils visent à déboucher sur des démarches et des outils spécifiques, pouvant favoriser le traitement des situations rencontrées en entreprise.

## ÉVALUATION SUBJECTIVE DE LA CHARGE MENTALE : VALIDATION D'UN LOGICIEL D'EXPLOITATION DES DONNÉES DE LA NASA-TLX

**Marc MOUZE AMADY** avec la participation de Daniel LIEVIN  
DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

### OBJECTIFS

Parmi les techniques indirectes d'estimation de la charge mentale du travail, figure l'outil d'évaluation NASA-TLX (Task Load index). Pour chacun des 6 critères retenus (activité mentale, activité physique, contrainte temporelle, performance, satisfaction-frustration, effort), le répondant évalue, sur une échelle arbitraire comprise entre 0 et 10, l'intensité ressentie. Les notes obtenues sont pondérées par la méthode des jugements comparatifs (les critères étant classés deux à deux). Une agrégation par la moyenne arithmétique des notes à chaque critère conclut la démarche. Toutefois, des biais méthodologiques peuvent survenir en situation de travail réel. Pour les surmonter, l'INRS a sollicité deux équipes universitaires du CNRS de Toulouse (dans les domaines de l'informatique et de la psychologie du travail). Ces dernières ont proposé un outil de dépouillement basé sur la théorie des ensembles flous, lequel ne requiert pas de jugements comparatifs. Un logiciel informatique a été élaboré en commun. Il fournit deux modes de traitement : classique (méthode des jugements comparatifs) et/ou flou. La présente étude propose de valider ce nouvel outil informatique.

### MÉTHODOLOGIE

53 hommes (salariés ou retraités) de 3 classes d'âge (30-35, 45-50 et 60-65 ans) effectuent en laboratoire les tâches suivantes : l'une à dominance cognitive (discrimination perceptive de mots colorés sur écran d'ordinateur), l'autre à dominance physique (assemblage manuel répétitif à 2 cadences imposées : « rapide » ou « confortable »). Ainsi, chaque sujet doit réaliser 3 tâches (test cognitif, tests physique confortable et rapide).

À l'issue de chacun de ces tests, le sujet évalue la charge de travail induite à l'aide du logiciel développé. Le protocole complet est réalisé sur 2 jours (j) consécutifs où chacun passent le test cognitif en j1 et en j2, la tâche physique à allure rapide ou à allure confortable « randomisée » sur j1 ou j2. Des analyses statistiques de type modèle linéaire général ont été menées afin de tester la pertinence de l'approche floue par rapport à l'approche classique.

### RÉSULTATS

L'index de charge classique n'identifie de manière significative que 2 classes de tâches (« physique confortable » versus « physique rapide et test cognitif »), alors que les opérateurs flous discriminent significativement les 3 tâches. Aucun des outils ne capture des différences de charge estimée qui seraient induites de manière spécifique par l'âge des sujets, alors que le facteur âge présente un effet significatif sur le temps de réponse moyen au test cognitif. En revanche, il existe un effet statistiquement significatif de l'interaction type de tâche et âge, que seuls les opérateurs flous sont capables de capturer.

### CONCLUSIONS

L'objectif de l'étude était de vérifier qu'une méthode alternative (basée sur les mathématiques floues) pouvait remplacer avantageusement l'exploitation classique de l'évaluation de la charge de travail par la NASA-TLX. L'emploi du logiciel et de son module de calcul flou permet :

- de simplifier l'usage de la NASA-TLX,
- de discriminer la nature des tâches et leurs niveaux de difficulté respective,
- de distinguer les politiques d'évaluation de la charge,
- de capter des interactions du type nature de la tâche et classe d'âge des sujets.

### Protocoles : test de Stroop – jour 1 & jour 2 – puis tâche de montage (R/C) – jour 1 ou jour 2 –

≈ 8 h 30	Phase de repos	Phase de travail mental	Phase de repos	Phase de travail physique	Phase de repos	≈ 11 h 30
Prélèvements salivaires	1 ↓	≈ 9 h 00	2 ↓	3 ↓	≈ 10 h 15	4 ↓
			Nasa-TLX		Nasa-TLX	
Fréquence cardiaque						
Échelle de Borg						
TR & rép.		stim = 150 ; = 15'		20'		
Analyse dynamique et cinématique				Vicon 3D	Questionnaire et anthropométrie	

Chronogramme expérimental

## SUBJECTIVE ASSESSMENT OF MENTAL WORKLOAD: VALIDATION OF A NASA-TLX DATA ANALYSIS SOFTWARE

The NASA Task Load index (NASA-TLX) is one of the most commonly used tools when assessing mental workload in ergonomics. Its use has spread far beyond its original application (aviation) and focus (aircrew complement). However, methodological and practical questions still are pending regarding the way the overall workload estimate is computed. A weighting scheme is used to combine its six individual subscales ratings (mental, physical and temporal demands, performance, effort and frustration) into a global score; this procedure requires a paired-criteria comparison task prior to the workload assessment. These comparisons are time-consuming and not always easy to perform by the operator (e.g. ranking « frustration » vs. « mental demand »...). Following a research agreement with the University of Toulouse and CNRS, a new computing method based on fuzzy mathematics was developed in order to avoid the comparison task. Fifty-three men (employed or retired) from three age groups (30-35, 45-50 and 60-65 y.o), took part in this laboratory study. Each subject performed a cognitive task (perceptual discrimination test) followed by a physical assembly task. At the end of each task subjects were asked to rate their workload via the modified NASA-TLX which was administered by computer. The results show that using fuzzy aggregators allows to:

- streamline the NASA-TLX use procedure,
- discriminate between task types (i.e. physical vs. mental) and their respective difficulty levels,
- differentiate among several « assessment styles » according to the work context,
- capture subtle interactions such as task type and age.

Following a validation phase in companies, this tool could be proposed for the design and/or the assessment of work situations.

## CONDITIONS DE TRAVAIL ET SANTÉ DANS LES CENTRES D'APPELS TÉLÉPHONIQUES

**Dominique CHOUANIERE**

DÉPARTEMENT ÉPIDÉMIOLOGIE EN ENTREPRISES

### OBJECTIFS

L'INRS a été saisi, en avril 2002, d'une demande émanant d'une quarantaine de médecins du travail qui s'interrogeaient sur les conséquences pour la santé de l'activité d'opérateurs dans les centres d'appels téléphoniques. Ainsi, les objectifs principaux de l'étude, inscrite dans les activités du projet transversal « stress », étaient d'étudier, chez des téléopérateurs, les relations entre des contraintes de travail perçues et des marqueurs de santé ; des facteurs organisationnels déclarés par les responsables de plateaux et des contraintes au travail perçues. Il s'agissait de mettre en évidence les caractéristiques organisationnelles qui ont des conséquences, via les contraintes, sur la santé. L'objectif secondaire était d'identifier les centres d'appels téléphoniques particulièrement à risques, sur la base des résultats de la prévalence des contraintes et des effets sur la santé des opérateurs, dans la perspective de mettre en place des interventions et de les évaluer.

### MÉTHODOLOGIE

Il s'agit d'une étude épidémiologique transversale avec évaluation des facteurs organisationnels par les responsables des plateaux, évaluation quantitative et auto-perceptuelle des contraintes de travail et évaluation auto-déclarative et rapportée de l'état de santé. La population cible a été constituée de tous les salariés ayant une activité régulière et prédominante de téléopérateur. Un auto-questionnaire, incluant les questionnaires Karasek et Siegrist et des questions spécifiques, a recueilli la perception des téléopérateurs sur les contraintes. Les marqueurs de santé ont été recensés par des questionnaires spécifiques (troubles musculo-squelettiques, souffrance psychologique...), des données provenant des médecins du travail et des services RH (absentéisme) en tenant compte des facteurs de confusion. L'exposition aux



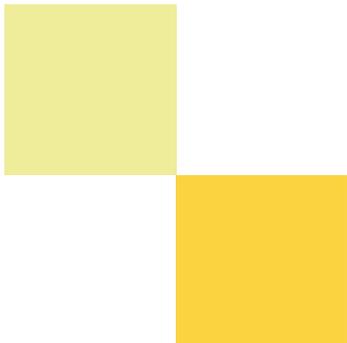
facteurs organisationnels a été mesurée grâce à un questionnaire, développé spécifiquement pour l'activité de téléopérateur, renseigné par les responsables de plateau. Une première analyse a testé les relations entre les contraintes et les marqueurs de santé ; une deuxième a testé les relations entre les facteurs organisationnels et les contraintes perçues. Enfin, une méthode d'analyse multi-niveaux a été utilisée pour vérifier l'effet des facteurs organisationnels sur deux marqueurs de santé en tenant compte ou non de la perception des contraintes.

### RÉSULTATS

Au total 107 plateaux ont participé à l'étude et 4 002 téléopérateurs de ces plateaux ont été impliqués. La population de l'étude est féminine aux deux tiers, jeune (médiane à 32 ans) et hautement diplômée. Les problèmes de santé les plus prévalents sont les douleurs chroniques du tronc, les symptômes de stress, l'absentéisme, le tabagisme et la souffrance psychologique. Les contraintes les plus en lien avec les marqueurs de santé sont la demande psychologique, le manque de latitude décisionnelle ou de récompenses, le surinvestissement au travail, le déséquilibre efforts/récompenses. Des relations entre facteurs organisationnels déclarés par les responsables et les contraintes perçues par les téléopérateurs ont été mises en évidence. Certains facteurs organisationnels sont inhérents à l'activité alors que d'autres ouvrent des perspectives intéressantes en termes de stratégies de prévention à mettre en œuvre. La dernière analyse a mis en évidence que les relations entre facteurs organisationnels et marqueurs de santé ne sont pas directes et passent le plus souvent par la perception des contraintes.

### CONCLUSION

Parmi les études disponibles dans la littérature, cette étude se place en première position non seulement pour le nombre de téléopérateurs participants mais aussi pour le nombre de variables explorées tant dans le domaine des contraintes que de la santé. Elle a l'originalité d'avoir combiné des données déclarées par les téléopérateurs et leurs responsables et d'avoir innové en matière de modèle d'analyse. Malgré son caractère transversal, elle permet de conclure sur le rôle de certains facteurs organisationnels et l'implication de certaines contraintes dans l'apparition de problèmes de santé et ouvre des perspectives de prévention primaire et secondaire tant individuelle que collective.



## WORKING CONDITIONS AND HEALTH IN CALL CENTRES

The main aims of this research were to study, among call centre operators, the relationships between: (1) the perceived work constraints and health markers; (2) the organisational factors stated by call-centre managers and the perceived work constraints. This involved highlighting those organisational characteristics, by means of these constraints, which have an impact on health. This transversal study assessed 39 organisational factors, 33 quantitative work constraint scores and 22 health indicators either self-perceived or assessed by occupational physicians. In total, 107 call centres took part, representing 4,002 telephone operators of these workplaces. Despite its transversal character, this study has allowed a number of conclusions to be reached about the role of certain organisational factors and the involvement of certain constraints in the onset of health problems, and opens up new primary and secondary prevention perspectives of both an individual and a collective nature.



# TROUBLES MUSCULO-SQUELETTIQUES

Les troubles musculo-squelettiques (TMS) et les lombalgies constituent un enjeu majeur de santé au travail au regard des coûts socio-économiques et médicaux qu'ils engendrent. Ils représentent les 4/5<sup>es</sup> des maladies professionnelles reconnues en France et continuent à s'accroître dans tous les secteurs d'activité. Liés à des facteurs de risque biomécaniques et psychosociaux, en lien avec l'organisation du travail, les TMS et les lombalgies ont des conséquences sur les trajectoires de vie et de travail. Leur prévention constitue un axe prioritaire dans le plan santé au travail gouvernemental et fait l'objet de nombreux travaux à l'INRS, en collaboration avec des partenaires extérieurs au plan national et international.

## ASSOCIATION DE L'AUTOCONFRONTATION INDIVIDUELLE ET DE LA MÉTROLOGIE BIOMÉCANIQUE DANS LE CADRE DE LA PRÉVENTION DES TMS DU MEMBRE SUPÉRIEUR

Clarisse GAUDEZ, Agnès AUBLET-CUVELIER

avec la participation de Liên WIOLAND, Olivier MOREL

DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

et S. LEVESQUE, étudiante en Master 2 Ergonomie, LESC, Université V. SEGALEN, BORDEAUX

### OBJECTIFS

La prévention des troubles musculo-squelettiques (TMS) passe par l'analyse et la compréhension de la gestuelle des opérateurs. La présente étude avait pour objectif d'expérimenter une méthodologie d'analyse de l'activité de travail fondée sur l'association de la métrologie biomécanique et de l'autoconfrontation simple, afin de mettre en lien la dimension physiologique du geste réalisé par l'opérateur avec ses intentions et ses motifs et d'apporter des informations supplémentaires sur les déterminants à l'origine des actions sollicitantes, comparativement à ces approches menées indépendamment.

### PROTOCOLE ET MÉTHODE

L'étude s'est déroulée dans une entreprise de reliure de livres, au poste de plastification qui comporte un travail manuel complexe. La métrologie biomécanique et l'autoconfrontation simple ont été déployées de façon séquentielle. Durant la première phase, une analyse globale de l'entreprise et de son fonctionnement a été conduite, ainsi qu'une analyse de l'activité de plastification. Dans ce cadre, une première session d'autoconfrontation simple a été effec-

tuée auprès des quatre opératrices qui réalisent habituellement cette activité. La synthèse issue de cette première phase a permis de définir le protocole expérimental de la métrologie biomécanique. L'activité des opératrices a été filmée de façon synchrone avec l'acquisition des données biomécaniques. La synthèse des résultats issus de la première autoconfrontation simple et de la métrologie biomécanique a conduit à définir le protocole de la deuxième autoconfrontation qui a ensuite été mise en œuvre. L'usage conjoint de la métrologie biomécanique et de l'autoconfrontation a conduit à un enrichissement mutuel des protocoles pour chacune des méthodes. Les données biomécaniques et les verbalisations issues des deux autoconfrontations ont d'abord été analysées séparément, puis les résultats quantitatifs et qualitatifs issus de ces deux méthodes ont été combinés.

### RÉSULTATS

L'analyse biomécanique a permis de déterminer les actions les plus sollicitantes et donc à risque de développer une lésion musculo-squelettique. Pour environ un tiers des dix-sept actions recensées, les résultats qualitatifs issus des deux méthodes, biomécanique et autoconfrontation, sont en adéquation ; pour une seule des actions, les résultats sont partiellement en inadéquation. Pour plus de la moitié des actions, le ressenti n'est pas exprimé mais les verbalisations permettent néanmoins l'enrichissement de la compréhension des stratégies gestuelles adoptées et l'identification d'une grande diversité de déterminants. En revanche, l'adéquation entre les résultats quantitatifs issus de la métrologie biomécanique et des autoconfrontations est relativement peu fréquente. Ce décalage s'expliquerait par le fait que l'autoconfrontation apporte des informations de nature globale prenant en compte l'ensemble de la tâche et de l'individu, alors que la biomécanique permet d'obtenir des informations plus ciblées de la tâche et de l'individu.

### DISCUSSION ET CONCLUSION

La compréhension du geste suppose un modèle d'analyse qui intègre diverses dimensions : psychologique, organisationnelle, économique, biomécanique et cognitive. Le fait d'associer les autoconfrontations à la métrologie biomécanique permet de passer de l'étude du mouvement à celle du geste, au moyen des verbalisations. Ainsi, certains déterminants plus ou moins fins, pouvant aller du contexte organisationnel au mouvement des doigts, peuvent être révélés et/ou détaillés. Cette étude confirme l'intérêt de concilier ces deux approches et ouvre des perspectives de prévention pertinentes. En effet, une meilleure connaissance de la gestuelle permet de reconnaître les savoirs élaborés par les opérateurs, de les partager, de les discuter et d'en faciliter la transmission. Celle-ci peut bénéficier non seulement aux opérateurs expérimentés, en enrichissant leur connaissance des stratégies gestuelles voire leur capacité d'action, mais aussi aux novices en situation d'apprentissage. Ces connaissances peuvent aider le préventeur à identifier des leviers d'action pour réduire le risque de TMS.

## **ASSOCIATION OF INDIVIDUAL SELF-CONFRONTATION AND BIOMECHANICAL METROLOGY WITHIN THE CONTEXT OF PREVENTING MUSCULOSKELETAL DISORDERS OF THE UPPER LIMB**

The prevention of musculoskeletal disorders (MSD) encompasses the analysis and comprehension of the gestures of operators. This study was intended to try out a method to analyse work activity based on the association of biomechanical metrology and simple self-confrontation in order to link up the physiological dimension of the gesture made by the operator with his/her intentions and motives, and thus to contribute to additional information on the determining factors at the origin of actions

The study was conducted in a bookbinding enterprise at the plasticizing workstation, which includes complex manual work. Biomechanical metrology and simple self-confrontation were deployed sequentially. The analysis of the results shows that for about one third of the actions identified as the most demanding by the biomechanical metrology, the feeling expressed by the operators during the self-confrontations was consistent. On the other hand, for over half the actions, while the feeling was not expressed, the dialogues nevertheless allowed a better understanding of the gestural strategies adopted and identification of a great diversity of determining factors.

This study confirms the interest of reconciling these two approaches and opens up new perspectives for relevant prevention. Indeed, better knowledge of gestures allows for a clearer understanding of the strategies developed by the operators, recognition of their know-how, sharing it, discussing it and facilitating transmission. This can be beneficial not only for experienced operators, by enriching their understanding of their gestural strategies and even their capacity for action, but also for novices in an apprenticeship situation. In addition, this knowledge can help prevention specialists identify actions at risk of MSD and initiate actions to reduce them.

# RISQUES MÉCANIQUES

Les risques mécaniques au sens large nécessitent que soit poursuivie l'intégration de la prévention au stade de la conception des machines, que soient mises à profit les évolutions techniques pour développer des solutions de prévention améliorant les fonctionnalités et/ou la fiabilité des systèmes électroniques liés à la sécurité du travail et que soient amplifiées les recherches et le développement de solutions de prévention, en regard des situations de co-activité ou de proximité homme-machine.

## CONCEPTION ET INTÉGRATION D'UN SYSTÈME DE COMMANDE ÉLECTRIQUE RELATIF À LA SÉCURITÉ

**James BAUDOIN** avec la participation de Jean-Paul BELLO  
DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

### OBJECTIFS

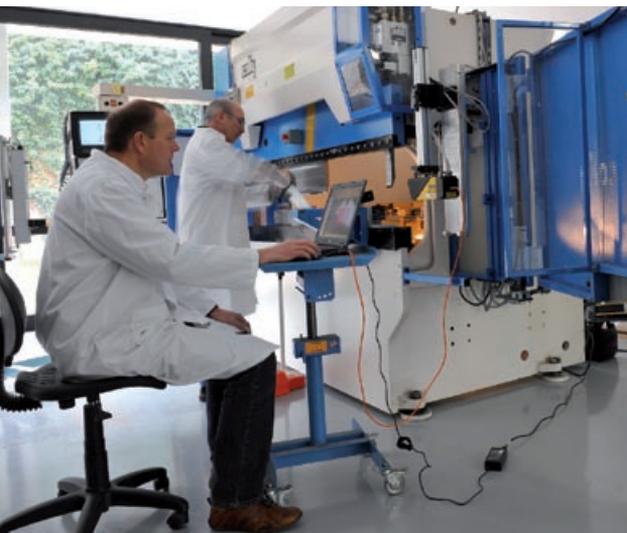
Un référentiel normatif, NF EN 62061 concernant la conception des circuits de commande électrique relatifs à la sécurité, est entré en application depuis peu pour donner présomption de conformité à la directive « machines ». Le principal objectif de cette étude est d'appliquer la norme pour aider les industriels et de développer des outils d'aide.

### MÉTHODOLOGIE

La démarche entreprise a consisté à se placer en position de concepteur du circuit de commande d'une machine incluant des fonctions de sécurité et à concevoir et réaliser ce circuit de commande dans sa globalité, incluant l'achat du matériel et sa mise en œuvre, en suivant toutes les préconisations de cette norme de conception. Le support choisi a été la presse plieuse d'essais de l'INRS pour laquelle un nouveau circuit de commande, intégrant un automate programmable industriel dédié à la sécurité, associé à un réseau de terrain dédié à la sécurité, a été conçu, développé, validé et mis en œuvre.



Banc d'essais IET –  
Dispositifs de protection  
sur presse plieuse



Banc d'essais IET –  
Dispositifs de protection  
sur presse plieuse

## RÉSULTATS

Cette mise en application de la norme sur un cas concret a permis d'évaluer les difficultés que pourraient rencontrer les industriels pour interpréter ce nouveau référentiel. Il en ressort une confrontation à des contraintes techniques relatives à certaines exigences de la machine ou au choix de certains matériels, mais également à un manque de données de fiabilité nécessaires à la mise en application de cette norme. Ces données « constructeur » concernent des composants constitutifs du circuit de commande de sécurité.

L'étude a abouti à la mise en service de cette machine avec un circuit de commande complexe répondant en tous points aux exigences de la directive « machines », de la norme machine correspondante ainsi qu'aux prescriptions du référentiel NF EN 62061.

## CONCLUSIONS

Pour traiter correctement des fonctions de sécurité, en respectant la norme NF EN 62061, il est nécessaire d'avoir une vue globale des différentes étapes de développement d'une application et surtout de leur chronologie. Cette norme, incluant notamment la notion de niveau d'intégrité de sécurité (SIL) basée sur une probabilité de défaillance dangereuse, est souvent présentée comme ne traitant que de probabilité et comme étant très difficile à utiliser. C'est sur ces points, illustrés par des exemples pratiques, que la démarche décrite par l'INRS apportera une aide aux concepteurs de système de commande électrique relatif à la sécurité en démystifiant l'approche de cette norme. L'expérience acquise par l'INRS, sur ce cas concret, sera facilement transposable à d'autres équipements de travail beaucoup plus complexes.

## DESIGN AND INTEGRATION OF AN AUTOMATIC ELECTRICAL SAFETY CONTROL SYSTEM

A normative reference document, NF EN 62061 relative to the design of safety control systems, recently came into force to allow presumption of conformity with the « machinery » directive. The main aim of this study was to present, by way of a publication, a practical case of developing a complex machine control system based on the recommendations of this reference document. The approach adopted consisted in placing ourselves in the position of the designer of a machine control circuit incorporating safety functions, and designing and producing the entire control circuit from start to finish. This included purchasing and implementing the components following all the recommendations of this design standard.

The support for this application was the test folding press of INRS, for which a new control circuit integrating a dedicated safety PLC associated with a dedicated safety grounding network was designed, developed, put into service and validated.

This practical application of the standard to a concrete case allowed us to assess the difficulties that industrial concerns might encounter in relation to interpreting this new reference document. We were faced with technical constraints relative to certain requirements of our machine and with the selection of certain components, but also with a lack of the reliability data necessary for applying certain parts of this standard; these « constructor » data concerned the components making up the safety control circuit.

The experience acquired on this concrete case, which is easily transposable to other much more complex work equipment, will be exploited in the form of a guide intended for designers. It will also be used during requests for assistance, which are becoming increasingly frequent both from enterprises and the prevention departments of the CRAMs, concerning the implementation of this standard.

## PRÉVENTION DES RISQUES LIÉS À L'USINAGE À GRANDE VITESSE DU BOIS : CAS DE L'ÉCLATEMENT D'OUTILS ET DES NUISANCES SONORES

**Pascal LAMY** avec la participation de Patrick KUNTZ,

Patrice MARCHAL, Armand NEJADE

DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

### OBJECTIFS

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la prévention des risques d'accidents liés à l'utilisation des centres d'usinage dans l'industrie de seconde transformation du bois, en particulier les risques dus aux éclatements d'outils. En effet, des questions se posent sur la capacité du rideau à lamelles souples en PVC à assurer la protection de l'opérateur.

