

Études & recherche

2010/2011

Institut national de recherche et de sécurité
pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles
www.inrs.fr

SOMMAIRE

Avant-Propos

Éditorial du Directeur scientifique de l'INRS	02
Commission scientifique	04
Groupes de suivi	05
Activités « études et recherche » des départements de l'INRS	08
Entretien avec le Président du Conseil scientifique du réseau PEROSH	10
Bilan d'activité 2010 « études et recherche »	12

Activités « études et recherche » 2010 / 2011

■ Accidentologie, perception du risque et acceptabilité	15
■ Allergies professionnelles	16
■ Bruits, vibrations, champs électromagnétiques et optiques	20
■ Cancers professionnels	29
■ Conception des équipements, des lieux et des situations de travail	41
■ Déchets et recyclage	50
■ Nanotechnologies et nanoparticules	52
■ Organisation, santé, sécurité et bien-être au travail	58
■ Risques biologiques	61
■ Risques chimiques	64
■ Risques mécaniques	76
■ Risques psychosociaux : stress, violence interne et externe	82
■ Risques pour la reproduction	83
■ Risque routier professionnel	84
■ Troubles musculo-squelettiques et lombalgies	86
■ Vieillesse, travail, santé	87
■ Rayonnements ionisants et non ionisants	88
Partenariats	90
Publications de l'année 2010	93
Liste des publications 2010	95

ÉDITORIAL DU DIRECTEUR SCIENTIFIQUE

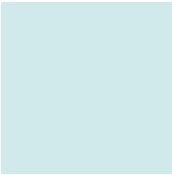
Aux côtés et en lien constant avec les actions d'assistance, de formation ou d'information, les « études et recherche » s'inscrivent, au sein de l'INRS, dans une double volonté : celle d'anticiper des besoins futurs en prévention des risques professionnels et celle de développer des connaissances scientifiques et techniques, transformées en solutions ou savoirs applicables dans les entreprises.

En termes de développement de connaissances, les programmes « études et recherche » de l'INRS se nourrissent depuis de nombreuses années de l'expression des besoins du monde du travail, relayée par nos partenaires, acteurs de la prévention (CARSAT-CRAM, services de santé au travail, partenaires sociaux...).



© Jean-Pierre Dalens / INRS

L'anticipation se concrétise, quant à elle, par le renforcement d'une activité spécifique de veille et prospective. Celle-ci vise notamment à mieux identifier les sujets d'intérêt ou les risques émergents en santé et de sécurité au travail et à analyser les alertes en matière de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles. Plusieurs thèmes alimentent actuellement la réflexion sur nos programmes de recherche : le vieillissement, les nanoparticules, les énergies nouvelles, les risques psychosociaux et le bien-être au travail, les risques biologiques (biotechnologies).




Au niveau européen, je souhaite initier, en tant que nouveau Président du réseau PEROSH, une démarche prospective commune, pour mieux anticiper les risques de demain.

L'état d'avancement 2010/2011 des « études et recherche » vous est présenté dans cette deuxième édition. Pour favoriser sa diffusion au sein de la communauté scientifique concernée par les questions de santé et sécurité au travail, nous l'avons souhaitée entièrement bilingue. La moitié de nos études est conduite en coopération avec des organismes de recherche nationaux et internationaux.

Vous pourrez entre autres y découvrir, par thématiques, les résultats des études achevées en 2010, celles en cours en 2011 ainsi que la liste des articles publiés en 2010.

J'espère que sa lecture vous apportera un éclairage scientifique utile sur les questions de prévention des risques professionnels.

Didier Baptiste,
Directeur scientifique de l'INRS



DIRECTION SCIENTIFIQUE

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.

ds@inrs.fr

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 que l'Institut conduit. Cette Commission comprend 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 présentent leurs avis au Conseil d'administration de l'Institut.

PRÉSIDENT

Dominique CHOUDAT	Groupe hospitalier Cochin – Pathologie professionnelle, médecine du travail
--------------------------	---

VICE-PRÉSIDENTS

Denis BOULAUD	IRSN – Direction de l'Environnement et de l'Intervention
Jean-Claude MOISDON	École des Mines de Paris

AUTRES MEMBRES

Alain DEGIOVANNI	LEMTA – Nancy Université – INPL
Pierre DUCIMETIÈRE	INSERM – Unité 258
Nadine GABAS	ENSIACET – Laboratoire de Génie Chimique
Robert GARNIER	Hôpital Fernand Widal Centre Anti-Poisons de Paris
Dominique HABAULT	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 – UPIV
Dominique LISON	Université Catholique de Louvain (Belgique) Unité de toxicologie industrielle et médecine du travail
Philippe LUBINEAU	CETIM – Senlis
Joseph MARIANI	COMETS – LMSI – CNRS – Université de Paris Sud
Antonio MOCCALDI	ISPESL – Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro (Italie)
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 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.

MEMBRES DU GROUPE DE SUIVI DÉPARTEMENT ÉPIDÉMIOLOGIE EN ENTREPRISE

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
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 MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

Denis BOULAUD	IRSN / Direction de l'Environnement et de l'Intervention
Jacques CATANI	CARSAT du Sud-Est – Laboratoire Risques Chimiques Métrologie
Martine CHOUVET	ITGA Laboratoire PRYSM Technopole le Polygone – Saint-Étienne
Marie-Claire HENNION	ESPCI – Laboratoire Environnement et Chimie Analytique du CNRS – UMR 7121
Jérôme LAVOUÉ	Centre de Recherche du CHUM – Montréal
Enric ROBINE	CSTB – Département Développement Durable – Division Santé et Bâtiment
Alain SOYEZ	CARSAT Nord-Picardie – Laboratoire d'Évaluation des Risques Professionnels
David VERNEZ	Institut Universitaire Romand de Santé au Travail – Lausanne

MEMBRES DU GROUPE DE SUIVI DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

Emmanuel ABORD DE CHATILLON	Institut de Recherche en Gestion et Économie 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-Évaluation-Réinsertion (RER) Unité de Pathologie Professionnelle, de Santé au Travail et d'Insertion
Philippe GORCE	Université du Sud – Toulon
Benoît JOURNE	Faculté Sciences Économiques et Gestion Institut d'Économie et de Management de Nantes
Jean-Pierre LIBERT	Faculté de Médecine – UPJV – Amiens
Philippe MAIRIAUX	Université de Liège – Faculté de Médecine Département des Sciences de la Santé Publique
Jean-Claude MOISDON	École des Mines – Paris
Christine NOËL-LEMAÎTRE	Université de Provence – Département d'ergologie APST
James RICHARDSON	Université de Paris Sud XI
Pascal UGHETTO	LATTS – Université Paris-Est Marne-la-Vallée

MEMBRES DU GROUPE DE SUIVI DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

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

MEMBRES DU GROUPE DE SUIVI DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

Francis ALLARD	Université de la Rochelle (LEPTIAB) – Pôle Sciences et Technologie
Thierry BALANNEC	CARSAT Bretagne
Jean-Marie BUCHLIN	Institut Von Karmann – Rhode-Saint-Genèse, Belgique
Jacques CATANI	CARSAT Sud Est
Alain DEGIOVANNI	ENSEM LEMTA – Nancy Université – INPL
Nadine GABAS	ENSIACET – Laboratoire de Génie Chimique
Yves GONTHIER	Université de Savoie – Polytech' Annecy-Chambery
Michel LEBRUN	CARSAT Auvergne – Centre Interrégional de Mesures Physiques
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 POLLUANTS ET SANTÉ

Jacques BOPP	Centre Hospitalier de Mulhouse
Bruno BUCLEZ	Rio Tinto Alcan / Aluminium Pechiney – Bauxite et Aluminium – Voreppe
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 Blaclesse, 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 Unité 461 – Laboratoire de Toxicologie Faculté de Pharmacie Paris Sud
Alain PINEAU	Laboratoire de Toxicologie – Faculté de Pharmacie – Nantes
Guido RYCHEN	ENSAIA - INPL – Nancy

ACTIVITÉS « ÉTUDES ET RECHERCHE » DES DÉPARTEMENTS DE L'INRS

En 2010, les actions d'études et de recherche représentent 42 % des activités de l'INRS. Conduites dans 6 départements et 25 laboratoires du Centre de Lorraine, ces activités impliquent un total de 278 personnes (chercheurs, ingénieurs, médecins, techniciens, chimistes, toxicologues, ergonomes...).