Cette étude exploratoire avait plusieurs objectifs vis-à-vis des éclatements d'outils : rechercher un matériau satisfaisant à la méthode d'essais de choc normative mais aussi s'assurer de sa tenue dans le temps, réaliser un état de l'art des dispositifs de détection et surveillance de l'usinage, statuer sur leur applicabilité pour prévenir l'éclatement. Une analyse acoustique a été menée en parallèle afin de développer un outil de localisation et quantification des sources de bruit dans ce genre de machine pour ensuite permettre d'apporter des diagnostics et de proposer des solutions pour l'amélioration acoustique.

### MÉTHODOLOGIE

La recherche d'un matériau de remplacement des rideaux à lamelles PVC a été envisagée en deux étapes : la première a consisté à mettre en œuvre l'essai de choc, essai normé visant à envoyer un projectile de 100 g sur le rideau ; la deuxième à tester les rideaux ayant satisfait cet essai de choc sur un banc d'usure mis au point par l'INRS. Concernant les rideaux testés, il a été nécessaire de prendre en compte les modifications normatives intervenues en cours d'étude, des caractéristiques géométriques des rideaux ainsi que le durcissement du protocole d'essais de choc. Pour la partie acoustique, l'étude a d'abord permis, à l'aide de mesures par microphones, d'obtenir une hiérarchisation globale des sources principales de bruit, pour, dans un deuxième temps se focaliser sur le bruiteur principal en utilisant une méthode innovante de mesure.

### RÉSULTATS PRINCIPAUX

En combinant les essais de choc et d'usure, une famille de matériau répond aux essais : le polyuréthane. Le protocole d'essais normatif étant sujet à interprétation, des choix ont été faits pour statuer sur le résultat du test et des précisions sur ce protocole sont proposées.

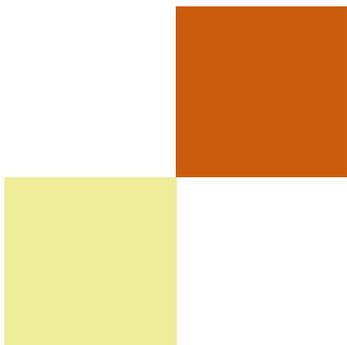
Pour l'analyse acoustique, la hiérarchisation des sources de bruit identifie la tête d'usinage comme principal élément bruyant. L'analyse fine sur cette partie de la machine montre que les niveaux importants de bruit dans les fréquences inférieures à 1 000 Hz proviennent en premier lieu de sa structure (rayonnement de la périphérie, bruit engendré par le système broche-moteur), alors qu'en fréquences supérieures, il s'agit des bruits issus de l'interaction outil-matière traversant le rideau.

### CONCLUSIONS

Cette étude montre que des solutions existent pour remplacer les rideaux à lamelles PVC. Le protocole étant imprécis, il a fallu l'interpréter. Cette étude pourrait être poursuivie afin de déterminer l'influence des paramètres dimensionnels du rideau. Pour la tête d'usinage, l'étude acoustique a mis en avant l'importance de sa structure sur le niveau de bruit.



Banc d'essais IET –  
Résistance rideaux  
de protection  
lors d'usinage du bois



## PREVENTING RISKS LINKED TO HIGH-SPEED WOODCUTTING: CASE OF TOOL BREAKAGE AND NOISE

High-speed machining units for woodworking are machines increasingly used in the secondary processing industry. These machines pose the problem of operator protection in the case of tool breakage, and a solution implemented at normative level consists in introducing a shock test method representative of tool breakage; the method has not yet been finalised. This study had several aims: ensure the feasibility of shock tests and look for equipment satisfying these tests, verify the temporal resistance of this equipment, establish a state of the art of tool breakage detection devices used in metal machining and rule on their suitability to warn of tool breakage during wood machining, and carry out an acoustic diagnosis of this type of machine.

By means of conducting shock tests in accordance with the normative protocol, and following the development within the framework of this study of a wear test, we showed that equipment does exist that ensures operator safety. However, the study also shows that the shock test protocol needs to be made clearer to avoid any ambiguity when conducting the tests. Concerning tool breakage, the process leading to breakage is not sufficiently known and would require further development to envisage the prediction of a sudden tool rupture and thus be able to stop the machine.

Finally, a preliminary approach to establishing a hierarchy of noise sources identified the machining head as the main noise generator. More detailed work on the latter then highlighted the importance of its structure (periphery, motor-brush system) in low-frequency noise, and that of the tool-work piece interaction in frequencies above 1,000 Hz.

## RETENUE DE CHARGES UTILES DE FOURGONS LORS D'UN CHOC FRONTAL

Gérard FLEURY

DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

### OBJECTIFS

Chaque jour, plusieurs millions de véhicules utilitaires légers sont utilisés sur la route par les entreprises pour transporter les matériels et les marchandises nécessaires à leur activité. Lors d'un accident routier frontal, un chargement non sécurisé à l'arrière du véhicule est violemment projeté vers l'avant et devient ainsi un projectile susceptible de blesser, voire de tuer le conducteur et les passagers. Équiper le véhicule d'une cloison séparant le chargement des occupants et sécuriser le chargement par calage, arrimage ou en le rangeant dans des casiers constituent deux mesures de prévention à mettre en œuvre pour limiter ce risque. L'étude porte sur l'évaluation de la performance en termes de retenue de charges des cloisons et du mobilier embarqué à l'arrière des véhicules utilitaires légers.

### MÉTHODOLOGIE

Les travaux sont basés sur une approche expérimentale couplée à une approche numérique. L'approche expérimentale consiste à reproduire en laboratoire les conditions d'un accident routier. Pour ces essais, l'équipement à tester (cloison ou mobilier) muni de son chargement est installé sur un chariot. Pour la cloison, le chargement est constitué d'une masse placée à l'arrière de la cloison. Pour le mobilier, le chargement est représenté par des masses réparties dans les différents casiers. Au cours de l'essai, le chariot est progressivement accéléré pour atteindre une vitesse souhaitée (~50 km/h) et brusquement stoppé en un dixième de seconde. L'approche numérique vise à simuler les essais. Elle est basée sur l'utilisation d'un logiciel spécifique couramment utilisé par l'industrie automobile pour simuler les crash-tests sur véhicules.



Tunnel de lancement  
du chariot, Valutec

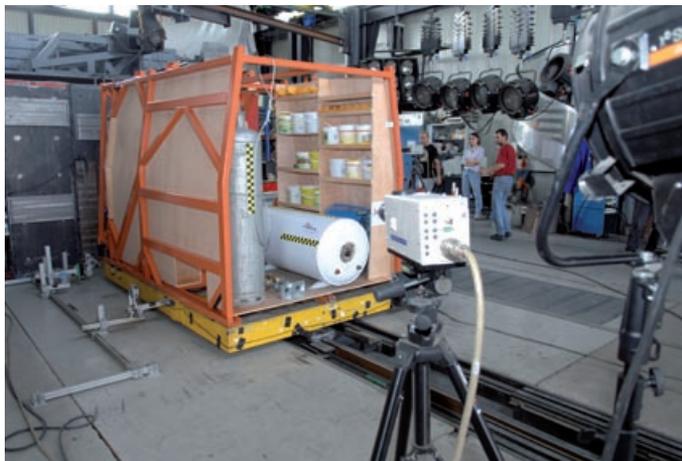
### RÉSULTATS PRINCIPAUX

Concernant les cloisons de séparation, les résultats montrent qu'elles ne peuvent retenir qu'une masse inférieure à quelques dizaines de kilogrammes. Elles ne peuvent en aucun cas prétendre retenir la totalité de la charge utile du véhicule de l'ordre de plusieurs centaines de kilogrammes.

Concernant le mobilier embarqué, les résultats montrent que la performance du mobilier dépend de la nature de son matériau (bois, acier, aluminium), de la qualité de son assemblage et de ses fixations à la carrosserie du véhicule. Les résultats de l'étude alimentent en données techniques la définition d'un protocole d'essais visant à évaluer le niveau de sécurité d'un mobilier.

### CONCLUSIONS ET DISCUSSIONS

Pour protéger les occupants du risque lié aux charges en cas d'accident routier, l'installation d'une cloison de séparation dans un véhicule utilitaire léger est nécessaire mais insuffisante. Le chargement doit aussi être sécurisé à l'arrière du véhicule, notamment en l'aménageant par du mobilier sûr. La norme ISO-27956 éditée en 2009 définit des exigences pour les cloisons de séparation en termes de retenue de charge dans les conditions d'un freinage d'urgence. L'étude a permis de développer un protocole d'essais sur le mobilier (publication NS 286 – mars 2010). Il doit s'imposer progressivement comme référence pour les aménageurs souhaitant tester leurs mobiliers. Néanmoins, certains points précis doivent être approfondis pour prétendre à une normalisation de cet essai.



Crash-test du chariot  
conçu par IET,  
filmé en vidéo rapide

## RETENTION OF THE MAXIMUM PAYLOADS OF CLOSED VANS IN A HEAD-ON COLLISION

Each day, several million light utility vehicles -vans, light vans or delivery vans- are used on the roads by enterprises to transport the materials and goods required for their activity. Many drivers are unaware that the load they are transporting in the rear area of their vehicle can be a genuine hazard both for their own safety and that of passengers. During a frontal road collision, an unlashd load in the rear of the van is projected violently towards the occupant compartment and thus becomes a projectile likely to injure or even kill the occupants of the vehicle. The installation of a partitioning system physically separating the loading space from the occupants is a partial protective measure to deal with this risk. The first aim of the study was to assess the load that a partitioning system can withstand in the case of an accident. Laboratory reproduction of standardised frontal shocks has shown that the partitioning system can, in general, only restrain a load of less than a few dozen kilograms. Whatever the case, they cannot restrain the entire payload of the vehicle. Equipping a delivery van with a partitioning system is therefore necessary but not enough. It therefore remains essential to restrain the materials and goods transported in the loading space, in particular by placing them in furniture capable of withstanding the mechanical stresses occurring during an accident. The aim of the second part of the study was to define a test method and the load restraining requirements the furniture must meet in the case of being subjected to a shock. Over the course of the study, several furniture systems were put through sled type dynamic tests. In parallel, a numerical type test simulation was undertaken. Finally, a test protocol was proposed on the basis of the technical elements thus compiled.

Results exploitation: Planned: a technical note (HST) on retention systems; a scientific and technical note based on the test protocol in annex with a view to forwarding it to fittings manufacturers and to standardisation bodies; a demonstrator to raise the awareness of light commercial vehicle drivers to the risks linked to an unrestrained load.



Essais réalisés pour simuler un choc frontal

# BRUIT

Dans le domaine du bruit, la nouvelle directive pose le problème de la détermination de l'exposition, protecteurs inclus, et de l'efficacité réelle de ces protecteurs. De nouvelles populations sont exposées à des bruits lésionnels, ce qui nécessite une adaptation des méthodes de mesure et des moyens de prévention (agroalimentaire, travail au casque, centres d'appel, professionnels dans un milieu de musique amplifiée...).

## EXPOSITION DES OPÉRATEURS DES CENTRES D'APPELS TÉLÉPHONIQUES ET SOLUTIONS DE PRÉVENTION

**Nicolas TROMPETTE** avec la participation de Daniel ROBINET,

Alain KUSY, Jacques CHATILLON

DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

### OBJECTIFS

La mesure de l'exposition au bruit des opérateurs des centres d'appels téléphoniques utilisant des casques téléphoniques est un sujet de prévention important du fait de la population concernée (environ 300 000 salariés) et de la difficulté d'appréciation du risque. Cette étude avait initialement deux objectifs principaux :

- faire évoluer la procédure de mesure publiée en 2001 par l'INRS,
- proposer des solutions de prévention lorsque l'exposition sonore est avérée.

À la suite de demandes des CRAM, l'étude a été élargie à la maîtrise du bruit ambiant et aux travailleurs utilisant un casque communicant (« voice picking ») dans les entrepôts logistiques.

### MÉTHODOLOGIE

La procédure de mesure a été revue dans son ensemble, en s'appuyant sur des publications et une norme parue en 2005 pour l'instrumentation ainsi qu'en mettant au point un système de double écoute permettant la mesure au poste de travail.

Des solutions de prévention de l'exposition au bruit étant déjà proposées par les fabricants de matériel de téléphonie, celles-ci ont été testées sur des sites et en laboratoire. Ces tests se sont révélés positifs pour plusieurs de ces solutions.

Le bruit ambiant a été systématiquement mesuré lors des interventions sur site. Ces mesures ont permis d'identifier et de hiérarchiser les paramètres influençant le bruit ambiant et d'en déduire des préconisations d'aménagement qui ont ensuite été testées sur site. L'exposition sonore des travailleurs utilisant le système « voice picking » a été mesurée dans divers entrepôts logistiques. Elle s'est révélée élevée. Un démonstrateur de système communicant, protégeant d'une exposition élevée au bruit a donc été développé en sous-traitance et validé.

## RÉSULTATS

Une nouvelle méthodologie de mesure a été développée et testée dans 21 centres d'appels téléphoniques avec l'aide des CRAM. Les résultats sont en accord avec des études internationales similaires. Les solutions de prévention sont basées sur la limitation du niveau et le filtrage des signaux. Plusieurs fabricants en proposent. Ces solutions se sont révélées efficaces sur site et ont été validées en laboratoire mais elles posent encore des problèmes d'acceptation par les opérateurs. Les mesures de bruit ambiant ont montré que la limite de 55 dB(A) couramment admise (normes, recommandations) était adaptée. Des préconisations issues du constat sur sites ont été élaborées, notamment en termes de surface par opérateur et de traitements acoustiques du plafond et des postes de travail. Elles ont été validées sur des sites récents et garantissent effectivement un bruit ambiant acceptable. Pour les opérateurs travaillant dans la logistique, un prototype d'un système communicant « faible bruit » a été développé et validé en laboratoire et des essais en entreprise sont programmés.

## CONCLUSIONS

L'étude a été étendue au bruit ambiant car c'est l'une des préoccupations principales des opérateurs. Ce travail a confirmé la pertinence de la limite de 55 dB(A) spécifiée par les normes et diverses recommandations et mis en évidence des préconisations d'aménagement incontournables pour la respecter. L'étude a aussi été étendue aux préparateurs de commandes des centres logistiques travaillant avec les systèmes « voice picking ». La faisabilité d'un système offrant une protection acoustique et une meilleure intelligibilité des conversations homme-machine a été montrée. Il reste à valider ce système sur site et à le transférer aux fabricants de matériel.



Plate-forme logistique  
utilisant un casque  
communicant

## EXPOSURE OF CALL CENTRE OPERATORS AND PREVENTION SOLUTIONS



Call centres employ some 300,000 employees. Some of them spend much of their time on the telephone and are likely to be exposed to noise levels hazardous to their hearing. In 2003, INRS published a method to measure the sound exposure in call centres which turned out to be difficult for the CRAMs to deploy. Moreover, in 2005, a new international standard appeared relative to determining sound exposure due to sound sources placed close to the ear. The first aim of the study was therefore to adapt the procedure intended to measure the exposure of call centre operators to make it applicable and to bring it into conformity with the standard. When exposure proved to be the case, the prevention solutions were limited to workstation layout. The second aim of

the study was to find new prevention solutions based on active control of the sound level in the telephone headset. A new measurement methodology was defined, applied and assessed in 21 call centres between 2007 and 2009. This methodology was validated but requires the use of quite sophisticated equipment that the Physical Measurement Centres of the CRAMs do not possess. This equipment was therefore acquired by INRS and will be made available to the CRAMs after user training. The new methodology will be published in 2010. The prevention solutions proposed by the telephone equipment manufacturers were tested. A priori, they represent a good prevention solution. Workplace layout and improved workplace acoustics were also assessed as prevention solutions in the study.

In parallel, the measurement methodology was employed in a few order preparation centres where operators also work with a headset. For these workers, a prototype of a communicative and protective headset was developed in conjunction with a research body.

# CHAMPS ÉLECTROMAGNETIQUES

Dans le domaine des champs électromagnétiques, de nouvelles populations sont exposées du fait de l'explosion des applications professionnelles et domestiques utilisant les propriétés des champs et des ondes radio électriques. Il y a lieu de caractériser les sources, de recenser les moyens de prévention et de sensibiliser les utilisateurs.

## DISPOSITIFS DE RÉDUCTION DE L'ÉMISSION ÉLECTROMAGNÉTIQUE DES SOUDEUSES HAUTE FRÉQUENCE DE CONCEPTION ANCIENNE

**Raymond KLEIN**

DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

### OBJECTIFS

Cette étude consiste à déterminer et optimiser les caractéristiques essentielles d'un dispositif appelé patin de masse, réduisant de façon significative l'exposition au rayonnement électromagnétique des opérateurs utilisant des soudeuses haute fréquence pour bâches, liners, stores... Les machines concernées sont de conception ancienne et actuellement en exploitation. L'objectif de cette étude est de proposer un guide de conception et d'installation pour les utilisateurs, afin de les assister à l'entrée en vigueur de la directive « champs électromagnétiques ».

### MÉTHODE

Une soudeuse représentative a été acquise par le laboratoire et des patins de masse ayant des caractéristiques ajustables ont été réalisés et montés sur la machine. Un régime de fonctionnement typique de la machine a été fixé. L'intensité de champ électrique au poste de travail a été mesurée sans, puis avec le patin à des caractéristiques variables. L'influence de chacune d'elles a été analysée afin de les optimiser pour de futures préconisations destinées aux utilisateurs.



Banc d'essais IET –  
Mesures d'exposition  
sur soudeuse haute  
fréquence

### RÉSULTATS

L'étude a mis en évidence la faculté du patin de masse à réduire de façon significative l'émissivité électromagnétique rayonnée de la soudeuse. Cette réduction s'obtient lorsque la capacité patin / table et la self inductance des clinquants de mise à la masse se compensent, c'est à dire lorsque le circuit série ainsi constitué est proche de la résonance. L'installation d'un patin de masse dans ces conditions facilite le retour du courant haute fréquence vers le générateur. Cela a pour effet d'éviter qu'il ne circule dans l'ensemble de la machine en transformant cette dernière en un élément rayonnant de grande dimension. L'intensité du rayonnement électromagnétique s'en trouve réduite. L'adjonction du patin de masse ne modifie pas l'ergonomie de la soudeuse, cependant, il en fait varier le régime, il y a donc lieu de reprendre le réglage manuel après son installation.

### CONCLUSIONS

Le patin de masse est un dispositif efficace, relativement simple qui maintient l'ergonomie de la machine. Bien que son efficacité ait été démontrée dans une configuration particulière mais néanmoins représentative, ses caractéristiques laissent envisager une utilisation efficace avec une large gamme de matériaux à souder. Son installation est à préconiser sur les soudeuses anciennes en exploitation.

Banc d'essais IET –  
Mesures d'exposition  
sur soudeuse haute  
fréquence



## SYSTEMS TO REDUCE THE ELECTROMAGNETIC EMISSIONS OF OLDER-DESIGN HIGH-FREQUENCY WELDING MACHINES

High-frequency welding machines, commonly termed HF presses, of an older design are employed in the manufacture of tarpaulins, blinds, etc. They operate on the principle of dielectric loss and have the drawback of exposing the operator to an electromagnetic field intensity greatly exceeding the limit values laid down in the « electromagnetic fields » directive. To reduce this emission, a manufacturer successfully fitted its new machines with a ground pad. The study was intended to analyse the operating principle of the ground pad, to verify the possibility of installing it on a second-hand machine, and to determine the characteristics acting significantly on the electromagnetic field reduction effect. A representative welding machine serving as a test rig was acquired by the laboratory and fitted with ground pads with variable characteristics. The study was able to determine the electrical (capacitance, self-inductance) and dimensional conditions allowing an optimum reduction of the electric field (up to 10 times) to be obtained. This device has the advantage of not disturbing the machine operator. It is therefore recommended for older welding machines currently in use.



Presse haute fréquence

# RISQUES CHIMIQUES

Les risques chimiques restent une préoccupation majeure des préventeurs, des entreprises et des salariés. La mise en œuvre de REACH permettra, à terme, une meilleure connaissance des risques chimiques et la mise en œuvre du règlement SGH permettra une meilleure information sur les dangers. Ces deux évolutions majeures vont cependant générer des besoins de nouvelles méthodes en toxicologie, en métrologie. En effet, les entreprises devront bénéficier d'un effort d'assistance pour s'approprier, dans ce cadre profondément transformé, les données relatives aux risques chimiques.

Dans le cadre de la prévention des risques chimiques, l'un des axes de travail de l'INRS vise à développer des techniques permettant de réduire les émissions à la source et de prendre en compte ce risque dès la conception des installations et des équipements de travail.

## CAPTEURS DE SATURATION D'APPAREILS DE PROTECTION RESPIRATOIRE (APR) À CARTOUCHES FILTRANTES – APPLICATION AU DOMAINE DES SOLVANTS ORGANIQUES

**Bruno GALLAND** avec la participation de Patrick MARTIN,  
Philippe FERRARI, Stéphanie MARSTEAU  
DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

### OBJECTIFS

La question posée, concernant la protection individuelle contre les gaz et vapeurs, est de connaître, à un instant donné, la qualité de la protection offerte par les appareils et les cartouches associées. Le phénomène de claquage est réalisé lorsque le media épurant est saturé en polluant chimique. La conséquence de cette saturation est le passage progressif des polluants à travers la cartouche, en direction des voies respiratoires de l'opérateur. L'approche consiste alors à équiper l'APR d'un système de détection de la saturation ou de la fin de vie de la cartouche. Ce système peut être un indicateur passif ou un capteur actif. Le rôle de ce système de détection est d'alerter l'opérateur que son appareil respiratoire est sur le point de ne plus lui apporter une protection suffisante contre les polluants présents. Plusieurs projets de recherche explorant cette thématique ont abouti à des démonstrateurs. Si des cartouches équipées d'indicateurs passifs sont commercialisées pour un nombre limité de cas, aucun système commercial équipé d'un capteur actif de saturation n'est disponible à ce jour. L'objectif de cette étude est d'explorer cette méthode, à savoir la validation d'un capteur actif comme

détecteur embarqué afin de tester l'état de protection de l'opérateur en temps réel. Pour limiter l'étendue des travaux, l'étude a été restreinte au domaine de la protection contre les vapeurs organiques et concerne les cartouches de type A et AX.

### MÉTHODOLOGIE

L'étude s'est articulée en trois phases, une première dédiée à la conception d'un banc de génération d'atmosphère polluée, une seconde traitant du choix et de la validation du capteur embarqué et une troisième concernant la problématique de l'intégration de ce capteur dans l'APR.

### RÉSULTATS

Le banc d'essai a été réalisé par les services de l'INRS. Il a ensuite été validé par des essais de génération et amélioré par des simulations numériques sous Fluent. En ce qui concerne les détecteurs de saturation de cartouches, le choix s'est porté sur les capteurs semi conducteurs à oxyde métallique. Des essais de claquages de cartouches ont été réalisés en utilisant ces détecteurs pour déterminer le temps durant lequel la cartouche protégeait réellement l'utilisateur.

### CONCLUSIONS

Cette étude a permis de se doter d'un moyen de génération d'atmosphères polluées contrôlées en température et en hygrométrie. Les essais réalisés ont mis en évidence la viabilité du concept de détecteur de saturation embarqué. Les capteurs à oxyde métallique testés présentent des performances très intéressantes pour cette application. Leur bonne sensibilité à tous les polluants générés, ou leur non sélectivité, devient un avantage majeur pour la détection de la percée des cartouches, alors même qu'il s'agit de leur principal défaut en termes de détection de gaz.