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 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 aéraulique
- Procédé et épuration des polluants

Polluants et santé

Ce département 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.

ENTRETIEN AVEC LE PRÉSIDENT DU CONSEIL SCIENTIFIQUE DU RÉSEAU PEROSH

■ Quel est, au sein de Perosh, le rôle du Conseil scientifique que vous dirigez et comment fonctionne-t-il ?

Les directeurs de recherche de l'ensemble des instituts membres de PEROSH siègent au conseil scientifique que j'anime. Nous nous rencontrons deux fois par an pour discuter de projets européens communs ou d'appels à projets, pour préparer des séminaires ou ateliers du réseau et pour piloter neuf projets de coopération : bien être au travail, vieillissement de la population au travail, exposition et estimation du risque lié aux nanoparticules, toxicité liée aux nanoparticules, développement d'états de l'art systématiques en SST, développement d'une méthodologie de culture partagée et amélioration des critères de comparaison de données des États membres, facteurs de protection des appareils de protection respiratoire, culture de sécurité et promotion d'une vision zéro accident et stratégies d'intervention en santé au travail appliquées aux TMS. En résumé, je dirais que le Conseil scientifique est le groupe de réflexion et de pilotage du réseau PEROSH.

■ Quels sont à votre avis les prochains défis scientifiques à relever pour faire avancer la prévention des risques professionnels en Europe ?

La mise en œuvre de stratégies de formation tout au long de la vie, de rotation du poste, de mobilité horizontale, de prévention secondaire et tertiaire et de réhabilitation au travail, devra être accentuée considérablement pour que la population active vieillissante demeure en bonne santé dans son activité. La mise en œuvre de mesures SST dans les entreprises à gestion externalisée devra être systématiquement améliorée.

Un redoublement des efforts de recherche sera nécessaire pour créer des lieux de travail mobiles sains dans le secteur des technologies de l'information. Les études sur la conception de machines et d'usines intégrant la dimension humaine deviendront de plus en plus importantes avec la complexité croissante des machines. Grâce à la réalité virtuelle, il sera possible de simuler les futurs procédés de production et de les concevoir en satisfaisant les besoins humains.

Pour améliorer le bien-être et la santé mentale dans les activités à forte pression, il faudra développer des stratégies d'adaptation fondées sur l'intervention. Les innovations appliquées aux secteurs à haut risque (énergie nucléaire, aviation) devront être transposées aux divers secteurs industriels ; des technologies et processus résistants aux catastrophes naturelles devront être conçus.

Les stratégies actuelles liées à la culture de prévention devront être adaptées pour être efficaces dans les PME. Il existe particulièrement un besoin de recherche en exposition et en estimation de risques multifactoriels. Il s'agit d'un sujet complexe qui doit être approché pas à pas, en commençant par les combinaisons les plus critiques.

■ **En tant que représentant de l'IFA, quelles sont les coopérations de recherche privilégiées entre votre Institut et l'INRS ?**

La coopération avec l'INRS est relativement ancienne. Tout récemment, nous avons renouvelé notre convention de partenariat. Les dernières coopérations portent sur l'étude d'un nouveau dispositif de protection pour scies à viande et sur la mise en commun de nos efforts dans l'enquête sur l'exposition combinée aux vibrations et aux postures contraignantes. Une autre coopération vise à décrire des lieux de travail susceptibles d'exposer aux risques de cancer par l'utilisation de produits chimiques. Par ailleurs, il y a eu des échanges réguliers en termes d'expertise dans les domaines des troubles musculosquelettiques, de l'amiante et des nanoparticules. Bien sûr, la coopération avec l'INRS ne se fait pas uniquement sur un plan bilatéral. PEROSH est l'exemple d'un réseau dans lequel INRS et IFA unissent leurs forces avec les autres partenaires européens. Dans ce contexte, il faut également citer le travail réalisé en commun depuis des années pour l'Agence européenne de SST au sein de l'observatoire du risque et du Topic Centre Occupational Safety and Health.

© DR



Dietmar Reinert,
Président du Conseil scientifique
de PEROSH,
Directeur adjoint IFA (Allemagne)

CARTE D'IDENTITÉ PEROSH

■ Créé en 2003

■ 13 organismes membres

BAuA (Allemagne), IFA (Allemagne), CIOP (Pologne), FIOH (Finlande), HSL (Grande-Bretagne), INRS (France), INSHT (Espagne), ISPEL (Italie), NRCWE (Danemark), PREVENT (Belgique), STAMI (Norvège), TNO (Pays-Bas), VUPB (République Tchèque)

■ Contacts

Didier Baptiste (Président)

Dr. Palle Ørbæk (Vice-Président)

Dr. Dietmar Reinert (Président du Conseil scientifique)

Site web : www.perosh.eu

BILAN D'ACTIVITÉ 2010 « ÉTUDES ET RECHERCHE »

En 2010, 108 études (soit 264 000 heures) ont été menées 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.

Le risque chimique, qui inclut des domaines tels que la toxicologie, la métrologie ou l'ingénierie des procédés, représente 25 % de l'activité de recherche. Quatre autres thématiques : « nanotechnologies et nanoparticules », « cancers professionnels », « bruits, vibrations, champs électromagnétiques, optique » et « risques mécaniques » constituent chacune environ 10 % du volume total.

31 études (d'une durée moyenne de 3 ans) se sont achevées en fin d'année 2010. Une synthèse de 30 d'entre elles est présentée dans les pages qui suivent. Une étude ne figure pas dans cette édition pour des raisons de propriété intellectuelle (brevet en cours) :

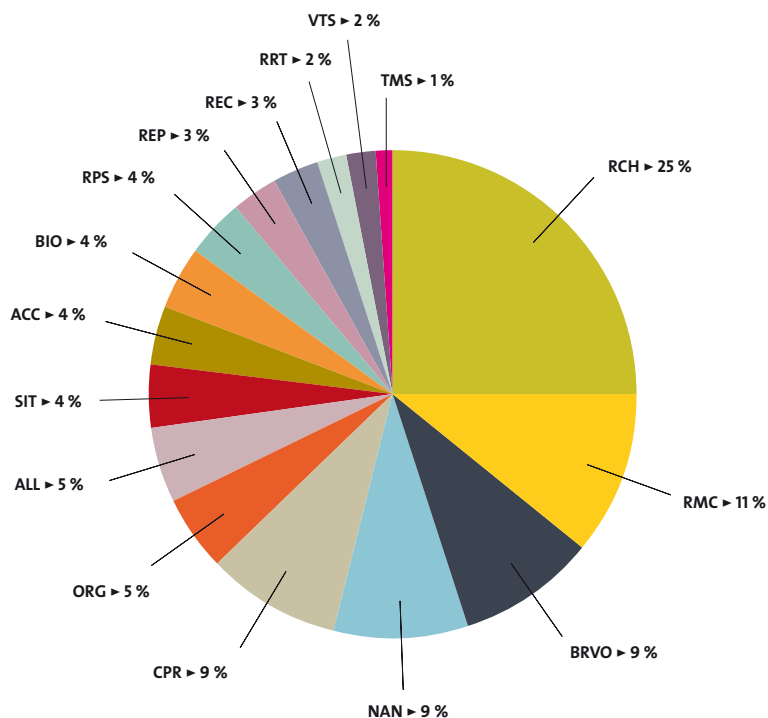
- réalisation d'un outil de cartographie d'exposition au poste de travail.

Quatre études terminées en 2009, non présentes dans la précédente édition, figurent également dans ce bilan :

- 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.

En 2011, 99 études sont inscrites au programme « études et recherche » : études nouvelles ou déjà engagées. Elles sont listées, par thématiques, dans les pages qui suivent.

RÉPARTITION DES « ÉTUDES ET RECHERCHE » 2010



LÉGENDES DES THÉMATIQUES

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



ACCIDENTOLOGIE, PERCEPTION DU RISQUE ET ACCEPTABILITÉ

Les chiffres d'accidents du travail restent une préoccupation car, bien qu'ils aient diminué, ils stagnent autour de 700 000 par an et leur gravité est importante. Les études de l'INRS portent à la fois sur des développements méthodologiques, en repensant la modélisation des accidents du travail et sur l'amélioration des pratiques de prévention en entreprises. Par ailleurs, la prise en compte de facteurs psychologiques (charge mentale) se développe dans le cadre de cette thématique.