## SATURATION SENSORS FOR BREATHING APPARATUS WITH CARTRIDGE FILTERS – APPLICATION IN THE AREA OF ORGANIC SOLVENTS



Breathing apparatus is intended to protect the upper airways of operators from gaseous and/or particulate chemical pollutants. The recurring question which arises is to know, at any given time, the quality of protection afforded by the breathing apparatus and its associated cartridges. The aim of this study was to validate the concept of an active sensor as an on-board detector to test the state of operator protection in real time. The first phase resulted in our acquiring a temperature and hygrometry controlled means of generating polluted atmospheres whose development required numerous resources within INRS. The metal oxide sensors made by Figaro, notably the TGS 26xx models, have very interesting performances for this application. Their high sensitivity to all the pollutants generated –or non

selectivity– becomes a major advantage for detecting cartridge breakthrough, even though this is their main drawback in terms of gas detection. In addition, their detection threshold, lower than a part per million by volume (ppmV), ensures the safety of the operator as the alarm can be triggered at the onset of the breakthrough phenomenon. Their low cost, ease of fitting, and long life span are major advantages for the development of a saturation detector.

## DURÉE DE VIE DES MÉDIAS ADSORBANTS

**Stéphanie MARSTEAU** avec la participation de Philippe FERRARI,

Denis BEMER, Bruno GALLAND, Roland RAPP

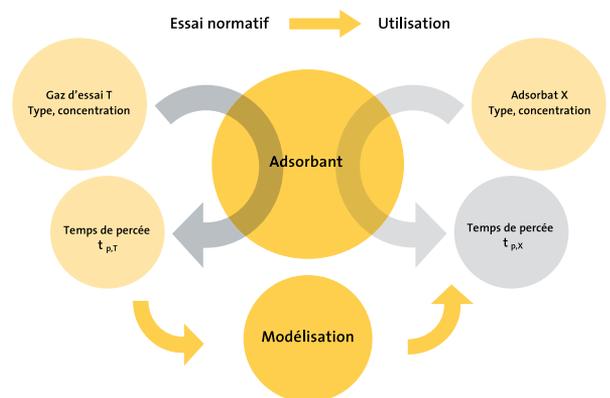
DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

### OBJECTIFS

Les adsorbants sont souvent utilisés dans le traitement de l'air pollué en hygiène industrielle. Une question fréquemment posée par les utilisateurs et les préventeurs concerne la durée de vie de ces adsorbants face à un polluant donné. Des études développées par les homologues nord-américains ont abouti à la mise à disposition d'outils logiciels d'estimation de la durée de vie des cartouches équipant les appareils de protection respiratoire (APR) en fonction du polluant à traiter. Cependant, de par leurs spécificités, leur utilisation par les préventeurs français dans le cadre d'une problématique élargie s'avère irréaliste. Afin de développer un outil adapté à leurs besoins, l'INRS a adopté une approche basée sur l'extrapolation par la modélisation des résultats obtenus avec un gaz d'essai vers des polluants réels. L'étude a permis d'étendre le domaine d'application des modèles développés spécifiquement pour les cartouches des APR.

### MÉTHODOLOGIE

Un point a tout d'abord été fait sur l'utilisation des adsorbants dans le domaine de la prévention. Les critères d'évaluation proposés, certaines conditions opératoires ainsi que les polluants concernés par ce type d'épuration ont été examinés. Des caractérisations de différents charbons actifs issus de différents systèmes commercialisés (cabines pressurisées à air épuré, épurateurs mobiles, appareils de protection respiratoire) ont également été réalisées. Concomitamment à cet état des lieux, une synthèse bibliographique a permis de balayer l'ensemble des travaux concernant les modèles utilisés par l'IRSST et le NIOSH. Le choix s'est porté sur le fait de travailler à partir de ces modèles, tout en conservant la notion de gaz d'essai qui existe déjà au niveau normatif européen et qui sera conservée dans les normes internationales. Une approche intermédiaire a été adoptée en travaillant sur l'extrapolation par la modélisation des résultats obtenus avec un gaz d'essai vers des polluants réels.



Méthodologie  
schématique de l'étude



## RÉSULTATS

La synthèse réalisée montre que, pour certains systèmes, aucune évaluation des performances des adsorbants n'est prévue (PSM, épurateurs mobiles). Dans le cas contraire, l'évaluation s'inspire généralement de ce qui a été développé pour les APR. Il est donc important d'avoir une approche commune de ces différentes problématiques en termes de prédiction du temps de vie d'un adsorbant et la notion de gaz test apparaît ici comme incontournable. L'applicabilité de l'équation de Wheeler-Jonas a été vérifiée et les linéarisations des courbes de percée ont permis l'obtention des paramètres expérimentaux nécessaires à l'extrapolation par la modélisation des résultats obtenus avec un gaz d'essai vers des polluants réels.

## CONCLUSIONS

L'outil prédictif développé dans le cadre de cette étude permet donc d'estimer le temps de percée attendu pour un polluant donné dans des conditions de mise en œuvre variées (vitesse de passage, masse de charbon...). Le domaine de validité actuel se limite aux produits organiques correspondant aux cartouches de type A et AX de la classification des APR et pour des vitesses de passage inférieures à 0,29 m.s<sup>-1</sup>. Les résultats de cette étude permettront d'être la base d'un outil simple et utile aux préventeurs afin d'estimer la durée de vie d'un adsorbant en fonction des polluants auxquels il est soumis et des conditions dans lesquelles il est utilisé. Par la suite, il est prévu d'affiner cette estimation en prenant en compte l'influence de différents paramètres tels que la présence d'autres polluants, l'humidité relative de l'air à traiter, le débit sinusoïdal dans le cas des APR et les cycles de fonctionnement (succession de période d'exposition et de non exposition à des débits variables) pour les systèmes œuvrant en protection collective.

## LIFE SPAN OF ADSORBANT MEDIA

Adsorbants are often used in the treatment of polluted air in industrial hygiene. A question frequently asked by users and prevention specialists concerns the life span of these adsorbants regarding a given pollutant. Studies carried out by our North American counterparts have resulted in software tools becoming available to estimate the life span of the cartridges fitted to breathing apparatus as a function of the pollutant to be treated. However, on account of their specificities, their use by French prevention professionals within the context of a broader problem has turned out to be unrealistic. To develop a tool suited to their needs, we adopted an approach based on extrapolating the results obtained with a test gas to real pollutants by means of modelling. The study allowed the sphere of application of the models developed specifically for breathing apparatus cartridges to be broadened. The predictive tool developed within the framework of this study therefore yields an estimation of the expected breakthrough time for a given pollutant in varied conditions of use (air flow velocity, mass of coal, etc.). The present scope of validity is limited to organic products corresponding to type A and AX cartridges of the breathing apparatus classification and to air flow velocities of less than 0.29 m.s<sup>-1</sup>. Later, this estimation will be refined by taking into account the influence of different parameters such as the presence of other pollutants, the relative humidity of the air to be treated, the sinusoidal flow rate in the case of breathing apparatus, and the operating cycles for systems employed in collective protection.

## CARACTÉRISATION ET UTILISATION DE PLÉNUMS SOUFLANTS POUR LA VENTILATION DE POSTES DE TRAVAIL

**Roland RAPP**

DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS



### OBJECTIFS

Les techniques classiques de ventilation sont souvent utilisées pour limiter l'exposition du personnel à une pollution d'origine professionnelle. En complément de ces techniques, il est proposé un mode de ventilation particulier qui consiste à apporter localement de l'air neuf au niveau des voies respiratoires du salarié. L'objectif de cette étude est de déterminer les secteurs d'activités où cette technique pourrait efficacement être utilisée.

### MÉTHODOLOGIE

La recherche de situations de travail a été effectuée en interrogeant les services prévention des Caisses Régionales d'Assurance Maladie. Le choix des paramètres de

fonctionnement des installations de ventilation a été effectué en s'appuyant sur la norme ISO 7730, relative à l'évaluation du confort thermique. Trois dispositifs de diffusion de l'air ont été testés en laboratoire. Les mesures portant sur la caractérisation des champs de vitesses ont été menées en mode isotherme. Un dispositif de conditionnement de l'air, basé sur une ventilation thermodynamique double flux, a été testé. Enfin, une évaluation des performances de ce type d'installation en milieu industriel a été effectuée par la mise en place de plénums de soufflage à des postes de travail.



## RÉSULTATS

Ce mode de ventilation est proposé, en priorité, pour améliorer les conditions climatiques aux postes de travail soumis à une charge thermique plutôt chaude. Des conditions optimales sont obtenues pour des activités industrielles courantes avec une température comprise entre 18 et 22°C et une vitesse de l'air inférieure à 0,5 m/s.

Les mesures effectuées en laboratoire montrent que, dans le plan immédiatement sous le diffuseur, la vitesse moyenne est dans un rapport de 1 à 2 par rapport à la vitesse débitante et l'écart-type relatif varie de 5 à plus de 40 % suivant le diffuseur.

Un dispositif simplifié de conditionnement de l'air a été testé. Il permet d'alimenter le diffuseur avec un débit de ventilation compris entre 400 et 800 m<sup>3</sup>/h et une température comprise entre 20 et 25°C pour une température extérieure s'échelonnant de -3 à 28°C.

En situation industrielle, l'installation d'un plénum soufflant sur une cabine de polissage ne permet pas d'obtenir un niveau de pollution satisfaisant au poste de travail (utilisation d'outils favorisant l'éjection du polluant vers l'extérieur de la cabine). Au niveau des voies respiratoires, la concentration en plomb est de 214 à 866 µg/m<sup>3</sup> pour une concentration initiale de 467 à 957 µg/m<sup>3</sup> mesurée en absence du plénum. Une expérimentation sur nacelles de peinture est en cours de réalisation.

## CONCLUSIONS

Cette technique de ventilation par plénum de soufflage est utilisable pour assurer le confort des opérateurs dans des environnements de travail avec sources thermiques. En présence de pollution chimique ou biologique, elle permet de réduire l'exposition des salariés lorsque les émissions sont passives. Par contre, elle n'est pas utilisable sur des postes où les polluants sont éjectés en direction de l'opérateur.

Il est possible de trouver sur le marché des dispositifs performants, mais coûteux, capables de générer des écoulements d'air unidirectionnels et homogènes dont l'utilisation est préconisée lorsqu'il existe un risque chimique ou biologique important. Pour les autres situations où seul le confort thermique est recherché, des dispositifs moins onéreux et plus répandus existent dans l'offre commerciale des fabricants.

## CHARACTERISATION AND USE OF PLENUM CHAMBERS FOR VENTILATING WORKSTATIONS

Conventional ventilation techniques are often used to limit the exposure of personnel to pollution of occupational origin. To complement these techniques, a specific ventilation mode is proposed which consists in adding a local inflow of new air at the upper airway level of the employee. This ventilation mode allows for a local improvement in the climatic conditions at workstations subjected to a relatively hot thermal load. In the presence of chemical or biological pollution, plenum chamber ventilation reduces employee exposure when the emissions are passive (vapours or particles emitted with no excessive initial velocity). In this case, the air flow from the plenum chamber keeps the pollutant outside the movement zone of the employee. The ventilation performance of plenum chambers is variable. It is possible to find efficient but costly systems on the market capable of generating unidirectional and homogeneous air streams, the use of which is recommended when a high chemical or biological risk exists. For other situations where only thermal comfort is required, less costly and more widely available systems exist among the products offered by manufacturers. To condition the air drawn in to the workstation, it is possible to use a dual-flow thermodynamic system proposed by certain manufacturers for buildings intended for human habitation as a replacement for a conventional air conditioning unit. However, on account of the mode and the frequency of de-icing the accumulators in cold weather, this system is useable for treating atmospheres from the thermal point of view, but cannot be recommended when there is a risk of chemical or biological pollution.

En métrologie, dédiée à la prévention des risques chimiques, les axes de travail de l'INRS consistent à développer des méthodes pour évaluer les expositions aux substances devant faire l'objet de valeurs d'exposition. En biométrologie, les études visent à développer et valider des indicateurs d'exposition, à proposer des valeurs guides biologiques à destination des médecins du travail et à développer des techniques d'évaluation des dynamiques d'exposition aux produits chimiques.

## UTILISATION DE L'APPAREIL CIP 10 POUR LE DOSAGE DE LA SILICE DANS L'ATMOSPHÈRE DES LIEUX DE TRAVAIL

Edmond KAUFFER, Jean-Claude MOULUT, Jean-Claude PROTOIS

avec la participation de Thierry LECAQUE, Alain MASSON

DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

### OBJECTIFS

Deux méthodes sont généralement utilisées pour évaluer la concentration alvéolaire en silice cristalline sur les lieux de travail : la diffraction des rayons X et la spectrophotométrie infra-rouge. Les prélèvements de la fraction alvéolaire sont le plus souvent effectués sur filtre à l'aide d'un cyclone ou sur mousse à l'aide de l'appareil CIP10-R. La sensibilité de ces méthodes dépend de la quantité de matière recueillie donc du volume d'air prélevé. Ainsi pour les prélèvements réalisés avec le cyclone Door Oliver, son faible débit (1,7 l/min) et l'amélioration au cours du temps des conditions d'hygiène dans les entreprises font que l'on dispose de moins en moins de matière pour effectuer les analyses, d'où une incertitude analytique élevée. L'utilisation du CIP10-R, à un débit de 10 l/min, est une solution pour tenter de résoudre les difficultés analytiques actuelles. L'objet de cette étude est de valider son utilisation pour le mesurage par diffraction des rayons X de la concentration de quartz.

### MÉTHODOLOGIE

Les performances de la méthode d'analyse proposée ont été déterminées en injectant des quantités connues de quartz associées à une matrice (calcite ou oxyde de fer) dans des mousses en respectant le protocole suivant :

- Attaque de la mousse et des minéraux présents par l'acide chlorhydrique dilué
- Filtration de la solution sur un filtre en PVC
- Calcination de la mousse et du filtre en PVC à 600°C dans un creuset en platine
- Ajout d'une quantité d'environ 1,5 mg de fluorure de calcium
- Filtration du résidu de calcination et de l'ajout de fluorure de calcium sur un filtre en polycarbonate préalablement taré
- Analyse des poussières par diffraction des rayons X

Il est important de déposer sur le filtre analytique une quantité suffisamment importante de matière afin d'éviter un dépôt avec une orientation préférentielle des particules de quartz. Cet effet, s'il n'était pas corrigé, aurait pour conséquence de surestimer la quantité de quartz présente sur le filtre. C'est la raison pour laquelle du fluorure de calcium est systématiquement ajouté lors de la préparation. L'attaque acide a pour but d'éliminer la calcite dans les mélanges en contenant et d'éviter ainsi la formation de silicate de calcium lors de la calcination des mousses.

### RÉSULTATS

L'étude a montré que le protocole d'analyse proposé permet de satisfaire aux exigences préconisées dans la norme EN 482 à savoir : une incertitude élargie inférieure à 50 % pour des masses de quartz comprises entre 0,1 et 0,5 fois la valeur limite 8 h et inférieure à 30 % pour des masses de quartz comprises entre 0,5 et 2 fois la valeur limite 8 h. Les limites de détection calculées à partir de la variabilité des témoins sont comprises entre 2 et 18  $\mu\text{g}$  pour les trois raies de diffraction les plus intenses. Cette étude a également permis de montrer que des phénomènes de micro-absorption sont possibles lors de l'analyse d'un mélange pour lequel les dimensions et les coefficients d'absorption massique des différents constituants sont très différents. Cet effet est de nature à dégrader le biais analytique. Cette situation particulière doit cependant être peu fréquente lors du prélèvement de la fraction alvéolaire dans des situations réelles de travail.



Appareil CIP 10

### CONCLUSIONS

L'utilisation du CIP 10-R pour mesurer la concentration en silice dans l'air permet grâce à son débit élevé (10 l/min) de prélever des quantités plus importantes de matière que ne le permet l'utilisation de la plupart des cyclones. Ceci facilite l'interprétation des spectres de diffraction des rayons X et autorise une analyse plus fiable des phases présentes. Le protocole d'analyse proposé, associant une attaque acide préalable et une calcination des mousses permet de satisfaire aux exigences de la norme EN 482 en termes d'incertitude globale dans un domaine allant de 0,1 à 2 fois la valeur limite 8h.

## USE OF THE CIP 10 TO QUANTITATIVELY ANALYSE SILICA IN WORKPLACE ATMOSPHERES

Sampling the alveolar fraction to measure crystalline silica exposure is most often done using cyclones. Their low flow rates and the ongoing improvement in the hygiene conditions in enterprises mean that there is less and less material available to carry out the analyses, which is leading to deterioration in analytical uncertainty. The use of the CIP10-R at a flow rate of 10 l/min is one solution to attempt to resolve current analytical difficulties. One method suited to the analysis of quartz dust on foam was validated by injecting known quantities of quartz associated with a matrix into the foam. The results obtained show that the proposed method respects the requirements laid down in Standard EN 482, i.e. an expanded uncertainty of less than 50 % for quartz masses between 0.1 and 0.5 times the 8-h limit value, and less than 30 % for quartz masses between 0.5 and 2 times the 8-h limit value. Specific recommendations for producing calibration curves are proposed. These allow a considerable improvement in the performance of the method.

## PRÉLÈVEMENTS D'AÉROSOLS À L'AIDE DE L'ÉCHANTILLONNEUR BOUTON ET ANALYSE PAR SPECTROMÉTRIE DE FLUORESCENCE X ÉTUDE DE FAISABILITÉ

Céline EYPERT-BLAISON, Martine DEMANGE

avec la participation de Thierry LECAQUE, Jean-Marie ELCABACHE

DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS



Analyse par spectrométrie de fluorescence x des métaux

### OBJECTIFS

Le nombre de salariés exposés à l'inhalation potentielle de métaux et métalloïdes sur leur lieu de travail est important. Dans le cadre de la prévention des risques encourus par ces expositions, il est nécessaire de savoir prélever et analyser ces aérosols. Afin de faire le lien avec les pratiques habituelles d'évaluation des expositions aux métaux et métalloïdes dans l'air des lieux de travail, cette étude est axée à la fois sur la comparaison de deux techniques analytiques multi-élémentaires (Spectrométrie de Fluorescence X et spectrométrie d'émission atomique à plasma induit par haute fréquence), de deux échantillonneurs de la fraction inhalable (cassette 37 mm et capteur Bouton) et de deux natures de média filtrant (filtres en fibres de quartz et membranes en mélange d'ester de cellulose).

### MÉTHODOLOGIE

Dans un premier temps, un banc de génération d'atmosphères a été adapté avec un nébuliseur ultrasonique afin d'effectuer des prélèvements d'aérosols de métaux à partir de leurs solutions. Les filtres produits ont été utilisés dans le but d'étalonner un spectromètre de fluorescence X dispersif en énergie, permettant ainsi le dosage quantitatif de 13 métaux et métalloïdes présentant un intérêt en hygiène industrielle.

Dans un deuxième temps, des filtres chargés en poussières de composition connue (matériaux de référence certifiés) ont été générés en laboratoire et des prélèvements d'ambiance sur deux sites industriels ont été réalisés avec les deux types d'échantillonneurs et les deux natures de médias filtrants. L'ensemble des filtres prélevés a ensuite été analysé par les deux techniques analytiques à comparer.

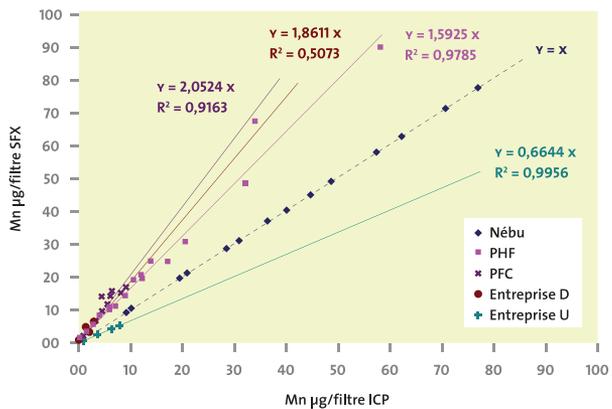
## RÉSULTATS

L'établissement des droites d'étalonnage du spectromètre de fluorescence X a permis d'illustrer la fiabilité du système de génération utilisé. Le système d'analyse utilisé s'est montré répétable, linéaire et présentant de très bonnes limites de détection pour les 13 métaux et métalloïdes générés en laboratoire.

Des difficultés rencontrées au cours des analyses par spectrométrie d'émission atomique à plasma induit par haute fréquence ont empêché de mener à bien la comparaison des résultats obtenus pour les deux techniques d'analyses multi-élémentaires. Contrairement à ce qui était prévu, la spectrométrie d'émission atomique n'a pas pu être prise en compte comme méthode de référence.

## CONCLUSION

Cette étude a permis de développer les possibilités d'utilisation du banc polyvalent de génération d'aérosols mis au point par le laboratoire et de montrer ses bonnes performances. Cette étude a montré que la Spectrométrie de Fluorescence X, associée à des prélèvements avec l'échantillonneur Bouton équipé d'une membrane en ester de cellulose, peut permettre l'analyse quantitative de métaux et métalloïdes dans le cas d'ambiances peu empoussiérées.



Résultats comparés des analyses de Mn sur les membranes MEC 25 mm des échantillonneurs Bouton par ICP et par SFX

## **AEROSOL SAMPLING WITH THE BUTTON SAMPLER AND ANALYSIS BY X-RAY FLUORESCENCE – FEASIBILITY STUDY**

To test the analogy with the common practices employed to assess exposure to metals and metalloids in workplace air, this study focussed on comparing two analytical techniques (X-ray fluorescence spectrometry and inductively coupled plasma atomic emission spectrometry), two inhalable fraction samplers (37 mm cassette and Button sampler), and two types of sampling filters (quartz fibre filter and cellulose ester membrane).

Firstly, an energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometer was calibrated with filters generated in the laboratory to allow the quantitative analysis of 13 metals and metalloids of interest to industrial hygiene. Secondly, filters loaded with dust of a known composition (certified reference materials) were generated in the laboratory and airborne samples taken on two industrial sites with the two types of samplers and the two types of filter media.

Despite the difficulties encountered during the analyses by atomic emission spectrometry, carrying out this study developed the possibilities of using a multi-purpose aerosol generation system developed by the Inorganic Analysis and Aerosol Characterisation Laboratory and demonstrated its very high performance.

This study showed that X-ray fluorescence spectrometry, associated with samples taken with the Button sampler equipped with a cellulose ester membrane, can allow the quantitative analysis of metals and metalloids in the case of lightly dust-laden atmospheres.

# DÉVELOPPEMENT ET VALIDATION DES MÉTHODES DE PRÉLÈVEMENT ET D'ANALYSE DES ACIDES MINÉRAUX EN PRÉSENCE OU NON DE LEURS SELS DANS L'AIR DES LIEUX DE TRAVAIL

**Martine DEMANGE, Véronique OURY**

DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

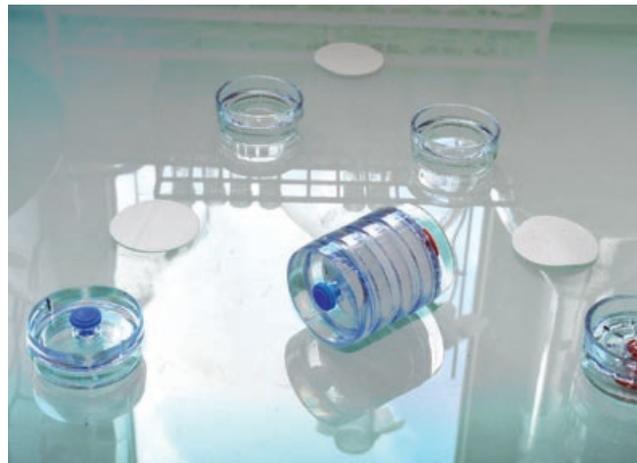
avec la participation de D. BREUER (IFA ALLEMAGNE)

## OBJECTIFS

Après la parution de valeurs limites d'exposition professionnelle contraignantes pour la plupart des acides minéraux, les performances des méthodes de prélèvement et d'analyse devaient être réévaluées, en tenant compte de difficultés apparues lors de la rédaction de la norme ISO 21438, des évolutions technologiques des dernières années et des données récentes de la littérature.

## MÉTHODOLOGIE

Les résultats lors d'essais préliminaires réalisés sur le banc d'essai de l'IFA en Allemagne ou lors de premiers essais au laboratoire (en particulier en ce qui concerne l'acide nitrique), ont rendu nécessaire l'amélioration du dispositif pour générer de manière reproductible des quantités connues d'acides volatils. Le dispositif finalement retenu est constitué d'une cassette 37 mm «fermée» contenant, dans l'ordre, une membrane en PTFE sur laquelle est déposée une quantité connue de l'acide étudié, puis une membrane en PTFE (pour retenir les particules lors d'un prélèvement en atmosphère réelle), puis deux filtres en fibre de quartz imprégnés de carbonate de sodium (500 µL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> à 5 %). De l'air non pollué est ensuite aspiré à 2 L/min pendant au minimum 4 h à travers l'ensemble du dispositif. Après désorption séparée de tous les supports de prélèvement, les solutions sont analysées par chromatographie ionique.



Supports  
de prélèvement  
atmosphérique

### RÉSULTATS

Ces essais ont montré que la méthode développée à l'INRS permet une récupération quantitative (ffl 95 %) de ces acides entre le dixième de la VLCT et 2 fois la VL8h pour des prélèvements de 4 h (HCl) ou même 8 h (HNO<sub>3</sub> et HF) sur un ou deux filtres imprégnés et que les prélèvements peuvent être effectués à 2 L/min, en conformité avec la norme NFX 43-257 pour le prélèvement de particules. Une grande attention doit être apportée aux matériaux en contact avec les acides prélevés, en particulier HNO<sub>3</sub>. La possibilité de détermination simultanée d'acides utilisés en mélange a été confirmée, mais également le risque de déplacement du sel d'un de ces acides par un autre acide en cours de prélèvement, ce qui doit inciter les utilisateurs des résultats des analyses à une grande prudence en ce qui concerne leur interprétation.

### CONCLUSIONS

L'intérêt de la méthode MétroPol 009, qui a servi de base à la partie 2 de la norme ISO 21438 est confirmé, en particulier pour la possibilité de prélever tous les acides inorganiques courants avec un seul dispositif. Les données de validation ont été actualisées et seront incluses dans la prochaine version de la méthode MétroPol. Elles ont également été utiles pour l'élaboration de la partie 3 de la norme ISO (dédiée à l'acide fluorhydrique).



## DEVELOPMENT AND VALIDATION OF METHODS TO SAMPLE AND ANALYSE MINERAL ACIDS IN WORKPLACE AIR, WHETHER THEIR SALTS ARE PRESENT OR NOT

Following the publication of restrictive occupation exposure limit values for most mineral acids, the performance of sampling and analytical methods for mineral acids (hydrofluoric, hydrochloric, nitric, hydrogen bromide, sulphuric and phosphoric) in the presence of their salts or in the presence of other pollutants that can be encountered simultaneously in workplace atmospheres was reassessed to take into account recent technological progress and new data in the literature.

The performance of the MétroPol 009 method was assessed primarily for volatile mineral acids. The sampling cassette contained a PTFE pre-filter for particle retention and two quartz fibre filters impregnated with 500 µL of Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> at 5 % (mass/volume). Known quantities of hydrochloric acid (HCl), nitric acid (HNO<sub>3</sub>) and hydrofluoric acid (HF) were generated and sampled separately or in a mixture. The detection and quantification limits were reassessed and the influence of certain salts was verified. These tests were conducted using a sampling flow rate of 2 L/min, in accordance with the current recommendations of Standard NFX 43-257 [Aerosol sampling with a cassette (4 mm orifice)], whereas the initial method had been assessed at 1 L/min.

These tests showed that the method developed by INRS allows a quantitative recovery (ffl 95 %) of these acids between one tenth of the short-term exposure limit value and twice the 8-h limit value for 4-h samples (HCl) and even 8-h samples (HNO<sub>3</sub> and HF) on one or two impregnated filters. A great deal of attention must be paid to the materials coming into contact with the acids sampled, in particular for HNO<sub>3</sub>.

These results were forwarded to the ISO working group responsible for this subject and used for drafting parts 2 and 3 of Standard ISO 21438, which is currently being written. The validation data will be integrated into the MétroPol 009 method.

## MISE AU POINT DE PROTOCOLES SIMPLIFIÉS POUR LA VALIDATION DES DÉBITS D'ÉCHANTILLONNAGE DU BADGE GABIE®

**Eddy LANGLOIS, Williams ESTEVE** avec la participation de Michel GRZEBYK

DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS



Badge de prélèvement  
GABIE®

### OBJECTIFS

L'objectif de cette étude est d'élaborer et de valider des protocoles de validation simplifiés afin de pouvoir utiliser les badges pour l'échantillonnage de nouvelles substances chimiques dans des délais beaucoup plus courts, et ainsi pouvoir répondre avec plus de réactivité aux demandes d'évaluation d'exposition professionnelle.

### MÉTHODOLOGIE

Deux plans d'expériences ont été élaborés ; un protocole de niveau 1 extrêmement simplifié, et un protocole de niveau 2 beaucoup plus complet statistiquement, permettant d'évaluer

l'influence des paramètres environnementaux et des conditions d'utilisation, voire des éventuelles interactions entre ces facteurs. Le choix entre l'un ou l'autre de ces protocoles est dicté par le type de substance étudié. Les substances pour lesquelles aucun autre analogue chimique de la même famille n'est validé sur badge doivent être étudiées à l'aide d'un protocole de type 2. En revanche, les substances pour lesquelles des analogues ont déjà été étudiés peuvent être évaluées à l'aide du protocole de niveau 1. Ces protocoles ont été validés à l'aide d'expérimentations sur des bancs de génération d'atmosphères contrôlées pour un couple substance / support de prélèvement déjà étudié, par le biais d'un protocole classique complet (protocole INRS, 1992). Ils ont ensuite été appliqués à d'autres substances d'intérêt en hygiène industrielle et à d'autres supports adsorbants.

### RÉSULTATS

La validation des plans d'expériences a été effectuée pour le prélèvement du toluène sur charbon actif (badge GABIE®). Les débits d'échantillonnage obtenus à l'aide de ces plans sont comparables à celui obtenu à l'aide de l'ancien protocole. Outre cette bonne concordance sur les valeurs de débits d'échantillonnage, l'analyse statistique n'a pas montré d'influence significative des paramètres étudiés (rétrodiffusion, concentration, durée du prélèvement, température, humidité relative et co-pollution).

L'application du protocole de niveau 2 à deux nouvelles substances utilisées comme additifs dans les carburants (le méthyl-tert-butyl-ether MTBE et l'éthyl-tert-butyl-ether ETBE) a mis en évidence une influence des paramètres d'utilisation et notamment de la température. Ces conclusions conduisent à préconiser une utilisation du badge GABIE® pour cette famille chimique, sur la plage de température restreinte (15-25°C) et à déconseiller son utilisation pour le prélèvement du MTBE dans des conditions d'utilisation très particulières (forte humidité, température > 25°C, faibles concentrations et durée de prélèvement courte). Par ailleurs, des validations de terrain réalisées dans une raffinerie ont permis de valider les données expérimentales en conditions réelles d'utilisation.

D'autre part, le charbon actif s'avérant inadapté pour le piégeage de certaines familles chimiques, d'autres supports adsorbants ont été utilisés pour la détermination des débits d'échantillonnage à l'aide des plans d'expériences. Ainsi, le prélèvement passif du protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) à l'aide d'un badge modifié rempli de tamis moléculaire 5Å a été développé. La valeur du débit d'échantillonnage a été calculée selon un protocole de type 2 et une influence significative de la durée du prélèvement et de la température a été mise en évidence. Une correction est proposée afin de mieux évaluer les concentrations de N<sub>2</sub>O en fonction des conditions de prélèvement. Enfin, la détermination des débits d'échantillonnage d'amides utilisés comme solvants industriels (le diméthylformamide DMF et le diméthyl-acétamide DMAc) a été entreprise expérimentalement par prélèvement sur résine XAD-7.

## CONCLUSIONS

La validation des plans d'expériences pour le prélèvement du toluène sur le badge GABIE® démontre qu'ils peuvent être utilisés en alternative aux protocoles classiques avec un gain de temps et de moyens substantiel.

L'application du protocole de niveau 2 à l'ETBE et au MTBE a permis de mettre en évidence une influence de la température sur le débit d'échantillonnage et de déterminer les conditions optimales d'utilisation du badge GABIE® pour leur prélèvement.

Ce protocole a ensuite été appliqué au prélèvement de nouvelles substances à l'aide d'autres échantillonneurs passifs contenant différents supports adsorbants afin d'élargir le domaine d'application de tels plans d'expériences.



Badge de prélèvement  
GABIE®

## DEVELOPMENT OF SIMPLIFIED PROTOCOLS TO VALIDATE THE SAMPLING FLOW RATES OF THE “GABIE” BADGE

Passive samplers are simple and efficient tools to assess occupational exposure to organic chemicals. However, their use is currently limited by the low number of substances for which they have been validated. Indeed, the use of a badge for sampling a substance requires knowledge of the sampling flow rate value, a magnitude that allows the mass of the pollutant sampled to be linked to the atmospheric concentration. A sampling flow rate value is unique to a substance-badge pair, and the experimental protocols available to determine these values are complex to use and require significant human and logistical resources. The aim of this study was therefore to propose simplified determination protocols so that badges can be used for new chemical substances with much shorter delays, and thus to be in a position to respond with greater reactivity to requests from users of passive samplers.

A first phase of experiments on the atmosphere generation system validated these protocols on a substance / adsorbant support pair already studied with the full conventional protocols. This first step concerned sampling toluene by means of the GABIE badge (developed by INRS) filled with active charcoal. These protocols were then applied to sampling, on active charcoal, substances whose sampling flow rate had never been determined for the GABIE badge, in this case lead-free fuel oxygenates, to sampling nitrogen protoxide on a molecular sieve in modified Perkin Elmer badges, and then to sampling amides on XAD-7 resin. Finally, field validations were conducted to guarantee the correct operation in real conditions of the supports validated in the laboratory on the atmosphere generation system.

Dans le cadre de la prévention des risques chimiques, un axe de travail de l'INRS en toxicologie, vise à fournir des données sur les substances industrielles, à apporter des méthodes alternatives de mise en évidence des propriétés toxiques, à comprendre les mécanismes d'action, à interpréter les données toxicologiques (modélisation) et à rechercher les effets toxiques dus aux multi-nuisances.

## EFFETS OTOTOXIQUES DU TOLUÈNE ET SPÉCIFICITÉS MÉTABOLIQUES (PHASES I ET II) DU RAT ET DU COBAYE

Pierre CAMPO avec la participation de Benoît COSSEC  
DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

### OBJECTIFS

Dans le but de valider un modèle prédictif de la toxicité du toluène (Tol) sur l'audition de l'homme, les effets d'une inhalation à ce solvant ont été étudiés sur l'audition du rat et celle du cobaye. Les raisons pour lesquelles l'audition du cobaye se montre plus résistante au Tol que celle du rat ne sont pas encore connues. Le métabolisme du cobaye pourrait être son atout majeur. La compréhension des mécanismes permettant au cobaye de résister à l'ototoxicité du Tol pourrait apporter des éléments pour améliorer la prévention de l'audition chez l'homme.

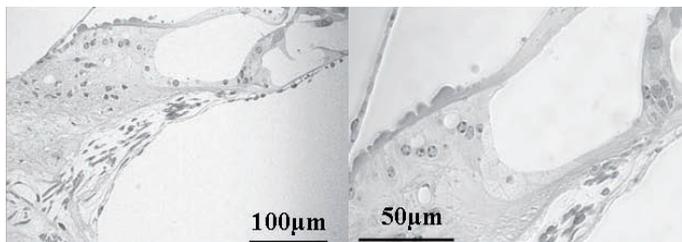
Les objectifs de cette étude sont d'évaluer chez le rat, l'impact du métabolisme hépatique du Tol sur son ototoxicité, puis de déterminer chez le cobaye les caractéristiques métaboliques et anatomiques lui permettant de résister aux effets cochléotoxiques du solvant.

### METHODOLOGIE

Dans cette optique, une première expérience a été menée avec des rats induits par un traitement au phénobarbital (PhB). Le PhB a permis de réduire l'ototoxicité du Tol. Etant donné que la quasi-totalité des enzymes hépatiques sont induites par le PhB, le traitement a réduit la quantité de solvant circulant mais également celle de ses métabolites potentiellement ototoxiques. Une seconde expérience a été réalisée en inhibant la  $\gamma$ -glutamyltransférase ( $\gamma$ -GT) par l'acivicine. L'inhibition de la  $\gamma$ -GT n'a pas modifié le pouvoir ototoxique du Tol. Par contre, elle a montré que les dérivés cystéinés sont inoffensifs pour l'audition du rat. Une dernière expérience a été réalisée en déprimant les cytochromes P450 (CYP450) : ce sont les premières enzymes à intervenir dans la chaîne de métabolisation du Tol.

### RÉSULTATS

L'inhibition des CYP450, qui n'était que partielle, s'est traduite par une légère augmentation de l'ototoxicité du Tol. Pour finir, le protocole d'inhibition des CYP450 a été appliqué au cobaye. Pour la première fois, une surdité a été induite par du Tol inhalé chez le cobaye. Elle s'est caractérisée essentiellement par une perte des fibres afférentes spirales. Cette donnée histologique témoigne surtout de l'impact neurotoxique du Tol chez le cobaye.



### CONCLUSIONS

La mélanine, présente en grande quantité dans l'organe de Corti, pourrait faire barrière à l'intoxication au Tol. En étudiant les caractéristiques métaboliques et anatomiques du rat et du cobaye, le glutathion, molécule intervenant dans la voie de conjugaison du métabolisme hépatique et comme molécule anti-oxydante dans l'oreille interne du cobaye, pourrait jouer un rôle majeur pour lutter contre l'ototoxicité du toluène. La protection apportée par cette molécule pourrait être étudiée dans le futur.



## OTOTOXIC EFFECTS OF TOLUENE AND METABOLIC SPECIFICITIES (PHASES I AND II) OF THE RAT AND GUINEA PIG

The hearing of the rat, unlike that of the guinea pig, is vulnerable to toluene (Tol). The characteristics of hepatic metabolism could explain, at least in part, the resistance of the hearing of guinea pigs exposed to Tol. The aims of this investigation were to study hepatic metabolism, to characterise the anatomical elements of the inner ear of the guinea pig allowing it to resist Tol and, where appropriate, to extract information capable of improving the prevention of risks to human hearing. The impact of induction or inhibition of the metabolic pathways was tested in the rat to highlight the relationship between hepatic metabolism and the cochlear toxicity of Tol. The metabolic modifications firstly showed that cysteine derivatives are inoffensive for the hearing of the rat and that the blood borne Tol concentration is probably a determining parameter in the ototoxicity of Tol. For the first time, deafness was caused by Tol in guinea pigs whose glutathion quantities and P450 cytochrome activity had been reduced.

This deafness was of a neurotoxic (spiral fibres) rather than a cochleotoxic (ciliated cells) nature. If, on account of its metabolism, the rat is considered as the model of choice to study the ototoxicity of Tol in humans, it is differentiated from the guinea pig by its low glutathion concentration in the inner ear. Present in large quantity in the organ of Corti of the guinea pig, glutathion could be a major asset against the ototoxicity of Tol. The hearing protection contributed by this molecule should be studied in a post-doctoral course.

# DECHETS ET RECYCLAGE

Le secteur du traitement et du recyclage des déchets est un secteur en fort développement en réponse aux contraintes environnementales et de développement durable (directives européennes). Près de 100 000 salariés travaillent dans ce secteur. Les orientations de l'INRS visent à développer : une évaluation des risques et des effets sur la santé des salariés, en relation avec l'évaluation des expositions, dans les secteurs d'activité caractérisés par une méconnaissance de la nature exacte des déchets traités et des polluants présents / des solutions de prévention pour certains secteurs d'activité générateurs de risques chimiques ou biologiques.

## ÉVALUATION DES NIVEAUX D'EXPOSITION AUX AGENTS CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES LORS D'OPÉRATION DE TRAITEMENT ET DE VALORISATION DE DÉCHETS

Barbara SAVARY avec la participation de Edmond KAUFFER,  
Eddy LANGLOIS, Philippe DUQUENNE DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS  
et Marie-Thérèse LECLER DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS



Mesures  
de prélèvements  
en entreprise

### OBJECTIFS

La création de nouveaux métiers dans la filière de gestion des déchets a pour conséquence l'apparition de nouvelles expositions pour lesquelles aucune donnée n'est disponible. L'objectif de cette étude est d'évaluer les expositions des salariés aux agents chimiques et biologiques lors de la mise en œuvre de procédés de traitement et de valorisation des déchets.

### MÉTHODOLOGIE

Au cours des trois dernières années, 24 établissements ont été contactés et 17 campagnes de prélèvements ont été organisées dans les secteurs du reconditionnement des cartouches pour impression laser, du broyage des sources lumineuses, du broyage des supports de sauvegarde, du broyage des véhicules hors d'usage (VHU), du broyage des filtres à huiles, de la transformation des pneumatiques usagés en poudrette, du traitement de plumes et de duvets et du démantèlement des avions hors d'usage. Plus de 500 prélèvements et analyses ont été réalisés selon les méthodes décrites dans MetroPol.

## RÉSULTATS

Des niveaux d'exposition élevés ont été mis en évidence :

- Cartouches d'impression laser : exposition aux poudres de toner au poste de reconditionnement des cartouches. Ces poudres présentent une fraction nanoparticulaire ;
- Sources lumineuses : exposition au mercure et aux métaux pouvant être de taille nanométrique au poste de surveillance de l'installation de broyage ;
- Supports de sauvegarde : exposition aux poussières de plastique et de papier au poste de surveillance de l'installation de broyage ;
- Véhicules hors d'usage : exposition aux poussières et aux brouillards d'huile au poste de tri en aval du broyage ;
- Pneumatiques usagés : exposition aux fibres textiles et au caoutchouc au poste de surveillance des installations de broyage ;
- Filtres à huile usagés : exposition aux brouillards d'huile au poste de surveillance de l'installation de broyage ;
- Plumes et duvets : exposition aux duvets et aux poussières lors de la manipulation des balles de plumes ;
- Avions hors d'usage : exposition potentielle aux fibres de verre à usage spécial lors du retrait de l'isolant.

## CONCLUSIONS

Dans la filière de traitement des déchets, les salariés sont exposés à de nombreux polluants pour lesquels la substitution est impossible. Il est donc nécessaire de trouver des solutions pour limiter l'exposition des salariés lors des opérations de traitement des déchets. La filière qui semble prioritaire est le broyage de VHU avec 100 salariés potentiellement exposés aux brouillards d'huile. Des études de faisabilité sur la mise en place d'aspiration sont à mener. Le second axe de travail concerne les nanoparticules et la connaissance portant sur leur toxicité. Dans l'ensemble des filières, il est nécessaire de maintenir les aspirations en état de fonctionnement pour limiter l'exposition des salariés. Dans le cas où la protection collective ne peut être mise en place, le port d'équipement de protection individuelle est à préconiser.

## EVALUATION OF THE LEVELS OF EXPOSURE TO CHEMICAL AND BIOLOGICAL AGENTS DURING WASTE TREATMENT AND EXPLOITATION OPERATIONS



Mesures  
de prélèvements  
en entreprise

The appearance of new branches of waste-treatment activity is creating new jobs whose exposures are unknown. To highlight questions concerning the chemical risks at these workstations, this study was intended to assess the exposures to chemical and biological agents during a number of waste treatment and exploitation operations.

In this study, seven new branches of activity were approached, giving rise to 24 pre-visits and 17 sampling campaigns. The pollutants measured were selected as a function of the waste product treated and the process employed. The sampling and the analyses were carried out in accordance with the methods described in MetroPol. The results were statistically processed

by means of the ALTREX software tool.

The results highlighted critical situations for which it is important to find prevention solutions: exposure to oil mists during final sorting after the shredding of scrapped vehicles and the treatment of oil filters; exposure to dust emitted during the production of reground rubber from used tyres by means of grinding; exposure during the treatment of computer storage devices; exposure to toner powder containing nanoparticles during the reconditioning of laser printer cartridges; exposure to mercury and yttrium during the treatment of light sources; exposure to duvet dust when sorting and mixing duck feathers.

## RISQUES CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES LIÉS AUX ACTIVITÉS DE COMPOSTAGE

**Pascal POIROT** avec la participation de **Alain CHOLLOT**

DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

**Philippe DUQUENNE** DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

### OBJECTIFS

Le compostage est un procédé de traitement biologique des déchets organiques fermentescibles permettant la valorisation agronomique des composts produits. Encouragé par les pouvoirs publics, le compostage, qui est une activité en pleine expansion, suscite cependant des interrogations sur les risques liés aux agents chimiques et biologiques déjà présents dans les déchets ou générés par le processus lui-même. La littérature, faible sur le sujet en raison du caractère émergent de l'activité, a conduit l'INRS à réaliser une étude dont les objectifs étaient d'identifier les principaux agents chimiques et biologiques pouvant exposer les salariés, de réaliser des mesures d'exposition/pollution qui permettront d'envisager des mesures en matière de prévention collective.



### MÉTHODOLOGIE

Douze campagnes de mesures ont été menées dans diverses entreprises choisies de façon représentative par rapport aux types de déchets entrants et au procédé de compostage. Les mesurages ont été effectués essentiellement en milieu fermé ou semi-fermé sur des plateformes de déchets verts, de boues urbaines, de bio-déchets ménagers, d'ordures ménagères résiduelles (OMR) et dans une usine de méthanisation compostant le digestat d'OMR.

Les agents chimiques mesurés étaient les matières particulaires (MPTs), les éléments traces métalliques (EMTs), les composés organiques volatils (COVs) et l'ammoniac.

Les agents biologiques mesurés étaient les endotoxines, les bactéries thermophiles et mésophiles et les moisissures thermophiles et mésophiles.

Pour chaque entreprise, les mesurages chimiques et biologiques ont été réalisés respectivement durant 3 et 2 jours consécutifs. Généralement, en raison des effectifs réduits et de la polyvalence des salariés au travail, les prélèvements en ambiance ont été privilégiés par rapport aux prélèvements individuels qui ont concerné principalement les conducteurs de chargeuses. En parallèle, l'ammoniac et les MPTs ont été prélevés à l'intérieur des cabines des engins.

Mesures de prélèvements atmosphériques dans un centre de compostage

## RÉSULTATS

### Les agents chimiques

L'étude montre que 8 valeurs sur 210 dépassent la VME, la valeur maximale mesurée correspond à une opération de criblage en extérieur ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ). Les mesurages de MPTs dans les cabines sont en général plus faibles que ceux mesurés en extérieur.