Les études se situent dans la continuité d'actions précédemment engagées. Les travaux portent sur les heurts, glissades, trébuchements et autres perturbations du mouvement qui interviennent au cours du déroulement de la tâche et entraînent une blessure. Les actions sur la glissance des sols se sont également poursuivies.

La recherche s'appuie également sur l'exploitation de données relatives aux accidents du travail selon l'âge : analyse des caractéristiques des accidents survenus aux plus jeunes (3,25 fois plus élevés), ou aux travailleurs vieillissants à partir de 45 ans.

Par ailleurs, l'évaluation de l'impact de la formation initiale en santé et sécurité au travail sur la survenue d'accidents chez les moins de 30 ans est étudiée.

Au sein de cette thématique, 4 études sont en cours en 2011 :

Analyse coût-bénéfice d'actions de prévention en entreprise

Christian TRONTIN – DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

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 – DÉPARTEMENT ÉPIDÉMIOLOGIE EN ENTREPRISE

Efficacité des produits de communication en prévention : influence des modalités d'utilisation

Christian DAVILLERD – DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

Les accidents de plain-pied : cas des perturbations d'équilibre en situation professionnelle

Sylvie LECLERCQ – DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

ALLERGIES PROFESSIONNELLES

Les substances allergènes ou irritantes sont nombreuses, évaluées à plus de 350 dans le monde du travail. Elles sont présentes dans de multiples secteurs, sous différentes formes : solide, liquide, gazeuse, à l'état de poussière ou d'aérosol. Les allergies peuvent être respiratoires, cutanées ou oculaires. Le mode de prévention privilégié est de ne pas exposer les travailleurs aux allergènes, ce qui peut conduire à la substitution d'un produit par un autre. Néanmoins, il arrive que les connaissances sur celui-ci soient faibles et en particulier sur son caractère allergisant. La capacité de tester le potentiel allergisant ou irritant d'un produit avant son utilisation est donc primordiale. Les actions menées en 2010 ont mis l'accent sur les allergies respiratoires sans pour autant délaissier les allergies cutanées ou oculaires. Outre l'étude terminée 2010 présentée ci-après, la thématique allergie a donné lieu aux actions suivantes :

- démarche de réduction des émissions de farine des matériels utilisés en boulangerie pâtisserie ;
- études épidémiologiques sur les facteurs de risques d'inflammabilité bronchique et les marqueurs d'asthme professionnel, lors d'expositions au béryllium, aux détergents (amoniums quaternaires), aux chloramines et dans le cadre d'activités industrielles des secteurs du compostage des déchets, de la boulangerie et de la coiffure ;
- développement d'un outil de mesure non invasif de l'état respiratoire sur des condensats d'air exhalé dans le cadre de l'exposition au béryllium.

IDENTIFICATION D'ALLERGÈNES RESPIRATOIRES ET CUTANÉS PAR CYTOMÉTRIE EN FLUX SIGNES D'IRRITATION ET SANTÉ RESPIRATOIRE CHEZ DES ÉDUCATEURS D'ACTIVITÉS PHYSIQUES ET SPORTIVES EXPOSÉS AUX CHLORAMINES

Valérie DEMANGE avec la participation de Michel GRZEBYK

DÉPARTEMENT ÉPIDÉMIOLOGIE EN ENTREPRISE

et Fabien GERARDIN

DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

OBJECTIFS

L'étude chez des Educateurs d'Activités Physiques et Sportives (EAPS) affectés aux sites balnéaires vise à déterminer si l'exposition aux chloramines rencontrées dans l'air des piscines induit des symptômes d'irritation respiratoires, ORL, ou oculaires et à préciser si ces symptômes sont associés à des troubles fonctionnels respiratoires. Par ailleurs, cette étude fait suite à une demande de la Direction de la Jeunesse et des Sports (DJS) et du Service de Médecine Professionnelle et Préventive (SMPP) de la Mairie de Paris.

MÉTHODOLOGIE

Il s'agit d'une étude longitudinale comportant un suivi pendant 5 ans. La population est constituée de 158 EAPS de la ville de Paris volontaires et de 27 non exposés parmi les inspecteurs de sécurité de la ville de Paris. Les sujets ont été examinés à l'inclusion dans l'étude puis un, trois et cinq ans après celle-ci. Lors de chaque visite, ils ont été soumis à un questionnaire, un examen clinique, et une épreuve fonctionnelle respiratoire. À la visite d'inclusion, un questionnaire approfondi professionnel et médical comportait une reconstitution de carrière et des éléments relatifs aux antécédents médicaux. L'exposition aux chloramines a été caractérisée à partir des mesures d'exposition réalisées par la ville de Paris.