Les concentrations en EMTs sont négligeables dans l'ensemble, les métaux prépondérants étant le fer et l'aluminium.

Les concentrations en COVs sont également très faibles dans tous les secteurs du compostage classique. Des valeurs un peu plus élevées sont observées lors du compostage de digestat après méthanisation des OMR.

Les prélèvements d'ammoniac montrent de grandes disparités selon les plates-formes (confinées ou non) et surtout selon les déchets entrants. Le compostage des boues urbaines ainsi que le compostage du digestat d'OMR génèrent de fortes concentrations en ammoniac ; 66 et 100 % respectivement des valeurs sont supérieures à la VME.

### Les agents biologiques

32 % des concentrations en endotoxines aéroportées mesurées sur l'ensemble des sites visités sont supérieures à  $200 \text{ UE}/\text{m}^3$ , valeur servant de référence. Les concentrations peuvent être très importantes et varient fortement d'une plate-forme à l'autre. Ainsi, les valeurs les plus élevées ( $27\,500 \text{ UE}/\text{m}^3$ ) ont été mesurées sur une plate-forme compostant des boues.

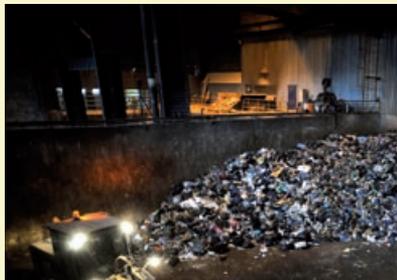
Les concentrations en bactéries cultivables sont supérieures à celles mesurées pour les moisissures cultivables. Par exemple, pour les bactéries mésophiles, 37 % des valeurs sont supérieures à  $105 \text{ UFC}/\text{m}^3$  contre seulement 12 % pour les moisissures qui cultivent dans les mêmes conditions. Pour les bactéries thermophiles, la majorité des mesures effectuées sur les plates-formes de déchets verts et de boues conduisent à des concentrations supérieures à  $105 \text{ UFC}/\text{m}^3$ .

## CONCLUSION

Cette étude a mis en évidence la présence de deux polluants chimiques, les MPTs et l'ammoniac, et montré que les conducteurs d'engins pouvaient être exposés à l'ammoniac en raison de la défaillance des médias filtrants. Sur le plan biologique, l'étude révèle une grande étendue des concentrations de ces agents qui peuvent être 100 fois plus élevées que la valeur de référence pour les endotoxines ou que les valeurs rapportées dans la littérature pour certains micro-organismes cultivables. L'exposition individuelle, probablement plus faible que celle mesurée en ambiance, ne doit ni occulter les sources de pollution, ni limiter la mise œuvre de mesures de prévention adaptées qui s'attacheront à réduire la pollution à la source et mieux intégrer les médias filtrants notamment pour l'ammoniac. Dans cette perspective, les différents travaux en cours portant sur les médias filtrants, sur la réduction particulière à la source et sur l'étude de ventilation par simulation numérique permettront de préciser des mesures de prévention adaptées.

## CHEMICAL AND BIOLOGICAL RISKS LINKED TO COMPOSTING ACTIVITIES

This study provides a non-exhaustive overview of the chemical and biological risks run by employees in composting plants. The results show three overriding pollutants: total particulate matter (TPM), ammonia and endotoxins. Although on average below the Average Exposure Value (AEV), the TPM concentrations were significant and reached very high values locally depending on the work and the configuration of the plant. The ammonia concentrations appear to be the most worrying issue (28 % are above the AEV) in certain enclosed plants treating urban mud. The study also highlighted that the filter cases fitted to loaders were inefficient in half the cases. Concerning the biological aspect, the results indicate the presence of endotoxins on all the sites. Thirty-two percent of the measurements were above the recommended value of 200 UE/m<sup>3</sup>. The cultivable microorganism concentrations were also very variable and reached very high values, notably in the case of thermophilic bacteria, in certain plants where most of the measurements exceeded 100,000 UFC/m<sup>3</sup>.



Mesures  
de prélèvements  
atmosphériques  
dans un centre  
de compostage

## RÉDUCTION DES RISQUES INDUITS PAR LE BROYAGE

Éric SILVENTE avec la participation de Marie-Thérèse LECLER  
DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

### OBJECTIFS

Le broyage est une opération unitaire très répandue dans les procédés de fabrication ou de traitement de secteurs industriels très diversifiés. Chaque secteur d'activité recherche dans ce procédé des finalités qui lui sont spécifiques.

Cette étude d'instruction propose de définir des axes de travail et un mode de fonctionnement le mieux adapté au développement de solutions de prévention applicables aux différents secteurs professionnels concernés par le broyage.

### MÉTHODOLOGIE

Afin d'atteindre les objectifs fixés, une démarche en trois étapes a été adoptée :

- établissement d'un panorama sectoriel des procédés de broyage ;
- choix d'un ou plusieurs secteurs professionnels sur des critères de technologies, de populations susceptibles d'être exposées ;
- définition des modes d'action et recherche de partenariats.

Ces différents points ont été instruits suite à un travail bibliographique, à l'interrogation de bases de données (Colchic, statistiques CNAM), au recueil d'informations auprès de concepteurs d'équipements lors de Salon, ou de visites d'entreprises largement focalisées sur le secteur du recyclage des déchets et de discussions avec des universitaires, spécialistes des procédés de broyage.

### RÉSULTATS

À partir des données recueillies auprès des différentes sources consultées, le secteur des déchets est apparu comme un secteur particulièrement pertinent pour investiguer et prévenir les expositions en lien avec le broyage. Les technologies qui y sont mises en œuvre et les matériaux à recycler sont très variés. Les processus de fragmentation sont sources d'importantes émissions de polluants dans les unités de traitement. Les filières de recyclage sont, pour la



plupart, structurées par des organismes qui commencent à intégrer l'hygiène et la sécurité au travail comme un critère de choix de procédé de traitement. Ces organismes peuvent ainsi représenter un relais pour les travaux conduits à l'INRS. Sur la base de ces différents éléments, les actions visant à réduire les émissions de polluants causées par le broyage se concentreront, dans un premier temps, aux problématiques spécifiques au secteur du recyclage. Deux partenariats potentiels ont été identifiés. Spécialistes des procédés mis en œuvre dans le traitement des déchets, ils sont dotés d'installations pilotes permettant de tester les solutions de prévention qui seront investiguées.

### CONCLUSIONS

Afin de réduire l'exposition des salariés lors du broyage, plusieurs pistes d'amélioration sont proposées. Priorité sera donnée aux modifications de procédés amont qui nécessiteront de développer des partenariats en vue d'une mutualisation d'équipements d'essais permettant de tester les pistes de progrès envisagées (ségrégation des poussières dans le broyeur, broyage à l'humide).



## REDUCING THE RISKS CAUSED BY GRINDING

Grinding is a very widespread operation in the manufacturing or treatment processes of numerous industrial sectors. Its purposes vary according to the branch of activity in which it is used. The preparatory study of the grinding project focussed on reducing exposure to the harmful chemical pollution caused by this operation. In this respect, it was highlighted that the recycling sector is a branch of activity where grinding is virtually unavoidable when processing waste products, and that it is a major source of employee exposure to toxic pollutants. Among the many grinding technologies employed in this sector of activity, impact fragmentation appears to be particularly polluting. Following this preparatory study, it was proposed to focus on seeking solutions to reduce the emissions of impact grinding technology. Three areas for reducing the harmful chemical pollution in particular will be explored by way of external partnerships: pollutant segregation inside the grinding chamber, integration of humid cutting solutions and, finally, development of humid processes when the material allows for them.

# NANOTECHNOLOGIES ET NANOPARTICULES

Au cours des vingt dernières années, des recherches ont révélé les propriétés exceptionnelles de substances ou produits sous forme de nanoparticules. Le passage du laboratoire à l'exploitation industrielle est une réalité dans des domaines tels que les cosmétiques, l'électronique, les composites, les textiles, alors que des applications en pharmacie, en biomédecine semblent aussi prometteuses.

Des interrogations subsistent concernant les risques professionnels qui conduisent à appréhender les effets des nanoparticules sur la santé, la métrologie des expositions après validation d'indicateurs pertinents, la recherche et l'expérimentation de moyens de prévention. L'un des enjeux pour l'INRS consiste à évaluer les effets des nanoparticules sur la santé en conduisant des études toxicologiques et épidémiologiques.

## CONTRIBUTION DE LA MICROSCOPIE ÉLECTRONIQUE À L'ÉTUDE DES AÉROSOLS FINS ET ULTRAFINS – ÉTUDE MÉTHODOLOGIQUE

Olivier RASTOIX, Céline EYPERT-BLAISON

avec la participation de Olivier WITSCHGER, Sébastien BAU

DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

### OBJECTIFS

La première étape de l'étude consiste à investiguer des techniques qui permettent le prélèvement d'aérosols ultra-fins directement sur des grilles de microscopie électronique à transmission, sans étape intermédiaire susceptible de modifier leur forme ou leur état d'agrégation. Un autre objectif est de s'approprier de nouvelles méthodes de caractérisation d'aérosols ultra-fins liées à la microscopie électronique : la détermination de la dimension fractale, traduisant l'agencement des particules primaires dans un agglomérat, est un des paramètres qu'il convient d'évaluer dans les études de caractérisation des aérosols aux postes de travail.

En outre de récentes études toxicologiques ont démontré que le paramètre de surface de poudres nanostructurées était un indicateur pertinent de leurs effets sur la santé. Or la méthode de référence pour déterminer la surface spécifique d'un matériau nécessite des quantités de matière incompatibles avec les faibles concentrations massiques d'aérosols nanostructurés rencontrés sur les lieux de travail. Dans le cadre de cette étude, il a été envisagé une méthode de mesure de surface spécifique, alternative basée sur l'analyse d'images issues de la microscopie électronique à transmission.

Enfin un dernier aspect de cette étude concerne l'automatisation de l'analyse chimique et morphologique de particules fines au microscope électronique à balayage : l'asservissement du déplacement de la platine permet la reconnaissance puis l'analyse morphologique et chimique d'un très grand nombre de particules dans le but soit de détecter des composés à des teneurs très faibles, soit d'obtenir des granulométries distinctes pour chaque composé d'un mélange.

#### **MÉTHODOLOGIE / TECHNIQUES DE PRÉLÈVEMENT**

Le Département s'est doté de deux appareils de prélèvements spécifiques permettant la collecte de particules directement sur des grilles de microscopie électronique à transmission. Ces appareils fonctionnent respectivement sur les principes de précipitations électrostatique et thermophorétique. Ils ont fait l'objet d'une caractérisation en termes d'efficacité de collecte sur la base du dénombrement au microscope électronique à transmission des particules collectées issues d'un aérosol de billes de polystyrène certifiées.

#### **MÉTHODOLOGIE / CARACTÉRISATION**

Dans le but d'accéder au critère de dimension fractale, les avantages relatifs au Box Counting ont amené à retenir cette méthode, malgré le fait que la plus couramment utilisée en métrologie des aérosols reste la méthode liée au diamètre de giration. Une fois la méthode de Box Counting validée sur la base du traitement de figures géométriques de dimension fractale ( $D_f$ ) connues, les résultats obtenus par les deux approches ont été comparés, dans le cadre d'une collaboration avec l'IRSN : à partir des mêmes clichés binarisés obtenus par microscopie électronique en transmission, la méthode de Box Counting et celle relative au diamètre de giration conduisent à des résultats similaires.

Afin d'évaluer les effets possibles sur la santé, cette étude avait également pour objectif d'accéder à la métrique «surface». Ainsi une nouvelle méthode de détermination de la surface spécifique a été développée, permettant de déterminer ce paramètre à partir d'une quantité infime de matière.

Enfin la mise en application de l'automatisation de l'analyse chimique et morphologique au microscope électronique à balayage nécessitait une validation préalable sur un mélange connu. Les proportions théoriques du mélange issues de la pesée ne sont pas retrouvées et surtout l'origine des écarts constatés n'a pu être établie.

## CONCLUSIONS

Les performances relatives des deux appareils de prélèvements spécifiques sont désormais connues : compte tenu de son efficacité de collecte très faible, le précipitateur thermophorétique paraît mal adapté aux prélèvements en hygiène industrielle. Le précipitateur électrostatique présente une efficacité de collecte supérieure mais nécessite que les particules à collecter soient chargées.

Concernant les outils de caractérisation, la méthode dite de Box Counting permet d'accéder à la dimension fractale d'agglomérats nanostructurés.

En outre, une méthode de mesure de la surface spécifique de particules nanostructurées, basée sur l'analyse d'images issues de la microscopie électronique en transmission, a été développée. Son avantage principal réside dans la faible quantité d'échantillon nécessaire à l'analyse. En effet, même pour de faibles concentrations en nombre de particules nanostructurées dispersées dans l'air, un prélèvement de quelques dizaines de minutes est suffisant pour l'appliquer. Enfin la mise en oeuvre de l'analyse chimique et morphologique automatique au microscope électronique à balayage est à parfaire.



Équipement  
de microscopie  
électronique  
(département MP)



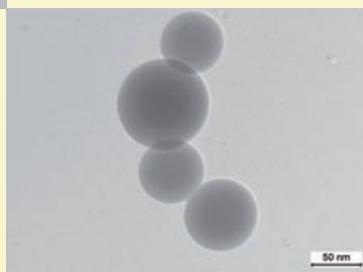
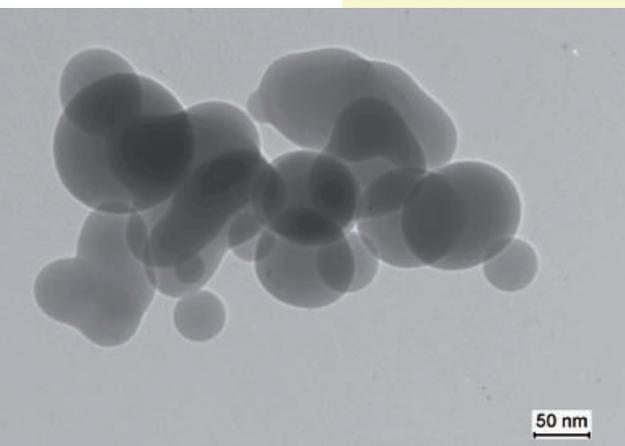
## CONTRIBUTION OF ELECTRON MICROSCOPY TO THE STUDY OF FINE AND ULTRA-FINE AEROSOLS – METHODOLOGICAL STUDY

The study consisted in investigating techniques that allow sampling of ultra-fine aerosols directly on transmission electron microscope grids. Indeed, it is desirable that the sampling of nanostructured particles allows their observation in the most direct way possible, to avoid any processing or manipulation that might affect their shape or particle size distribution. In this context, the Pollutant Metrology Department acquired two specific sampling systems, and this study established their collection efficiency.

In addition, this study was intended to come up with new ultra-fine aerosol characterisation techniques: a method to determine fractal dimension, which expresses the pattern of primary particles in a cluster, was developed.

Recent toxicological studies have shown that the surface parameter of nanostructured powders is a relevant indicator of their health effects. Our work allowed the development of a method to determine the specific surface by transmission electron microscopy from a minute sample mass.

Finally, this study was aimed at developing automatic chemical and morphological characterisation with a scanning electron microscope on samples of fine particles: plate movement control allows the recognition and analysis of a very large number of particles, enabling compounds with very low contents to be detected or distinct particle size analyses to be obtained for each compound of a mixture.



# RISQUES POUR LA REPRODUCTION

S'il est vraisemblable que la problématique « cancérogène et mutagène » est en grande partie traitée lors de la mise en œuvre de mesures de prévention vis-à-vis du risque « CMR », il n'en est pas de même des risques pour la reproduction qui recouvrent à la fois la problématique de la fertilité masculine et féminine, de la grossesse et du développement de l'enfant.

Les demandes reçues de la part de médecins du travail et l'analyse de la littérature internationale montrent qu'il est souhaitable d'approfondir ce sujet en se focalisant en premier lieu sur les risques pour la grossesse.

L'INRS vise à approfondir les connaissances toxicologiques relatives aux effets sur la reproduction et le développement fœtal et à assurer leur diffusion.

## TOXICITÉ DU DÉVELOPPEMENT DE PHTALATES CHEZ LE RAT

Anne-Marie SAILLENFAIT

DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

### OBJECTIFS

Les phtalates ou esters phtaliques sont très utilisés comme plastifiants pour les matières plastiques et les élastomères. Les études chez le rat indiquent que tous n'ont pas la même toxicité. Elle paraît liée à leur structure chimique, et plus particulièrement à la longueur de la chaîne ester. Outre une mortalité embryonnaire et des malformations morphologiques, l'exposition à certains d'entre eux pendant la gestation provoque des altérations majeures du développement de l'appareil reproducteur mâle.

Cette étude chez le rat a pour objectifs :

- d'évaluer la toxicité pour le développement de phtalates pour lesquels il y avait peu, ou pas de données disponibles,
- d'apporter des éléments permettant de mieux appréhender la relation entre la structure et la toxicité des composés de cette famille chimique.

### MÉTHODOLOGIE

Cinq phtalates ont été étudiés séparément : deux phtalates ayant une chaîne ester en C6, les phtalates de di-n-hexyle (DnHP) et de cyclohexyle (DCHP), et trois phtalates en C3, les phtalates de di-n-propyle, de diallyle, et diisobutyle (DIBP).

Des études standards de toxicité pour le développement prénatal ont été réalisées (ligne directrice 414 de l'OCDE) : des rates ont été traitées à des doses croissantes pendant la gestation, et leurs fœtus ont été examinés afin de rechercher d'éventuelles altérations externes des visières et du squelette.

En raison des effets du DIBP et du DnHP sur l'appareil reproducteur des fœtus mâles, des investigations à plus long terme ont été également conduites avec ces deux substances. Les mères ont été traitées pendant la gestation, et les descendants mâles ont été examinés de la naissance à l'âge adulte. Des indicateurs du développement sexuel mâle ont été spécifiquement examinés.

### RÉSULTATS

Seuls le DIBP et le DnHP ont provoqué une mortalité embryonnaire et des anomalies majeures chez le fœtus. Elles concernaient notamment le squelette, le système nerveux, l'œil, et/ou le système cardiovasculaire. Ils ont également provoqué des malformations du tractus génital et des modifications des caractères sexuels chez les descendants mâles (ex : réduction de la distance ano-génitale, présence de mamelons, cryptorchidies, hypospadias, atrophie des tubes séminifères). Ces effets induits in utero persistent chez l'adulte, et sont comparables à ceux d'autres phtalates en C4-C6, comme les phtalates de di-n-butyle et de di-2-éthylhexyle. L'incidence et la sévérité des altérations suivent une relation effet-dose.

### CONCLUSIONS

L'étude a mis en évidence les propriétés tératogènes du DIBP et du DnHP et leurs effets sévères et spécifiques sur le développement de l'appareil reproducteur mâle.

Ces résultats confirment qu'en l'absence de données expérimentales acceptables, une chaîne ester comprenant une portion linéaire de quatre à six carbones doit constituer une alerte. Toutefois, d'autres phtalates peuvent aussi avoir des effets toxiques plus ou moins marqués sur le développement prénatal, en particulier sur le testicule fœtal (ex : DIBP).

Le laboratoire poursuit l'évaluation de la toxicité pour le développement prénatal de phtalates chez le rat par deux études en cours portant sur :

- Influence de la structure chimique sur la toxicité du développement des phtalates,
- Phtalates – Mode d'action reprotoxique.

## DEVELOPMENTAL TOXICITY OF PHTHALATES IN THE RAT

Phthalates represent over 90 % of the plasticizers currently used in Europe. Laboratory studies on animals have shown that certain of them affect embryonic and/or foetal development. The most worrying effects of in utero exposures are perturbations of sexual differentiation among male offspring, resulting in anomalies of the genital organ. Several phthalates are regulated within the European Union due to these properties (classified and labelled toxic to reproduction, category 2 or 3).

This study in the rat was intended to assess the developmental toxicity of three phthalates with a C<sub>3</sub> main ester chain, namely di-n-propyl, diallyl and diisobutyl phthalates, and two C<sub>6</sub> phthalates, di-n-hexyl and dicyclohexyl phthalates.

It allowed:

- demonstration that exposure to diisobutyl phthalate or to di-n-hexyl phthalate during pregnancy can cause intra-uterine death, malformations and, more particularly, serious and irreversible deterioration of the reproductive system of male descendants,
- definition of the doses of these five substances with no toxic effect,
- better identification of the relationship between the structure and the toxic activity of the compounds of this chemical family.

These new data contribute to a better appreciation of the risks linked to these substances, and underline the need to take appropriate measures to protect the health of pregnant employees.



## ACTIONS EN COURS EN 2010

En 2010, 118 études sont inscrites au programme études & recherche : études nouvelles ou déjà engagées. Elles sont présentées par thématique du cadrage stratégique de l'INRS.

La transversalité au travers d'études impliquant plusieurs disciplines et plusieurs métiers issus de départements différents, s'est accentuée ces dernières années. 14 % d'études inscrites au programme 2009 étaient pluridisciplinaires. L'objectif est d'augmenter progressivement cette proportion qui atteint déjà 20 % en 2010.

À titre d'exemple, les actions ci-dessous sont menées dans le cadre d'études transversales :

- Dynamiques organisationnelles et prévention
- Exposition au béryllium en France. Caractérisation, prévention, diffusion des connaissances
- Étude des procédés de métallisation : caractérisation des aérosols émis et surveillance biologique des opérateurs
- Mannequins mécaniques et numériques au service de la prévention
- Programme nanoparticules

À souligner en termes de perspectives pour 2010-2011, qu'un effort particulier sera mis sur les thématiques nanoparticules, risques psychosociaux, vieillissement, TMS et risques pour la reproduction.

## ACTIONS IN PROGRESS IN 2010

In 2010, 118 studies are to be found in the studies and research programme, these being new studies or studies already committed to. They are presented by topic in the strategic framework of INRS.

Transversal studies involving several disciplines and several professions from different departments have grown in recent years. 14 % of the studies listed in the 2009 programme were multidisciplinary.

The aim is to gradually increase this proportion, which has already reached 20 % in 2010.

As an example, the actions below are being conducted within the framework of transversal studies:

- Organisational dynamics and prevention
- Exposure to beryllium in France. Characterisation, prevention, knowledge dissemination
- Metallization process study: characterisation of the aerosols emitted and biological monitoring of operators
- Mechanical and numerical models for use in prevention
- Nanoparticle programme

Worthy of note in terms of the outlook for 2010-2011 is that special effort will be put into the following topics: nanoparticles, psychosocial risks, ageing, MSDs, and risks to reproduction.

Titres

Responsables

### Accidentologie, perception du risque et acceptabilité

Les accidents de plain-pied : cas des perturbations d'équilibre en situation professionnelle	Sylvie LECLERCO
Analyse coût-bénéfice d'actions de prévention en entreprise	Christian TRONTIN
Évaluation de l'impact de la formation initiale en santé et sécurité au travail sur la survenue d'accidents au travail chez les moins de 30 ans	Stéphanie BOINI
Efficacité des produits de communication en prévention : influence des modalités d'utilisation	Christian DAVILLERD

### Allergies professionnelles

Signes d'irritation et santé respiratoire chez des éducateurs d'activités physiques et sportives exposés aux chloramines	Valérie DEMANGE
Développement d'un test in vitro d'identification de sensibilisants chimiques	Elsa PEPIN
Recherche de l'effet immunotoxique local précoce et adjuvant de particules respirables de silice et d'oxyde de fer dans un modèle murin	Masarin BAN

### Bruits, vibrations, champs électromagnétiques et optique

Modélisation acoustique des écrans et cloisons dans les locaux bruyants	Patrick CHEVRET
Techniques d'antennerie et d'intensimétrie acoustiques pour le diagnostic vibro-acoustique des machines en milieu industriel	Armand NEJADE
Développement de méthodes de caractérisation in situ des propriétés acoustiques des parois dans les locaux industriels	Jacques CHATILLON
CatRayon « Spectacle » - Outil pour déterminer l'exposition énergétique aux dispositifs d'éclairage scénique	Serge SALSI
Presbycusie chez le rat préalablement exposé à du bruit ou à un solvant	Pierre CAMPO
Test auditifs « objectifs » dans la prévention des risques de surdité professionnelle : une alternative à l'audiométrie tonale	Pierre CAMPO Thomas VENET
Aide à la mise en œuvre du décret Vibration pour les opérateurs de machines vibrantes tenues à la main	Éric CARUEL
Bilan des expositions aux rayonnements électromagnétiques et évaluation des moyens de prévention	Philippe DEMARET

### Cancers professionnels

Étude par inhalation de la génotoxicité de l'oxyde de styrène et du styrène chez le rat	Laurent GATE
Estimation des fractions de cancer du poumon attribuables aux expositions professionnelles reconnues : une étude cas-témoin de population générale	Ève BOURGKARD

Titres

Responsables

**Cancers professionnels (suite)**

Cancer de la vessie et brouillards d'huile : étude de cohorte prospective dans des populations professionnelles issues de la sidérurgie du Nord-Pas de Calais	Ève BOURGKARD
---	---------------

**Conception des équipements, des lieux et des situations de travail**

Étude d'une aide logicielle à l'aménagement de locaux de travail	Frédéric GARDEUX
Apports et limites des modèles anthropométriques numériques pour l'évaluation ergonomique de postes de travail	Jonathan SAVIN
Étude d'instruction : de la simulation de conduite de chariot à la simulation de conduite de l'activité dans le secteur de la logistique	Pierre LEMERLE
Développement et validation d'algorithmes de mannequins numériques pour l'évaluation des facteurs de risques biomécaniques en conception	Jonathan SAVIN
Nettoyabilité de revêtements de sols dans les industries agroalimentaires	Henri SAULNIER
Gestion de l'équilibre d'un mannequin virtuel dans un environnement fortement perturbé	Pierre LEMERLE
Comparaison de méthodes de mesure du coefficient de frottement de revêtements de sol	Henri SAULNIER
Outils pour la sensibilisation à la prévention des risques professionnels en maintenance industrielle	Jean-Christophe BLAISE
Outils d'aide au choix de mesures de prévention en conception : base de données et gestion de processus	Bruno DAILLE-LEFEVRE

**Déchets et recyclage**

Inflammation des voies aériennes et exposition microbiologique des travailleurs des plates-formes de compostage : une étude longitudinale	Valérie DEMANGE
Risques chimiques liés aux opérations de récupération et recyclage des métaux	François DIEBOLD
Réduction du risque chimique lors des opérations de broyage mises en œuvre dans les activités de traitement des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE)	Marie-Thérèse LECLER
Risques chimiques liés aux traitements des déchets de bois dangereux	Pascal POIROT

**Nanotechnologies et nanoparticules**

Évaluation par instillation intrachéale de la toxicité pulmonaire de particules d'oxydes de fer nano et submicrométriques chez le rat	Laurent GATE
Recherche et développement de systèmes de génération de nanoaérosols adaptés aux études de toxicologie. Etude méthodologique	Laurent GATE, Sébastien BAU Frédéric COSNIER
Étude de transfert de l'aluminium vers le cerveau par la voie olfactive	Monique CHALANSONNET

Titres

Responsables

### Nanotechnologies et nanoparticules (suite)

Études des effets génotoxiques in vitro de particules de silices nanostructurées issues de différents procédés de fabrication	Yves GUICHARD Christian DARNE
Génotoxicité in vitro et in vivo des nanomatériaux : projet d'action conjointe	Yves GUICHARD, Laurent GATE Christian DARNE
Cytotoxicité et pouvoir transformant de nanotubes de carbone commerciaux sur les cellules embryonnaires de hamster syrien (SHE)	Christian DARNE
Étude des filières agents chimiques	Raymond VINCENT
Nanoparticules : Métrologie et caractérisation des expositions professionnelles.	Olivier WITSCHGER Peter GORNER
Perception et évaluation des risques liés aux nano-objets : pour quelles perspectives de gestion ?	Éric DRAIS
Vers une nouvelle approche de la santé et de la prévention face aux risques émergents : cas des nanoparticules	Bernadette VENNER
Évaluation de l'efficacité de différents dispositifs de protection collective utilisés pour la production ou la manipulation de nanoparticules manufacturés	Jean-Raymond FONTAINE

### Organisation, santé, sécurité et bien-être au travail

Préparation et réalisation des activités de maintenance. Analyses en entreprise et implications pour la prévention	Corinne GRUSENMEYER
Dynamiques organisationnelles et prévention	Martine FRANÇOIS Évelyne MORVAN
Étude de faisabilité : la propagation des effets des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC) sur les salariés dans la logistique	Virginie GOVAERE

### Risques biologiques

Métrologie des bioaérosols	Philippe DUQUENNE Peter GORNER
Développement de méthodes d'échantillonnage et d'analyse de mycotoxines dans l'air des lieux de travail	Danièle JARGOT
Étude de la mise en suspension des micro-organismes en vue de développer et de caractériser des méthodes d'échantillonnage et d'analyse d'agents biologiques dispersés dans l'air	Xavier SIMON Philippe DUQUENNE Peter GÖRNER
Caractérisation des sous-produits gazeux et particulaires issus de la dégradation photocatalytique de bio-aérosols	Fabien GERARDIN
Comportement des aérosols microbiens dans les systèmes de ventilation d'espaces occupés	Denis BEMER

Titres

Responsables

## Risques chimiques

Réalisation d'un outil de cartographie d'exposition au poste de travail	Patrick MARTIN
Le dosage du béryllium par ICP-MS dans l'atmosphère des lieux de travail	Davy ROUSSET
Utilisation d'un badge passif pour le prélèvement d'amiante chez des travailleurs du second œuvre du bâtiment	Céline EYPERT-BLAISON Anne VUONG HUU LE
Prélèvements et analyses de polluants atmosphériques organiques	Eddy LANGLOIS Danièle JARGOT
Nouveaux outils pour la surveillance biologique : 3 <sup>ème</sup> phase	Patrice SIMON
Surveillance biologique de l'exposition aux métaux dans la fabrication d'aciers réfractaires	Francis PIERRE
Surveillance biologique de l'exposition au chrome dans l'industrie du chromage électrolytique	Nadège JACOBY
Suivi urinaire de salariés lors d'une exposition au béryllium dans l'industrie française	Jean-François HEILIER
Spéciation du chrome dans les particules en suspension dans l'air. Utilisation du couplage chromatographie en phase liquide-spectrométrie de masse à plasma induit	Michel DOROTTE
Étude des procédés de métallisation : caractérisation des aérosols émis et surveillance biologique des opérateurs	Nadège JACOBY
Mise au point du dosage urinaire de trois herbicides dérivés de l'urée et de leurs métabolites représentatifs	Alain ROBERT Philippe DUCOS
Surveillance biologique de l'exposition professionnelle aux médicaments cytotoxiques. Étude de terrain	Sophie NDAW
Exposition professionnelle à la N-méthylpyrrolidone : état des lieux	Benoît COSSEC
Confirmation de la pertinence de l'emploi du 3-hydroxybenzo[a]pyrène comme indicateur biologique d'exposition aux hydrocarbures aromatiques polycycliques	Patrice SIMON
Indicateurs d'exposition au toluène : évaluation chez le rat des perturbations métaboliques reliées à une co-exposition	Frédéric COSNIER
Développement d'un prototype de capteur d'exposition chimique sélectif aux aromatiques monocycliques	Bruno GALLAND Patrick MARTIN
Évaluation biologique de l'exposition professionnelle au phtalate de di(2-éthylhexyle) (DEHP) liée au port de gants vinyle	René GAUDIN
Création d'une base de données sur la composition chimique des matériaux fibreux	Davy ROUSSET Sarah BURZONI
Méthodologie d'évaluation simplifiée des risques chimiques : mise à jour et amélioration de la méthode existante ; pré-étude de l'application informatique	Raymond VINCENT Sarah BURZONI Francis BONTHOUX
Exposition au béryllium en France. Caractérisation ; prévention ; diffusion des connaissances	Davy ROUSSET
Évaluation de l'exposition professionnelle par inhalation aux amides (formamide ; acétamide et homologues)	Eddy LANGLOIS, Benoît OURY Bertrand HONNERT
Développement d'un modèle empirique de l'exposition professionnelle aux agents chimiques à l'aide de la base de données COLCHIC	Raymond VINCENT Nicolas BERTRAND

Titres

Responsables

## Risques chimiques (suite)

Risques chimiques liés à l'exposition aux principes actifs pulvérulents lors de la fabrication de médicaments	Catherine CHAMPMARTIN
Utilisation des paramètres tridimensionnels de solubilité pour la définition d'un outil prédictif de choix des matériaux polymériques de protection cutanée des mains	Alain CHOLLOT
Validation des méthodes de terrain pour évaluer l'étanchéité d'ajustage des masques respiratoires	Sandrine CHAZELET
Vérification des performances des APR filtrants après stockage avant utilisation	Sandrine CHAZELET
Évaluation de procédés d'épuration de l'ammoniac en milieu professionnel	Philippe FERRARI
Développement d'outils de prédiction et de détection de la durée de vie des médias adsorbants - Applications au domaine des vapeurs organiques	Stéphanie MARSTEAU Bruno GALLAND
Recherche de solutions technologiques pour l'atténuation d'émission de particules provoquée par la circulation de véhicules	Fabien GERARDIN
Réduction des risques induits par le broyage	Éric SILVENTE
Filtration et adsorption	Denis BEMER
Modélisation pour la Prévention de la Pollution	Jean-Raymond FONTAINE
Mesure des flux de polluants particulaires (aérosols) dans les conduits de ventilation industrielle	Roland REGNIER Denis BEMER
Méthodes d'évaluation des émissions de poussières de farine	Francis BONTHOUX
Ventilation des tables de découpe automatisée des métaux	Robert BRACONNIER
Captage de fibres céramiques réfractaires sur poste fixe	Jean-Claude SERIEYS
Évaluation technico-économique de dispositifs de ventilation intégrant une récupération d'énergie	Roland RAPP
Modélisation de l'absorption percutanée de toxiques industriels : prise en compte du caractère amphiphile des substances et de l'épaisseur de la peau	Jean-Paul PAYAN Dominique BEYDON
Absorption percutanée de la 1-vinyl-2-pyrrolidone in vivo et ex vivo chez le rat	Fabrice MARQUET Jean-Paul PAYAN
Passage percutané d'herbicides dérivés de 2,4-dichlorophénoxyacides : relation structure-activité	Jean-Paul PAYAN Dominique BEYDON

## Risques mécaniques

Estimation de l'efficacité de systèmes de retenue pour caristes : élaboration d'une procédure d'essai	Jérôme REBELLE
Intervention sur un équipement de travail : quelles mesures de sécurité ?	Jean-Christophe BLAISE
PRECEP : PREvention des Collisions Engins-Piétons	Pascal LAMY

Titres

Responsables

**Risques psychosociaux : stress, violence interne et externe**

Étude des mécanismes de régulations de l'isolement professionnel	Jacques MARC
Veille scientifique via un groupement de recherche « psychologie ergonomique » du CNRS	Florence HELLA Michel BERTHET
Émotions au travail et santé : comparaison entre différentes situations à forte charge émotionnelle	Corinne VAN DE WEERDT
Des risques psychosociaux aux facteurs organisationnels : approche par un questionnaire Santé/bien-être	Vincent GROSJEAN
Promotion d'une politique de bien-être dans les entreprises du tertiaire	Vincent GROSJEAN
Prévention des risques psychosociaux et transformation des pratiques de médecine du travail	Blandine BARLET Éric DRAIS
Modélisation de Situations de Violences au Travail (MSVT)	Marc FAVARO

**Risques pour la reproduction**

Influence de la structure chimique sur la toxicité du développement des phtalates	Anne-Marie SAILLEFAIT
Étude du mode d'action reprotoxique de phtalates : cas du phtalate de di-n-hexyle	Anne-Marie SAILLEFAIT

**Risques routiers professionnels**

Détection de surcharge sur les Véhicules Utilitaires Légers : apport des dispositifs techniques	David TIHAY
---	-------------

**Troubles musculo-squelettiques et lombalgies**

Étude de la répartition de la force d'appui sur les protecteurs de genoux	Patrice MARCHAL
Influence de la manipulation des articles sur les principaux déterminants des facteurs de risques de TMS générés par l'activité d'encaissement dans la grande distribution	Jean-Pierre ZANA Jean-Louis POMIAN
Prévenir les troubles musculo-squelettiques des membres supérieurs en variant les conditions de réalisation d'une même tâche	Clarisse GAUDEZ

**Vieillesse, travail et santé**

Démarche d'évaluation globale des pénibilités du travail	Kevin DESBROSSES Jean-Pierre MEYER Emmanuelle TURPIN-LEGENDRE
Âge, santé et travail	Martine GILLES, Isabelle TITON

## PARTENARIATS

### AMÉLIORATION DE LA CONNAISSANCE PAR L'APPORT DE COMPÉTENCES COMPLÉMENTAIRES

Les partenariats scientifiques constituent depuis de nombreuses années le cadre de travail des équipes de recherche de l'INRS. L'ouverture vers les universitaires, les organismes nationaux et internationaux et les instituts homologues est présente en 2009-2010 dans 50% des actions d'études et recherche.

Certains partenariats prennent la forme d'« unités mixtes », entités constituées de laboratoires extérieurs et de laboratoires INRS. En 2009, 5 « unités mixtes » sont recensées dans les domaines suivants :

- Modélisation pour la prévention de la pollution : entre le laboratoire d'Énergétique et Mécanique Théorique et Appliquée (CNRS et Université Henri Poincaré, Nancy) et le département IP, convention 2008-2011.
- Accidents de plain-pied : entre le laboratoire Mouvement et Perception de l'Université de la Méditerranée, le laboratoire Paragraphe de l'Université Paris VIII et le département HT, conventions 2008-2012.
- Filtration et Adsorption entre le laboratoire des réactions et du génie des procédés (CNRS et Université Henri Poincaré, Nancy) et le département IP convention 2008-2011.
- Acoustique des parois entre le laboratoire de Biomathématiques et d'Audioprothèse de l'Université Henri Poincaré, Nancy et le département IET, convention 2008-2012.
- Approche « santé / bien-être » entre l'Université Nancy II et le département HT, convention 2007-2012.

Les partenariats développés par l'INRS constituent également un cadre propice au recrutement et à l'accueil de doctorants. En 2009, 10 thèses ont enrichi les travaux de recherche de l'INRS et 15 sont en cours en 2010.

L'INRS apporte un appui scientifique et/ou technique aux politiques publiques nationales, européennes et internationales : contributions aux plans nationaux (PST et PNSE principalement), partenariats et implications dans les instances internationales (OMS, BIT, AISS, UE...) et campagnes internationales. Dans ce cadre :

- un programme sur les nanoparticules intitulé « Nanodevice » a commencé en 2009. Financé par la DG Recherche de la Commission européenne, ce projet européen coordonné par le FIOH vise spécifiquement au développement de nouvelles techniques/méthodes pour la caractérisation des nanoparticules en atmosphères de travail.
- un second programme « Nanogenotox » a débuté en 2010 avec 16 partenaires européens de 11 pays. Il est financé par la DG Santé publique et protection des consommateurs de la Commission européenne (2010-2012).

Afin de renforcer sa collaboration scientifique européenne, l'INRS participe au réseau européen PEROSH (Partnership for European Research in Occupational Safety and Health). Ce réseau, qui rassemble 13 Instituts européens (BAuA, IFA, CIOP, FIOH, HSL, INRS, INSHT, ISPESL, NRCWE, PREVENT, STAMI, TNO, VUPB), a pour objectif de mieux coordonner les programmes de recherche des différents instituts, d'initier des projets collaboratifs sur des sujets d'intérêts communs et d'améliorer la prise en compte de l'hygiène et de la sécurité au travail dans les programmes européens de recherche.

Dans ce cadre, l'INRS participe à 5 projets de recherche, dont les thèmes sont : toxicité des nanoparticules, métrologie des nanoparticules, TMS, vieillissement, équipements de protection. L'Institut assure depuis 2008 la vice-présidence du réseau PEROSH ([www.perosh.eu](http://www.perosh.eu)).

Suite à un appel d'offres européen, l'INRS est partenaire du centre thématique Santé et Sécurité au Travail de l'Agence européenne de santé au travail de Bilbao.

Dans le cadre des activités de recherche sur les effets ototoxiques des produits chimiques, seuls ou en combinaison avec le bruit, l'agence publiera un rapport d'experts auquel l'INRS a participé, pour :

- proposer une réduction de la VME du styrène à 30 ppm ;
- modifier Directive européenne 2003/10/EC : port du protecteur auditif dès 80 dB(A) en cas de co-exposition à des ototoxiques.

Concernant les actions relatives au bruit, le département IET poursuit sa collaboration avec l'IRSST, homologue québécois. L'INRS a engagé depuis longtemps des collaborations sur le sujet des encoffrements de machines. Démarrée en 2009, une collaboration sur le sujet des protecteurs individuels contre le bruit sera prolongée en 2010.

L'INRS assure également la présidence du comité recherche de l'AISS. Il apporte son soutien aux activités des comités AISS et sa participation aux comités secteur santé ainsi qu'au comité chimie et au comité éducation et formation.



## PARTNERSHIPS

### IMPROVING KNOWLEDGE BY THE CONTRIBUTION OF COMPLEMENTARY SKILLS

Scientific partnerships have constituted the working framework of the INRS research teams for many years. 50 % of the 2009-2010 study and research actions include cooperative alliances with universities, national and international bodies, and counterpart institutes.

Certain partnerships take the form of « mixed units », entities made up of external laboratories and INRS laboratories. In 2009, five « mixed units » were recorded in the following areas:

- Pollution Prevention Modeling - unit associating the Theoretical and Applied Energy and Mechanics Laboratory (CNRS - Henri Poincaré University) and the Process Engineering division (INRS), agreement 2008-2011.
- Accidents on the level - unit associating the Mediterranean University (Marseille), University Paris VIII and the Working Life division (INRS), agreement 2008-2012.
- Filtration and Adsorption - unit associating the Reactions and Process Engineering Laboratory (CNRS - Henri Poincaré University) and the Process Engineering division (INRS), agreement 2008-2011.
- Panel Acoustics - unit associating the Biomathematics and Audioprosthesis Laboratory (Henri Poincaré University) and the Work Equipment Engineering division (INRS), agreement 2008-2012.
- “Health/well-being” approach – unit associating University of Nancy II and the Working Life division (INRS), agreement 2007-2012.

The partnerships developed by INRS also constitute a framework auspicious to the recruitment and reception of doctoral students. In 2009, 10 theses enriched the research work of INRS and 15 are in progress in 2010.

INRS contributes, in scientific and/or technical matters, to national, European and international public policies: contributions to national plans (PST, Plan Santé au Travail, and PNSE, Plan National Santé, Environnement... principally), partnerships and involvement in international bodies (WHO, ILO, ISSA, EU, etc.) and international campaigns.

In this respect:

- a programme on nanoparticles entitled « Nanodevice » started in 2009. Funded by the Research Executive of the European Commission, this European project, co-ordinated by FIOH, is aimed specifically at developing new techniques/methods to characterise nanoparticles in workplace atmospheres.
- a second programme, « Nanogenotox », got underway in 2010 with 16 European partners from 11 countries. It is funded by the DG (Directorate General) «Public Health and Consumer Protection» of the European Commission (2010-2012).

To strengthen its European scientific collaboration, INRS participates in the European PEROSH (Partnership for European Research in Occupational Safety and Health) network. This network, which brings together 13 European institutes (BAuA, IFA, CIOP, FIOH, HSL, INRS, INSHT, ISPESL, NRCWE, PREVENT, STAMI, TNO, VUPB), aims to better co-ordinate the research programmes of the different institutes, initiate collaborative projects on subjects of common interest, and improve how occupational safety and health is taken into account in European research programmes.

In this context, INRS takes part in five research projects, the topics of which are: nanoparticle toxicity, nanoparticle metrology, MSDs, ageing, protective equipment. The institute has, since 2008, ensured the vice-chairmanship of the PEROSH network ([www.perosh.eu](http://www.perosh.eu)).

Further to a European call for tender, INRS is a partner in the Health and Safety Topic Centre of the Bilbao health and safety agency.

Within the framework of the research activities on the ototoxic effects of chemicals, alone or in combination with noise, the agency will publish an expert report, which INRS participated in, with a view to:

- proposing a reduction in the ELV of styrene to 30 ppm;
- modifying European Directive 2003/10/EC: wearing a hearing protection device from 80 dB(A) onwards in the case of co-exposure to ototoxic substances.

Concerning the actions relative to noise, the Work Equipment Engineering division is pursuing its collaboration with IRSST, our counterpart in Quebec. INRS has long been committed to collaborations on the subject of machinery enclosures. Started in 2009, collaboration on the subject of hearing protection devices will be prolonged into 2010.

INRS also ensures the chairmanship of the research committee of ISSA. It supports the ISSA committees and participates in the health sector committee as well as the chemistry committee and the education and training committee.

## PUBLICATIONS DE L'ANNÉE 2009

**Les résultats des études et recherche font l'objet de publications scientifiques et techniques. Les publications de l'année 2009 sont parues dans des revues internationales à comité de lecture, dans des revues nationales avec ou sans comité de lecture, et d'autres types de publications détaillées ci-dessous :**

**71 articles sont parus en 2009, dont :**

- 29 dans des revues internationales à comité de lecture, (dont 2 articles dans « Toxicological sciences » / 1 article dans « Occupational and Environmental Medicine » / 1 article dans « Reproductive Toxicology » / 1 article dans « Scandinavian Journal of Work, Environment and Health »),
- 14 dans des revues nationales (dont 3 dans « Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement »),
- 28 dans des revues de l'INRS.

**Ainsi que :**

- 9 chapitres dans des ouvrages, dont 3 dans l'avis d'experts « La sous-traitance interne »,
- 27 actes de congrès,
- 7 notes scientifiques et techniques de l'INRS (dont 3 issues de thèses soutenues à l'INRS).

### COLLECTION AVIS D'EXPERT

Par ailleurs, depuis 2004 une collection appelée « Avis d'expert » coordonnée par l'INRS est publiée en collaboration avec EDP Sciences. Elle vise à poser les bases de l'expertise scientifique d'un sujet. En 2009, deux nouveaux Avis sont venus enrichir la collection :

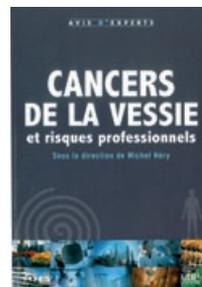
#### LA SOUS-TRAITANCE INTERNE

À partir de la réflexion des spécialistes des questions de santé au travail, mais surtout des témoignages de nombreux acteurs du secteur (chefs d'entreprise et responsables CHSCT, donneurs d'ordres et sous traitants, gestionnaires de systèmes de management de la sécurité, préventeurs), cet Avis d'Experts coordonné par Michel Héry de l'INRS en collaboration avec 22 auteurs, dresse un tableau des conditions d'exercice de la sous-traitance.