Il avait été prévu d'explorer les signes d'inflammation de la muqueuse respiratoire par des mesures du monoxyde d'azote (NO) exhalé. Cela n'a pu être réalisé qu'à une seule visite et pour une partie des sujets. Il en résulte qu'il n'a pas été possible d'étudier ces signes d'inflammation de la muqueuse respiratoire.

RÉSULTATS

Les niveaux d'exposition aux chloramines de la population d'étude sont en dessous de $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il n'est pas observé d'effet statistiquement significatif de l'exposition aux chloramines sur les symptômes respiratoires, ORL, oculaires ni sur la fonction ventilatoire, explorée par la spirométrie. L'effet de la durée extra-professionnelle en piscine (dans l'eau ou hors de l'eau) apparaît comme un effet protecteur sur certains symptômes respiratoires, les symptômes d'irritation du nez ou de la gorge, la conjonctivite et les symptômes cutanés. Cela pourrait s'expliquer par une diminution de la durée de l'activité extra-professionnelle en cas de gêne par ces symptômes.



© Serge Morillon / INRS

Suivi de salariés exposés
aux chloramines

L'effet de la durée de l'activité extra-professionnelle passée dans l'eau augmente la probabilité de présenter des symptômes d'irritation oculaires à la visite : ce type d'activité correspond à une plus grande exposition aux chloramines du fait d'une plus grande proximité avec l'eau mais aussi à un contact direct avec l'eau pouvant contenir d'autres produits irritants pour les yeux (chlore, etc.). Cela pourrait s'expliquer par le fait que, contrairement aux autres symptômes, ces symptômes d'irritation oculaire ne sont pas jugés suffisamment gênants pour arrêter cette activité.

CONCLUSIONS

Les niveaux d'exposition aux chloramines de la population d'étude sont faibles : la médiane des concentrations en chloramines à l'inclusion est de 0,16 mg/m³ et seuls 11% des EAPS ont une exposition à l'inclusion supérieure à 0,3 mg/m³, valeur limite recommandée récemment par l'ANSES. À ces faibles niveaux d'exposition, il n'est pas observé de lien avec les symptômes ni avec la fonction ventilatoire, que ce soit pour l'exposition actuelle ou pour l'exposition cumulée. Cela ne remet pas en cause les résultats d'études transversales observés pour des expositions plus fortes et conforte la nécessité de maîtriser la concentration en chloramines.

IDENTIFICATION D'ALLERGÈNES RESPIRATOIRES ET CUTANÉS PAR CYTOMÉTRIE EN FLUX

Michèle GOUTET avec la participation d'Elsa PEPIN et Masarin BAN

DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

OBJECTIFS

Le besoin d'un test permettant d'identifier les substances chimiques responsables d'allergies respiratoires ou cutanées est une préoccupation des hygiénistes industriels. Le test LLNA (Local Lymph Node Assay) est couramment utilisé actuellement pour identifier les composés chimiques susceptibles de provoquer une réaction allergique, mais il ne permet pas de différencier les sensibilisants respiratoires des sensibilisants cutanés. L'objectif de cette étude était de mesurer les réponses immunes induites chez des souris exposées à une gamme diversifiée de sensibilisants chimiques connus et d'identifier des marqueurs de différenciation pour le développement d'un test de discrimination.

MÉTHODOLOGIE

Six allergènes respiratoires et cinq cutanés ainsi que deux irritants ont été testés. Des souris ont été sensibilisées et provoquées, sur une période de 12 jours, avec des doses d'allergènes de potentiel immunogène comparable. 24 heures après la dernière exposition, les paramètres des réponses immunitaires ont été analysés, en cytométrie en flux, dans les cellules provenant des ganglions drainant le site d'application des produits.