#### CANCERS DE LA VESSIE ET RISQUES PROFESSIONNELS

Bien que les expositions aux cancérogènes pour la vessie aient fortement diminué en France au cours des vingt dernières années, plusieurs centaines de cas sont encore attribuables à ces expositions passées. En outre, de façon plus diffuse, des expositions interviennent encore au quotidien. Les contributions de plus d'une trentaine des spécialistes de la question sont rassemblées dans cet ouvrage collection, dirigé par Michel Héry, qui constitue un bilan de la question et qui propose aussi des pistes pour agir.



Dans la même collection, sont antérieurement parus les titres suivants :

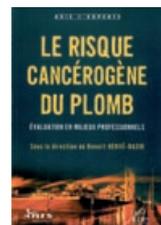
### L'ÉMERGENCE DES RISQUES

L'ouvrage rédigé en 2008 à l'initiative de l'INRS, sous la direction de Jean-Marie Mur, présente 16 contributions qui tentent de montrer à partir d'exemples concrets, comment appréhender l'émergence d'un risque. Cette contribution plaide résolument pour le renforcement de la dynamique des liens entre tous les acteurs concernés dans un contexte de crise venant transformer le contexte de santé publique, qu'il s'agisse de risques sanitaires avérés ou de phénomènes d'inquiétudes.



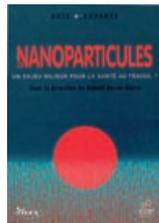
### CANCÉROGÉNÉCITÉ DU PLOMB

Ouvrage de synthèse évaluant le risque cancérigène lié au plomb en milieu de travail. L'avis d'experts a été rédigé en 2004 par 10 experts sous la direction de Benoît Hervé-Bazin, de l'INRS. Il fait le point sur le plomb et les risques que ce métal représente pour les personnes professionnellement exposées.



### NANOPARTICULES : UN ENJEU MAJEUR POUR LA SANTÉ AU TRAVAIL ?

Cet avis d'experts a été rédigé en 2007 sous la direction de Benoît Hervé-Bazin, de l'INRS, auquel 15 autres experts ont contribué. Il présente un état des connaissances scientifiques sur les nanoparticules, leurs caractéristiques, leurs voies de pénétration dans l'organisme...



### LA QUESTION DE LA PRÉCAUTION EN MILIEU PROFESSIONNEL

Cet ouvrage collectif consacré au principe de précaution a été rédigé en 2006 sous la direction d'Olivier Godard, du CNRS, avec le concours de 10 experts de l'Institut. Il présente le concept de précaution en milieu professionnel et se pose comme une étape dans la réflexion sociétale, économique et technique concernée par ce principe.



## COMMUNICATIONS 2009

Les chercheurs de l'INRS participent chaque année à de nombreux congrès nationaux et internationaux : 109 communications ont été présentées dans différentes manifestations en 2009, dont 41 dans des congrès à l'étranger et l'INRS a été particulièrement présent :

- au Colloque du Comité AISS Recherche (Dresde, octobre) : 7 communications ;
- au 29<sup>ème</sup> Congrès International de santé au travail (Le Cap, mars) : 6 communications ;
- au 24<sup>ème</sup> Congrès français sur les Aérosols (Paris, janvier) : 5 communications ;
- au 12<sup>ème</sup> Congrès français de Génie des Procédés (Marseille, octobre) : 5 communications ;
- à la 9<sup>ème</sup> Conférence internationale de Ventilation industrielle (Zurich, octobre) : 3 communications.

L'INRS a par ailleurs organisé, en partenariat avec 11 autres organismes, le colloque « Prévenons les cancers professionnels » à Paris en novembre 2009. 6 communications ont été présentées par les spécialistes de l'INRS à cette occasion.

## PUBLICATIONS IN 2009

The studies and research results are published in scientific and technical journals. The publications of the year 2009 appeared in international journals with a review committee, in national journals with or without a review committee, and in other types of publications detailed below:

### 71 articles were published in 2009:

- 29 in international journals with a review committee, (including two articles in « Toxicological sciences », one article in « Occupational and Environmental Medicine », one article in « Reproductive Toxicology », and one article in « Scandinavian Journal of Work, Environment and Health »),
- 14 in national journals (including three in « Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement »),
- 28 in INRS journals.

### As well as :

- 9 chapters in various works, including three in the expert view « Internal sub-contracting »,
- 27 congress proceedings,
- 7 INRS scientific and technical notes (including three theses supported by INRS).

## EXPERT OPINION COLLECTION

In addition, since 2004 a compilation coordinated by INRS has been published called « Avis d'expert » (expert opinion) in collaboration with EDP Sciences. It aims to lay the basis for the scientific appraisal of a subject. In 2009, two new expert views arrived to enrich the compilation:

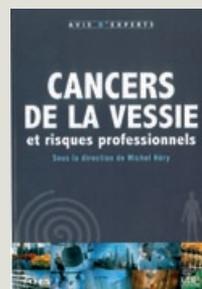
### INTERNAL SUB-CONTRACTING

Based on the consideration given by experts on health and safety issues, but more especially factual accounts of many actors in the sector (directors of enterprises and health and safety committee managers, order givers and sub-contractors, safety management system managers and prevention professionals), this expert view, coordinated by Michel Héry of INRS in collaboration with 22 authors, draws up a table of the conditions of carrying out sub-contracting.



### BLADDER CANCERS AND OCCUPATIONAL RISKS

Although exposures to substances carcinogenic for the bladder have greatly reduced in France over the past twenty years, several hundred cases are still attributable to past exposures. In addition, exposures still occur on a daily basis. The contributions of over thirty specialists in this field are compiled in this collection, which was overseen by Michel Héry. It constitutes an in-depth review of the issue and also proposes areas of action.



In the same collection, the following titles have recently appeared:

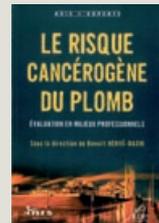
#### RISK EMERGENCE

This work, written in 2008 on the initiative of INRS and directed by Jean-Marie Mur, presents 16 contributions that attempt to show from concrete examples how to come to terms with the emergence of a risk. This contribution makes a firm appeal for strengthening the dynamic of the links between all the players involved, in a context of a crisis which is transforming the context of public health, be the issue proven health risks or worrying phenomena.



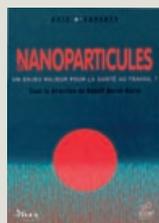
#### CARCINOGENEITY OF LEAD

Overview assessing the carcinogenic risk linked to lead in the workplace. This expert opinion was drawn up in 2004 by 10 experts directed by Benoît Hervé-Bazin of INRS. It reviews lead and the risks that this metal represents for occupationally exposed people.



#### NANOPARTICLES: A MAJOR CHALLENGE FOR OCCUPATIONAL HEALTH?

This expert view, headed by Benoît Hervé-Bazin of INRS, and to which 15 other experts contributed, was drawn up in 2007. It presents an overview of the current state of scientific knowledge on nanoparticles, their characteristics, their paths of penetration into the body, etc.



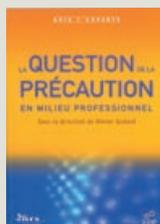
#### 2009 PRESENTATIONS

Each year, INRS researchers take part in numerous national and international congresses: 109 presentations were given at different events in 2009, including 41 at foreign congresses. In particular, INRS was present:

- at the ISSA Research Committee seminar (Dresden, October): 7 presentations;
- at the 29<sup>th</sup> International Occupational Health Congress (Le Cap, March): 6 presentations;
- at the 24<sup>th</sup> French Congress on Aerosols (Paris, January): 5 presentations;
- at the 12<sup>th</sup> French Process Engineering Congress (Marseille, October): 5 presentations ;
- at the 9<sup>th</sup> International Industrial Ventilation Conference (Zurich, October): 3 presentations.

#### THE QUESTION OF PRECAUTION IN THE WORKPLACE:

This collective work dedicated to the precautionary principle was drawn up in 2006 by a group headed by Olivier Godard of CNRS with the support of 10 experts of the institute. It presents the concept of precaution in an occupational setting and is intended as a stepping stone in the societal, economic and technical reflection surrounding this principle.



In addition, INRS, in partnership with 11 other bodies, organised the seminar « Preventing Occupational Cancers » in Paris in November 2009. Six presentations were given by INRS specialists on that occasion.

## LISTE DES PUBLICATIONS 2009 LIST OF PUBLICATIONS 2009

### ACCIDENTOLOGIE, PERCEPTION DU RISQUE ET ACCEPTABILITÉ

**MONTEAU M., LECLERCQ S., CUNY X.** - Les accidents consécutifs à une perturbation du mouvement. Nouvelle conception, nouvelle prévention. *Hygiène et sécurité du travail*, 2009, n° 215, ND 2308, pp. 13-18.

**TRONTIN C., SABATHE J.P., GLOMOT L.** - Analyse coût-bénéfice des actions de prévention. Exemple du risque de manutention pour le personnel soignant. *Hygiène et sécurité du travail*, 2009, 215, ND 2310, pp. 29-34.

**REBELLE J., KLINGLER A., POIROT R.** - Prise en compte des aspects dynamiques pour mieux évaluer la stabilité des chariots élévateurs - Éléments pour l'élaboration d'une nouvelle norme européenne. *Hygiène et sécurité du travail*, 2009, n° 215, ND 2307, pp. 3-11.

**ROUSSEAU C., RADAUCEANU A.** - Perception des risques professionnels par les opérateurs : Le cas de salariés de chantiers de retrait d'amiante. *Hygiène et sécurité du travail*, 2009, n° 217, ND 2317, pp. 3-15.

**OBRECHT P.** - Recyclage de papiers cartons - Véolia Propreté teste un compacteur plus sûr. (Compacteurs à emballages chargés manuellement. Une solution pour les mettre en sécurité). *Travail et sécurité*, mars 2009, n° 693, pp. 12-13.

**EVROT D.** - Contribution à la vérification d'exigences de sécurité : application au domaine de la machine industrielle. Thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur de l'Université Henri Poincaré Nancy-I en Automatique, Traitement du signal, Génie informatique. Les notes scientifiques et techniques de l'INRS, décembre 2008, n° 277, 158 p.

**GRUSENMEYER C.** - Les accidents liés à la sous-traitance. Exploitation de la base de données EPICEA. Avis d'experts In : La sous-traitance interne sous la direction de M. HERVY. Les Ulis, EDP Sciences, 2009, pp. 98-115, ISBN 978-2-7598-0096-4.

**LECLERCQ S., MONTEAU M., CUNY X.** - Occupational accidents with movement disturbance: in support of an operational definition (Les accidents du travail avec perturbation du mouvement : pour une définition opérationnelle). Actes du Congrès IEA 2009, 9-14 août 2009, Pékin (Chine), 9 p.

**TRONTIN C.** - Preventing the manual handling risk for healthcare workers: a cost-benefit analysis. (Prévention du risque de manutention manuelle chez les soignants : une analyse coût-bénéfice). Actes Colloque Comité AISS Recherche « Recherche sur l'efficacité des mesures de prévention en milieu de travail », 15-16 octobre 2009, BGAG, Dresde (Allemagne), p. 339-342.

### ALLERGIES PROFESSIONNELLES

**TOSSA P., BOHADANA A., DEMANGE V., WILD P., MICHAELY J.P., HANNHART B., PARIS C., ZMIROU-NAVIER D.** - Early markers of airways inflammation and occupational asthma: rationale, protocol and follow-up rates of a longitudinal study among bakery, pastry and hair dressing apprentices (Marqueurs précoces de l'inflammation bronchique et asthme professionnel : rationnel, protocole et taux de réponse d'une étude longitudinale parmi des apprentis boulanger, pâtissier et coiffeur). *BMC Public Health*, 2009, vol. 9, n° 112, pp. 1-9.

**DEMANGE V., DZIURLA M., MASSIN N., WILD P.** - Exhaled nitric oxide can detect bronchial inflammation in apparently healthy lifeguards (Le monoxyde d'azote exhalé peut détecter l'inflammation bronchique des maîtres nageurs). *BMC Pulmonary Medicine*, 2009, vol 9, n° 53, 9 p.

### BRUITS, VIBRATIONS, CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES, OPTIQUE

**TROMPETTE N., BARBRY J.L., SGARD F., NELISSE H.** - Sound transmission loss of rectangular and slit-shaped apertures: Experimental results and correlation with a modal model. (Affaiblissement acoustique d'ouvertures rectangulaires et de fuites - Résultats expérimentaux et corrélation avec un modèle modal). *Journal of the Acoustical Society of America*, janvier 2009, vol. 125, n°1, pp. 31-41.

**CANETTO P., VOIX J.** - Hearing protectors «Real-World» performance and the European Directive 2003/10/EC. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)*, 2009, vol. 15, n° 2, pp. 221-226.

**CANETTO P.** - Hearing protectors: topicality and research needs. (Protecteurs individuels contre le bruit : actualité et besoins en recherche). *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)*, 2009, 15, 2, pp. 141-153.

DUCOURNEAU J., PLANEAU V., NEJADE A. - Design of a multipolar weighting for acoustic antennae (Développement d'une pondération multipolaire pour antennes acoustiques utilisées pour la mesure des coefficients d'absorption acoustique des revêtements présents dans les locaux industriels). *Applied Acoustics*, mars 2009, vol. 70, n° 3, pp. 484-492.

THIERY L. - L'évaluation du risque lié au bruit professionnel. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*, 2009, vol. 70, pp. 649-652.

MULLER J.P. - Machines à bois portatives : des performances de captage insuffisantes. (Machines à bois portatives : des performances de captage insuffisantes). *Enjeux*, 2009, n° 291, 41 p.

CHATILLON J., TROMPETTE N., OTTAVIANI P., PELLETIER E. - Observation de l'activité en centre d'appels téléphoniques et limites d'exposition au bruit. (Observation de l'activité en centre d'appels téléphoniques et limites d'exposition au bruit). *Hygiène et sécurité du travail*, 2009, n° 216, ND 2314, pp. 33-39.

THIERY L. - Hiérarchiser les actions de réduction technique du bruit. *Hygiène et sécurité du travail*, 2009, n° 217, ND 2319, pp. 33-40.

THIERY L. - Simulations numériques appliquées à la quantification des incertitudes sur le niveau d'exposition quotidienne au bruit. Les notes scientifiques et techniques de l'INRS, juin 2008, n° 274, 38 p.

THIERY L. - Relations entre les plans d'échantillonnage du bruit et les incertitudes de mesure de l'exposition au bruit professionnel. Les notes scientifiques et techniques de l'INRS, mars 2009, n° 280, 32 p.

## CANCERS PROFESSIONNELS

BOURGKARD E., WILD P., COURCOT B., DISS M., DUVAL G., ETTLINGER J., GOUTET P., HEMON D., MARQUIS N., MUR J.M., RIGAL C., ROHN-JANSSENS M.P., MOULIN J.J. - Lung cancer mortality and iron oxide exposure in a French steel-producing factory (Mortalité par cancers broncho-pulmonaires et expositions aux oxydes de fer dans une usine sidérurgique en France). *Occupational and Environmental Medicine*, 2009, vol. 66, n° 3, pp. 175-181

BOURGKARD E., WILD P., COURCOT B., DISS M., ETTLINGER J., GOUTET P., HEMON D., MARQUIS N., MUR J.M., RIGAL C., RHON-JANSSENS M.P., MOULIN J.J. - Mortalité par cancer du poumon et exposition aux oxydes de fer dans une usine sidérurgique française. *Documents pour le médecin du travail*, 2009, n° 118, TF 180, pp. 209-220.

## CONCEPTION DES ÉQUIPEMENTS, DES LIEUX ET DES SITUATIONS DE TRAVAIL

MARSOT J., GARDEUX F., GOVAERE V. - Réalité augmentée et prévention des risques. Apports et limites. *Hygiène et sécurité du travail*, 2009, n° 214, ND 2303, pp. 15-23.

CLAUDON L., MARSOT J. - Prise en compte de l'ergonomie lors de l'utilisation de systèmes de temps prédéterminés - Etat de l'art et perspectives. *Hygiène et sécurité du travail*, 2009, n° 217, ND 2320, pp. 41-47.

SAVIN J., CLAUDON L., MARSOT J. - Mannequins numériques : Apports et limites pour la prévention des risques professionnels. Traité de la Réalité Virtuelle «L'Humain virtuel dans l'usine numérique», *Presses des Mines*, vol. 5, n° 15, 2009, pp. 328-333, ISBN 978-2-911256-00-4.

## DÉCHETS ET RECYCLAGE

LECLER M.T., ZIMMERMANN F., CHOLLOT A., SILVENTE E. - Réduction du risque chimique lors des opérations de recyclage des déchets d'équipements électriques et électroniques. In : *Récents Progrès en Génie des Procédés*, 14 - 16 octobre 2009, Marseille, n° 98, 6 p., XII<sup>ème</sup> congrès SFGP 2009.

## NANOTECHNOLOGIES ET NANOPARTICULES

BAU S., WITSCHGER O., GENSDARMES F., THOMAS D. - Experimental study of the response functions of direct-reading instruments measuring surface-area concentration of airborne nanostructured particles. *Journal of Physics: Conference Series*, 2009, vol 170, pp. 1-8.

GORNER P., WITSCHGER O. - Risk in new technologies-Nanotechnology (Risque dans technologies nouvelles-Nanotechnologie). *Bezpečna Praca*, avril 2009, vol. 40, n° 2, pp. 3-5.

DRAIS E. - La prévention à l'épreuve de l'incertitude - L'exemple de la précaution à l'égard des nanoparticules. *Hygiène et sécurité du travail*, 2009, n° 216, PR 40, pp. 53-58.

BAU S., WITSCHGER O., GENSDARMES F., THOMAS D. - Experimental response functions of three instruments designed to measure active or lung-deposited surface-area concentrations of airborne nanoparticles (Mesure expérimentale des fonctions de réponse de 3 instruments dédiés à l'évaluation de la concentration en surface (active ou déposée) d'aérosols de nanoparticules). In : *Actes du 4<sup>ème</sup> Congrès International sur la Nanotechnologies*, 26-29 août 2009, Helsinki (Finlande), *Occupational and Environmental Health*, pp. 45.

**BAU S., WITSCHGER O., GENSDARMES F., THOMAS D.** - Surface des particules nanostructurées dispersées dans l'air : étude des réponses de différents instruments. 24<sup>ème</sup> Congrès Français sur les Aérosols (CFA 2009), 14-15 Janvier 2009, Paris. Association Française d'Etudes et de Recherches sur les Aérosols (ASFERA), 2009, 6 p.

## ORGANISATION, SANTÉ, SÉCURITÉ ET BIEN-ÊTRE AU TRAVAIL

**HERY M.** - Prévention des risques professionnels des entreprises extérieures dans les industries de process : la réglementation et le « corps de doctrine » des préventeurs institutionnels sont-ils encore adaptés à la réalité du terrain ? Production maintenance, 2009, n° 27, pp. 62-65.

**HERY M.** - Le rôle crucial des entreprises donneuses d'ordre. *Santé & Travail*, 2009, n° 65, p. 30.

**GOVAERE V.** - La préparation de commandes en logistique : mutations technologiques et évolutions des risques professionnels. *Hygiène et sécurité du travail*, 2009, n° 214, ND 2302, pp. 3-13.

**MARC J., ROGALSKI J.** - How do individual operators contribute to the reliability of collective activity? The case of a medical emergency centre (Quelle est la contribution d'un opérateur à la sécurité de l'activité collective ? Le cas du SAMU). In: OWEN C., BEGUIN P., WACKERS G., eds. - Risky work environments: Reappraising human work within fallible systems. Ashgate Publishing Ltd (UK), 2009, pp. 129-147.

**HERY M., BERTHET M., FRANCOIS M., GUILLEMY N., GRUSENMEYER C., et al.** - La sous-traitance interne (sous la direction de M. HERY). Avis d'experts In : « La sous-traitance interne » sous la direction de HERY M., Les Ulis, EDP Sciences eds., 2009, 377 p. ISBN 978-2-7598-0096-4.

**HERY M.** - Intervention de travailleurs d'entreprises extérieures : un sujet de préoccupation majeure en matière de santé et de sécurité au travail. Avis d'experts In : « La sous-traitance interne » sous la direction de M. HERY., Les Ulis, EDP Sciences eds., 2009, pp. 119-171, ISBN 978-2-7598-0096-4.

**GRUSENMEYER C.** - Interventions maintenance-exploitation et sécurité. La gestion de l'information relative aux interventions de maintenance lors d'un arrêt programmé sur une chaufferie nucléaire. In: DE TERSAC G., BOISSIERES I., GAILLARD I., eds. - La sécurité en action. Toulouse, Octarès, 2009, pp. 85-100.

**BOURKGARD E., BUISSON C., AUBRY C., GOLDBERG M., IMBERNON E.** - Etude de l'impact d'un guide méthodologique sur la pratique des médecins du travail. *Documents pour le médecin du travail*, 2009, n° 117, TF 178, pp. 39-53.

## RAYONNEMENTS IONISANTS

**GAURON C.** - Médecine et rayonnements ionisants : fiche d'aide à l'analyse des risques en curiethérapie à débit pulsé. *Documents pour le Médecin du Travail*, 2009, n° 118, TC 126, pp. 199-208.

## RISQUES BIOLOGIQUES

**FAURE M., GERARDIN F., ZAHRAA O., RASTOIX O., ANDRE J.C.** - Photocatalyse et applications en dépollution : quelques problèmes avant une industrialisation sûre ? Environnement. *Risques & Santé*, 2009, vol. 8, n° 4, pp. 335-342.

**DAVID C., BOUCHER D., LAFFAIRE J.B., PEYRET P., DUQUENNE P., BRUGNOT C.** - Suivi de la flore microbiologique des fontaines de biodégradation des graisses. *Hygiène et sécurité du travail*, 2009, n° 214, ND 2304, pp. 25-35.

**RAPP R., FONTAINE J.R., HENRY F., DUQUENNE P., KOEHLER V., GREFF G., LIANG S., GORNER P., BECKER A.** - Diffusion de l'air dans les salles de tri des centres de traitement des ordures ménagères - Quelles ventilations au poste de travail ? *Hygiène et sécurité du travail*, 2009, n° 215, ND 2309, pp. 19-28.

**DUQUENNE P., KOEHLER V., GREFF G., SIMON X.** - Mesure de l'aérobiocontamination dans une usine de fabrication de saucissons. 24<sup>ème</sup> Congrès Français sur les Aérosols (CFA 2009), 14-15 Janvier 2009, Paris. Association Française d'Etudes et de Recherches sur les Aérosols (ASFERA), 2009, p. 37.

**SIMON X., DUQUENNE P., KOEHLER V., FAURE M., GREFF G.** - Caractérisations physique et biologique d'un bioaérosol expérimental généré par bullage d'air à travers un film de suspension bactérienne. 24<sup>ème</sup> Congrès Français sur les Aérosols (CFA 2009), 14-15 Janvier 2009, Paris. Association Française d'Etudes et de Recherches sur les Aérosols (ASFERA), 2009, p. 27.

**FAURE M., GERARDIN F., SIMON X., ANDRE J.C., PONS M.N., ZAHRAA O.** - Vers la purification de l'air ambiant par l'action bactéricide de la photocatalyse. In : Récents Progrès en Génie des Procédés, n° 98. 12<sup>ème</sup> congrès de la Société Française de Génie des Procédés, 14 - 16 octobre 2009, Marseille. SFGP Editions, 2009.

## RISQUES CHIMIQUES

**PAYAN J.P., LAFONTAINE M., SIMON P., MARQUET F., CHAMPMARTIN C., BEYDON B., WALTHIER L., FERRARI E.** - 3-Hydroxybenzo(a)pyrene as a biomarker of dermal exposure to benzo(a)pyrene. *Archives of Toxicology*, 2009, vol. 83, n° 9, pp. 873-883.

**EYPERT-BLAISON C., VEISSIERE S., RASTOIX O., KAUFFER E.** - Comparison of direct and indirect methods of measuring airborne asbestos fibre concentration (Comparaison des méthodes directes et indirectes pour le mesurage de la concentration en fibres d'amiante dans l'air). *Annals of Occupational Hygiene*, 2009, vol. 54, n° 1, pp. 55-67.

STACEY P., KAUFFER E., MOULUT J.C., DION C., BEUPARLANT M., FERNANDEZ P., KEY-SCHWARTZ R., FRIEDE B., WAKE D. - An international comparison of the crystallinity of calibration materials for the analysis of respirable alpha-quartz using x-ray diffraction and a comparison with results from the infrared KBr disc method (Comparaison internationale de la cristallinité de matériaux de calibration utilisés pour l'analyse du quartz alpha alvéolaire par diffraction des rayons X. Comparaison des résultats avec ceux obtenus par la méthode infrarouge sur pastille de KBr.). *Annals of Occupational Hygiene*, 2009, vol. 53, n° 6, pp. 639-649.

GORNER P., WROBEL R., SIMON X. - High efficiency CIP 10-I personal inhalable aerosol sampler (Capteur individuel d'aérosol inhalable le CIP 10-I haute efficacité). *Journal of Physics: Conference Series*, 2009, vol. 151, pp. 1-9.

VINCENT R., CATANI J., CREAU Y., FROCAUT A.M., GOOD A., GOUTET P., HOU A., LERAY F., ANDRE-LESAGE M.A., SOYEZ A. - Occupational Exposure to Beryllium in French Enterprises: A Survey of Airborne Exposure and Surface Levels. *Annals of Occupational Hygiene*, 2009, vol. 53, n° 4, pp. 363-372.

ASHLEY K., APPLIGATE G.T., DALE MARCY A., DRAKE P.L., PIERCE P.A., CARABIN N., DEMANGE M. - Evaluation of sequential extraction procedures for soluble and insoluble hexavalent chromium compounds in workplace air samples. (Evaluation de procédures d'extractions séquentielles des composés de chrome hexavalent soluble et insoluble dans l'air des lieux de travail). Article citation: Kevin Ashley, *Journal of Environmental Monitoring*, 2009, vol. 11, pp. 318-325.

SCHEEPERS P.T.J., VAN HOUTUM J., ANZION R.B.M., CHAMP-MARTIN C., HERTSENBERG S., BOS R.P., VANDERVALK P. - The occupational exposure of dermatology nurses to polycyclic aromatic hydrocarbons - Evaluating the effectiveness of better skin protection. (Exposition professionnelle des infirmières de dermatologie aux hydrocarbures aromatiques polycycliques - Evaluation de l'efficacité d'une meilleure protection cutanée). *Scandinavian Journal of Work and Environmental Health*, 2009, vol. 35, n° 3, pp. 212-221.

REGNIER R., BEMER D., SUBRA I. - Filtration efficiency of industrial vacuum cleaners - Testing method (Efficacité de filtration des aspirateurs industriels - Méthode d'essai). *Gefahrstoff-Reinhalung der Luft*, 2009, vol. 69, n° 5, pp. 205-212.

BELUT E., BONTHOUX F., OESTERLE B., FONTAINE J.R., KHEIRI A. - Investigation on the particle-laden airflow generated by a pseudo-machining operation (Etude expérimentale et numérique de l'écoulement diphasique engendré par une opération d'usinage). *International Journal of Multiphase Flow*, 2009, vol. 35, pp. 710-724.

BEMER D., SUBRA I., REGNIER R. - Methods for measuring performance of vehicle cab air cleaning systems against aerosols and vapours (Méthodes de mesure des performances des dispositifs de traitement d'air des véhicules vis-à-vis des aérosols et des vapeurs). *Annals of Occupational Hygiene*, 2009, vol. 53, n° 4, pp. 441-447.

DEVIENNE R., FONTAINE J.R., KICKA J., BONTHOUX F. - Experimental characterisation of a plume of passive contaminant above a thermal source - Capture efficiency of a fume extraction hood (Caractérisation expérimentale d'un panache de contaminant passif au-dessus d'une source thermique - Efficacité de captage d'une hotte de captage). *Annals of Occupational Hygiene*, 2009, vol. 53, n° 7, pp. 739-748.

MOURET G., THOMAS D., CHAZELET S., APPERT-COLLIN J.C., BEMER D. - Penetration of nanoparticles through fibrous filters perforated with defined pinholes (Perméance de filtres à fibres perforés par des aiguilles calibrées vis-à-vis de nanoparticules). *Journal of Aerosol Science*, 2009, vol. 40, n° 9, pp. 762-775.

WANUSIOW D., CAMPO P., VENET T., COSSEC B., COSNIER F., BEYDON D., RIEGER B., BURGART M., FERRARI L., PARIETTI-KINKLER C. - Toluene-induced hearing loss in the guinea pig (Surdité induite par le toluène chez le cobaye). *Toxicological Sciences*, 2009, vol. 111, n° 2, pp. 362-371.

MAGUIN K., CAMPO P., PARIETTI-WINKLER C. - Toluene can perturb the neuronal voltage-dependent Ca<sup>2+</sup> channels involved in the middle-ear reflex. (Le toluène peut perturber les canaux calciques neuronaux impliqués dans le réflexe de l'oreille moyenne). *Toxicological Sciences*, 2009, vol. 107, n° 2, pp. 473-481.

BAU S., RASTOIX O., WITSCHGER O., GENDARMES F., THOMAS D. - Développement d'une méthode de mesure de la surface spécifique de particules nanostructurées par analyse d'images de microscopie électronique à transmission (MET). *Récents Progrès en Génie des Procédés*, 2009, n°98, pp. A288-1 - A288-6.

BOURBKARD E., BERTRAND C., COLIN R., FOURNIER M., ROUSSELLE D., WILD P. - Etude épidémiologique de mortalité parmi le personnel de deux sociétés d'armement. *Archives des Maladies Professionnelles*, 2009, n° 70, pp. 315-325.

LAMY D., PIGEON O., CLAVEZ O., TIRILLY V., BOURGES P., ACCART R., VINCENT R. - Exposition professionnelle aux poussières de bois : résultats de la campagne nationale 2008 menée par les services de l'inspection du travail, de l'inspection du travail de l'agriculture, les services prévention des CRAM et de l'organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics avec le soutien technique de l'INRS. *Hygiène et Sécurité du Travail*, 2009, n° 217, PR 41, pp. 49-55.

**GALLAND B., COURTOIS B., MARTIN P.** - Les détecteurs portables à photo-ionisation pour la sécurité et l'hygiène des lieux de travail. Edition INRS, Aide-Mémoire Technique ED 6053, 1ère édition, juin 2009, 13 p.

**BAU S.** - Etude des moyens de mesure de la surface des aérosols ultrafins pour l'évaluation de l'exposition professionnelle. Les notes scientifiques et techniques de l'INRS, janvier 2009, n° 281, 202 p.

**LECLER M.T., SUBRA I., NICOT T., HECHT G.** - Analyses qualitatives et quantitatives des émissions de Composés Organiques Volatils émises lors du procédé d'impression offset feuilles. Les notes scientifiques et techniques de l'INRS, novembre 2009, n° 283, 105 p.

**MOREAU B., GRZEBYK M.** - Utilisation des machines automatiques de découpe des métaux par oxycoupage, plasma et laser. *Hygiène et sécurité du travail*, 2009, n° 217, PR 42, pp. 57-69.

**CHOLLOT A.** - Tests de la résistance chimique des gants vis-à-vis de quatre éthers de glycol d'utilisation fréquente. *Hygiène et sécurité du travail*, 2009, n° 217, ND 2242, pp. 31-36.

**SUTTER B.** - Etude de l'évaporation d'aérosols liquides semi-volatils collectés sur médias fibreux. Thèse en génie des procédés et des produits, Nancy-Université INPL, INRS, Les notes scientifiques et techniques de l'INRS, novembre 2009, n° 285, 182 p.

**GERARDIN F.** - Etude expérimentale et numérique de la dispersion d'aérosols dans le sillage d'une roue de véhicule. Thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur de l'INPL en Génie des Procédés et des Produits, Les notes scientifiques et techniques de l'INRS, mars 2009, NS 279, 158 p.

**BONTHOUX F.** - Installations d'aspiration de poussières pour des machines à bois portatives et pour le nettoyage - Aide à la rédaction d'un cahier des charges. INRS, Aide-mémoire technique ED 6052, décembre 2009, 7 p. + annexe.

**CHAIINEAUX J., JANES, SALLE B., PETIT J.M.** - Conditions de formation d'une atmosphère explosive lors de la mise en œuvre d'un liquide inflammable. *Hygiène et sécurité du travail*, 2009, n° 216, ND 2313, pp. 23-31.

**MICHIELS F., PILLIERE F., MERAT-TAGNARD F.** - La surveillance biologique des expositions professionnelles aux produits chimiques en France. Etat des lieux en 2006 et analyse comparative des prescriptions et de l'activité des laboratoires spécialisés entre 2002 et 2006. *Documents pour le médecin du travail*, 2009, n° 117, TF 179, pp. 55-75.

**TRIOLET J., HERY M.** - Les méthodes d'évaluation des risques chimiques - une analyse critique. *Hygiène et sécurité du travail*, 2009, n° 216, ND 2312, pp. 11-22.

**SUTTER B., APPERT-COLLIN J.C., BEMER D., THOMAS D.** - Evaporation behaviour of a semi-volatile liquid aerosol collected on fibrous filter (Comportement de l'évaporation d'aérosols liquides semi-volatils collectés sur filtres à fibres). In: proceedings of the 8<sup>th</sup> World Congress of Chemical Engineering, 23 - 27 août 2009, Montréal (Canada)

**FONTAINE J.R., DEVIENNE R.** - Experimental and theoretical determination of the capture efficiency of a fume extraction hood above an heat source (Détermination expérimentale et théorique de l'efficacité d'une hotte de captage placée au-dessus d'une source chaude). Actes du 6<sup>th</sup> Congrès International en Ventilation Industrielle, Ventilation 2009, 18 - 21 octobre 2009, Zurich (Suisse)

**MEHEL A., TANIÈRE A., OESTERLE B., FONTAINE J.R.** - Prediction of nanoparticle deposition in channel and duct flows: a simple method to implement new turbulent dispersion models in CFD tools (Prédiction de la déposition de nanoparticules dans les écoulements en canal et conduite : une méthode simple pour implémenter de nouveaux modèles de dispersion turbulente dans les codes de calcul type CFD). Actes 6<sup>th</sup> International Symposium on Turbulence, Heat and Mass Transfer, 14 - 18 September 2009, Rome (Italy). In: *Turbulence, Heat and Mass Transfer*, 2009, n° 6, 12 p.

**BRACONNIER R., BONTHOUX F., FONTAINE J.R.** - Fluid dynamics of cytotoxic safety cabinets (Aérodynamique des postes de sécurité cytotoxique). Actes du 6<sup>th</sup> Congrès International en Ventilation Industrielle, Ventilation 2009, 18 - 21 octobre 2009, Zurich (Suisse)

**RAPP R., DUQUENNE P., FONTAINE J.R.** - Study of air quality in sorting rooms of household-waste treatment centres - Which ventilation? (Etude de la qualité de l'air dans les salles de tri des centres de traitement des ordures ménagères - Quelle ventilation adopter ?). In : Actes 9<sup>th</sup> International Conference on Industrial Ventilation, Ventilation 2009, 18 - 21 octobre 2009, Zurich (Suisse)

**MAALEJ T., BONTHOUX F., FONTAINE J.R., GIRAULT M., MAILLET D.** - Problème inverse d'estimation de la position d'une source de polluant par une méthode de transmittances entre concentrations mesurées. Actes de la Conférence Internationale sur la caractérisation thermo-physique et les problèmes inverses, avril 2009, Sousse (Tunisie), pp. 65-69.

**MAALEJ T., BONTHOUX F., FONTAINE J.R., GIRAULT M., MAILLET D.** - Estimation of the intensity of an H<sub>2</sub>S source in a sewer chamber by inversion of a reduced model. In : Actes 20<sup>th</sup> International Symposium on Transport Phenomena, 7-10 juillet 2009, Victoria (Canada).

**SUTTER B., APPERT-COLLIN J.C., BEMER D., THOMAS D.** - Etude de l'évaporation d'un aérosol liquide semi-volatile collecté sur filtre à fibres. In : Actes du 24<sup>ème</sup> congrès français sur les aérosols, CFA 2009, 14 et 15 janvier 2009, Paris.

**SUTTER B., BEMER D., APPERT-COLLIN J.C., THOMAS D.** - Risk assessment of the ability of semi-volatile aerosols collected on fibrous filter to volatilize (Evaluation des risques liés à la capacité d'évaporation des aérosols liquides semi-volatils collectés sur filtres à fibres). Actes du 12ème congrès de la Société Française de Génie des Procédés, 14-16 octobre 2009, Marseille. In : *Récents Progrès en Génie des Procédés*, 2009, n° 98, pp. 161-1 - 161-6.

**THOMAS D., MOURET G., CALLE-CHAZELET S., APPERT-COLLIN J.C., BEMER D.** - Incidence d'une fuite sur les performances des medias fibreux dans le domaine nanométrique. In : Actes du 24<sup>ème</sup> congrès français sur les aérosols, CFA 2009, 14 et 15 janvier 2009, Paris.

**BROCHOT C., MICHELSEN N., CHAZELET S., THOMAS D., BEMER D.** - Exposition aux nanoparticules : efficacité de filtration des appareils de protection respiratoire. 12ème congrès de la Société Française de Génie des Procédés, 14 - 16 octobre 2009, Marseille. In : *Récents Progrès en Génie des Procédés*, SFGP Editions, 2009, n° 98, pp. 313-1 - 313-6.

**GERARDIN F., GENTRIC C., MIDOUX N.** - Mise en évidence de la dispersion de particules fines dans le sillage d'une roue de véhicule. In : Actes du 24<sup>ème</sup> congrès français sur les aérosols, CFA 2009, 14 et 15 janvier 2009, Paris.

**DEVIENNE R., FONTAINE J.R., KICKA J.** - Caractérisation expérimentale d'un panache de contaminant passif au-dessus d'une source thermique - Efficacité de captage d'une hotte d'aspiration. Actes du congrès français de thermique, SFT 2009, 26-29 mai 2009, Vannes, Tome 1, pp. 33-38.

**MAALEJ T., BONTHOUX F., FONTAINE J.R., GIRAULT M., MAILLET D.** - Localisation de la position d'une source en transfert de masse par diffusion-advection turbulente par une méthode de transmittances. Actes du congrès français de thermique, SFT 2009, 26-29 mai 2009, Vannes, Tome 1, pp. 627-632.

## RISQUES MÉCANIQUES

**REBELLE J., MISTROT P., POIROT R.** - Development and validation of a numerical model for predicting forklift truck tip-over. (Développement et validation d'un modèle numérique de chariot automateur afin de prédire son renversement.). *Vehicle System Dynamics*, July 2009, vol. 47, n° 7, pp. 771-804.

**BUCHWEILLER J.P.** - Sécurité – Marronniers. *Jautomatise*, mai-juin 2009, n° 64, pp. 33-37.

**MARCHAL P.** - Jets THP : comment se protéger ? Protection Individuelle & Collective, 2009, n° 60, pp. 54-59.

**BUCHWEILLER J.P.** - Réglementation - La nouvelle directive machines arrive. Mesures, septembre 2009, n° 817, pp. 38-43.

**CAILLET J.P., DESANNEAUX P., BLAISE J.C., MATHIEU J.F., POYARD J.L.** - Intervenir sur un équipement de travail : penser sécurité. Travail et sécurité, mars 2009, n° 693, pp. 28-29.

**RAVALLEC C., LHUILLIER J.C.** - Scies à ruban. La recherche de solutions individuelles est collective. Une évolution participative applaudie des deux mains. *Travail et sécurité*, janvier 2009, n° 691, pp. 42-45.

**LAMY P., CHARPENTIER P.** - Estimation des risques machines. Recensement des méthodes et subjectivité des paramètres de l'estimation. *Hygiène et sécurité du travail*, 2009, n° 214, ND 2305, pp. 37-45.

**MARCHAL P.** - Les protecteurs de pieds contre les jets d'eau THP. *Hygiène et sécurité du travail*, 2009, n° 214, ND 2306, pp. 45-49.

**TIERNO O., BLAISE J.C., LUPIN H., WELITZ G.** - Réussir l'acquisition d'une machine ou d'un équipement de production. *Travail et sécurité*, novembre 2009, n° 700, 6 p.

**GROUPE DE TRAVAIL SEE 18.4, CICCOTELLI J., CHARPENTIER P.** - Réseaux de terrain, critères de sûreté de fonctionnement. Chapitre 6 : application à la sécurité des machines. In : CIAME (Dir.) - Réseaux de terrain - Critères de sûreté de fonctionnement. Hermès Science - Lavoisier, Paris, 2009, pp. 151-180, ISBN 978-2-7462-1946-5.

**MARSOT J., CHARPENTIER P., TISSOT C.** - Collisions engins-piétons : analyse des récits d'accidents de la base EPICEA. *Hygiène et sécurité du travail*, 2009, n° 217, ND 2318, pp. 23-32.

## RISQUES PSYCHOSOCIAUX : STRESS, VIOLENCE INTERNE ET EXTERNE

**VAN DE WEERDT C.** - Introduction : présentation des contraintes et des risques spécifiques aux centres d'appels. *Echo Bruit*, n°126, septembre 2009, pp. 18-20.

**MARC J., ROGALSKI J.** - Collective management in dynamic situation: the individual contribution (Contribution individuelle au fonctionnement «sûr» du collectif). *Cognition technology and Work*, 2009, vol. 11, pp. 313-327.

**GROSJEAN V., KOP J.L., NOGUES CHOLLET F., VELUT P.** - Le bien-être au travail chez les conducteurs de travaux. Résultats d'une action menée en Languedoc-Roussillon. *Hygiène et sécurité du travail*, 2009, n° 216, ND 2315, pp. 41-51.

**PARMENTIER C.** - L'approche systémique de Palo Alto. Théories et perspectives pour la prévention des risques professionnels. Les notes scientifiques et techniques de l'INRS, avril 2009, n° 278, 39 p.

**VAN DE WEERDT C.** - Les liens entre cognition et émotions au travail dans le cadre de la relation client. In: Naceur A. & Mas-moudi D. (2009), *Cognition, Emotion et Motivation : intégrer... mieux expliquer la performance*, Tunis, Editions du CNIPRE, 2009, pp. 142-158.

**VAN DE WEERDT C.** - La gestion des émotions au travail par des conseillers clientèle. Actes des Journées thématiques de l'ADRIPS (Association pour la diffusion de la recherche internationale en psychologie sociale), 02-03 juillet 2009, Université Paris Ouest Nanterre La Défense, *Emotions en psychologie sociale*, 2009, p. 29.

**VAN DE WEERDT C.** - Emotions et santé en centre de relation clientèle. Actes de la Journée thématique GREPSYT «Risques psychosociaux : diagnostiquer pour agir», 12 mars 2009, Grenoble.

**VAN DE WEERDT C.** - Définitions, théories de l'émotion et délimitation du concept d'émotion au travail. Actes de la 13ème Journée d'étude du GERRA «Les émotions au travail», 07 décembre 2009, Lyon.

## RISQUES REPRODUCTION

**SAILLENFAIT A.M., SABATE J.P., GALLISSOT F.** - Effects of in utero exposure to di-n-hexyl phthalate on the reproductive development of the male rat (Conséquences d'une exposition prénatale au phtalate de di-n-hexyle sur le développement de l'appareil reproducteur du rat mâle). *Reproductive Toxicology*, 2009, vol. 28, n° 4, pp. 468-476.

**SAILLENFAIT A.M., GALLISSOT F., SABATE J.P.** - Differential developmental toxicities of di-n-hexyl phthalate and dicyclohexyl phthalate administered orally to rats (Différences entre la toxicité du développement du phtalate de di-n-hexyle et du phtalate de dicyclohexyle, chez le rat, après administration orale). *Journal of Applied Toxicology*, 2009, vol. 29, n° 6, pp. 32-42.

## TROUBLES MUSCULO-SQUELETTIQUES ET LOMBALGIES

COUTAREL F., VEZINA N., BERTHELETTE D., **AUBLET-CUVELIER A.**, DESCATHA A., CHASSAING K., ROQUELAURE Y., HA C. - Guidelines to assess interventions aimed to prevent work-related musculoskeletal disorders (Orientations pour l'évaluation des interventions visant la prévention des troubles musculo-squelettiques liés au travail). *LABOREAL*, vol. V, n° 2, 2009 pp. 95-108.

COUTAREL F., VEZINA N., BERTHELETTE D., **AUBLET-CUVELIER A.**, DESCATHA A., CHASSAING K., ROQUELAURE Y., HA C. - Orientations pour l'évaluation des interventions visant la prévention des troubles musculo-squelettiques liés au travail. *PISTES*, novembre 2009, vol. 11, n° 2.

**MEYER J.P., TURPIN-LEGENDRE E., CAIL F.** - Prévention des risques professionnels - Risques liés à l'activité physique. *Les Techniques de l'Ingénieur*, 2009, SE 3825, 19 p.

**APTEL M., AUBLET-CUVELIER A.** - Troubles musculo-squelettiques et travail. In: P. Catilina, Eds. - *Médecine et risque au travail. Guide du médecin en milieu de travail*. Paris, Masson, 2009, pp. 385-397.

**GAUDEZ C.** - Hypo-récupération et hyper-sollicitation musculaire des facteurs de troubles musculo-squelettiques présents dans les activités dynamiques. Cas de la pose d'inserts. Actes du 30ème Congrès National de Médecine et Santé au Travail, 3 - 6 juin 2008, Tour. *Archives des maladies professionnelles et de l'environnement*, 2008, vol. 69, n° 2 p. 252.

**GAUDEZ C.** - Upper limb musculo-skeletal disorders and insert fitting activity in automobile sector: impact on muscular stresses of fitting method and insert position on part. (Activité de pose d'inserts : incidence sur les sollicitations musculaires de la technique de pose et de l'emplacement de l'insert). 33ème Congrès de la Société de Biomécanique, 1-3 septembre 2008, Compiègne, Supplément 1, pp. 101-102.

Directeur de publication : Stéphane Pimbert

Rédacteurs en chef : Didier Baptiste, Stéphane Vaxelaire

Direction rédactionnelle et coordination : Patricia Bernard, Joseph Ciccotelli

Conception et direction artistique : lthaque design graphique

Traduction : Martine Bloch, James Francey, Anna-Maria Poli, Michel Talarmin

Crédits photos : Christophe Beauregard, Éric Boizet, Yves Cousson, Jean-Pierre Dalens,

Guillaume J. Plisson, Gaël Kerbaol, Serge Morillon, CIOP (Pologne)

Ont également contribué à la publication : les responsables d'études de l'INRS



Siège social  
30, rue Olivier Noyer – F-75680 Paris cedex 14  
Tél. : + 33 (0)1 40 44 30 00 – Fax : + 33 (0)1 40 44 30 99

Centre de Lorraine  
1, rue du Morvan – CS 60027 – F-54519 Vandœuvre cedex  
Tél. : + 33 (0)3 83 50 20 00 – Fax : + 33 (0)3 83 50 20 97

E-mail : [info@inrs.fr](mailto:info@inrs.fr)

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