RÉSULTATS

L'analyse statistique des résultats a montré que deux paramètres, sur l'ensemble des mesures effectuées, étaient capables de différencier les deux types d'allergènes :

- 1) Le récepteur membranaire de l'interleukine-4 (CD124) dont l'expression par les lymphocytes T a augmenté d'un facteur égal ou voisin de 2 avec tous les allergènes respiratoires, compris entre 1,2 et 1,4 avec les allergènes cutanés et égal ou proche de 1 avec les irritants.
- 2) L'interleukine-2 dont la production a augmenté avec les sensibilisants cutanés et les irritants alors qu'elle baissait avec les sensibilisants respiratoires.

CONCLUSIONS

Cette étude a mis en évidence deux marqueurs, CD124 et IL-2, capables d'identifier de façon sélective des sensibilisants chimiques de nature et de réactivité diverses. Ces marqueurs présentent certains avantages et devraient être utiles au développement d'un test murin d'identification des allergènes, applicable aux nouvelles molécules chimiques avant leur introduction dans les milieux professionnels :

- 1) CD124 et IL-2 sont respectivement et spécifiquement associés à l'asthme atopique et à l'eczéma de contact. L'expression différenciée de ces 2 marqueurs renforce la discrimination.
- 2) Ces paramètres sont mesurables dans des conditions expérimentales utilisant des doses à faible potentiel immunogène et peuvent donc être utilisés avec tous les types de sensibilisants.
- 3) Le dosage de ces paramètres en cytométrie en flux est simple, rapide et fiable.

Au sein de cette thématique, 3 études sont en cours en 2011 :

Inflammation des voies aériennes et exposition microbiologique des travailleurs des plates-formes de compostage : une étude longitudinale

Valérie DEMANGE – DÉPARTEMENT ÉPIDÉMIOLOGIE EN ENTREPRISE

Développement d'un test *in vitro* d'identification de sensibilisants chimiques

Fabrice BATAIS – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

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 – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ



© Gaël Kerbaol / INRS

Fabrication de savons
et détergents industriels

BRUITS, VIBRATIONS, CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES ET OPTIQUES

Un des objectifs de l'INRS est de développer des connaissances pour faciliter la mise en application de réglementations à finalité préventive. De nouvelles directives (bruit, vibrations, champs électromagnétiques, rayonnements optiques) fixent des valeurs d'action et des valeurs limites d'exposition au-delà desquelles il est demandé aux entreprises de renforcer la lutte contre ces nuisances.

BRUITS

Sur ce thème, les travaux de recherche de l'INRS visent à améliorer les méthodes de diagnostic et de localisation des sources de bruit et à étudier les nouveaux matériaux acoustiques ainsi que les protecteurs auditifs. Deux études terminées relatives à cet objectif sont présentées ci-après. Par ailleurs, l'INRS poursuit ses travaux relatifs à l'évaluation des multinuissances, dans le but notamment de comprendre les risques encourus par les salariés exposés au bruit et à des agents ototoxiques et à favoriser leur diagnostic précoce pour prévenir la survenue de maladies professionnelles. Une étude sur l'exposition concomitante bruit et solvant s'est achevée en 2010.

MODÉLISATION ACOUSTIQUE DES ÉCRANS ET CLOISONS DANS LES LOCAUX BRUYANTS

Patrick CHEVRET avec la participation de Daniel ROBINET et Jacques CHATILLON
DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

OBJECTIFS

L'utilisation d'écrans acoustiques est un des moyens collectifs de réduction du bruit parmi les plus simples à mettre en œuvre et les moins coûteux pour l'entreprise. Ils sont utilisés dans l'industrie pour isoler les postes de travail les plus bruyants, dans les bureaux paysagers pour cloisonner partiellement de grands espaces ouverts. Dans le logiciel d'acoustique prévisionnelle *RayPlus*, développé par l'INRS et utilisé par les CRAM/CARSAT et les bureaux d'étude, les écrans sont modélisés sous la forme de plans provoquant des réflexions parfaites aux rayons tirés. Ni les phénomènes de transparence des parois, ni les phénomènes de diffraction par les bords ne sont pris en compte. Ces restrictions conduisent en général à une sous-estimation du niveau sonore derrière les écrans. L'objectif de cette étude était d'intégrer à *RayPlus* la prise en compte de ces phénomènes afin que les utilisateurs du logiciel puissent simuler plus précisément les niveaux sonores dans les entreprises qui installent des écrans acoustiques dans leurs locaux.

MÉTHODOLOGIE

Une étude bibliographique a été conduite afin de déterminer les meilleures approches compatibles avec la méthode de tirs de rayons utilisée dans *RayPlus*. Les développements du nouveau modèle ont été effectués en utilisant les principes de la « théorie uniforme de la diffraction ». Des comparaisons ont été menées avec les résultats provenant de modèles analytiques et/ou tirés de la littérature. Ces comparaisons ont été conduites de façon progressive en partant de cas simples (écrans semi-infinis) pour se terminer sur des cas plus complexes tels que la succession de plusieurs écrans finis parallèles entre eux. Le modèle a aussi été comparé avec des mesures réalisées dans la chambre semi-anéchoïque de l'INRS. Pour la transparence des écrans, un modèle simple a été développé sur la base de l'approximation d'écrans minces.

RÉSULTATS

Le modèle de diffraction ainsi intégré à *RayPlus* a pu être validé par des comparaisons avec des modèles analytiques simples : les résultats sont convaincants. Les comparaisons ont pu être poursuivies avec des mesures réalisées en chambre semi-anéchoïque. Les écarts entre les calculs et les mesures sont de l'ordre de 2 dB et confirment la pertinence de l'approche. Pour ce qui est de la transparence, les difficultés théoriques étaient moindres. L'hypothèse d'écran mince donne les résultats attendus pour tous les cas testés. D'un point de vue ergonomie du logiciel, l'utilisateur est maître d'activer ou non, écran par écran, ces phénomènes ou de les négliger comme c'était le cas avec la version précédente.

CONCLUSIONS

La nouvelle version de *RayPlus* permet de prédire le champ acoustique diffracté et/ou transmis par des écrans. Ces cas sont certainement les plus fréquents en entreprise. Néanmoins, d'autres situations complexes n'ont pu être développées dans cette nouvelle version de *RayPlus*. Il s'agit de la diffraction par des formes complexes composées de plusieurs écrans non disjoints (volumes par exemple). Ces pistes de travail pourront être poursuivies puisque la démarche employée ici est compatible avec l'ensemble des situations complexes évoquées.

© Jean-Pierre Dalens / INRS



Mesures d'efficacité acoustique

TECHNIQUES D'ANTENNERIE ET D'INTENSIMÉTRIE ACOUSTIQUES POUR LE DIAGNOSTIC VIBRO-ACOUSTIQUE DES MACHINES EN MILIEU INDUSTRIEL

Armand NEJADE avec la participation de Jean-Louis BARBRY et Daniel ROBINET
DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

OBJECTIFS

Pour réduire le bruit des machines, le contrôle à la source est l'approche la plus efficace mais il exige, au préalable, la localisation, l'identification et la hiérarchisation des sources élémentaires d'une machine complexe. L'objectif de cette étude était de se doter de nouveaux outils de caractérisation des sources bruyantes, basés sur l'imagerie-antennerie acoustique, et de les évaluer sur des machines industrielles. Cette technique devait utiliser une série de capteurs de nouvelle technologie, des sondes de mesure directe de la pression et de la vitesse acoustiques. Au cours de l'avancement de cette étude, des difficultés imprévues de calibration des sondes sont apparues. Il a été décidé de développer une méthode complémentaire à l'intensimétrie acoustique, afin de lever les ambiguïtés d'interprétation sur la position des sources qui n'étaient pas distinguées entre la périphérie et l'intérieur de la machine.

MÉTHODOLOGIE

Une antenne de 16 capteurs (pressions-vitesse) a été construite et calibrée. Cette antenne a été testée préalablement sur des structures académiques et ensuite sur des machines industrielles (meuleuse, scie à panneau, centre d'usinage du bois à grande vitesse). En parallèle, une méthode de calcul du rayonnement acoustique des plaques a été élaborée à partir d'une technique existant pour les milieux discontinus. Cette deuxième méthode est complémentaire de la première puisqu'elle permet de séparer les sources périphériques des sources internes d'une machine bruyante. Elle a également été testée sur des structures connues avant d'être appliquée aux mêmes machines industrielles.

RÉSULTATS

Les cartographies d'intensité obtenues à partir de l'antenne d'intensimétrie acoustique ont localisé et quantifié, sur le plan de mesure, les sources émettrices de bruit dans les structures de ces machines. La méthode de calcul du rayonnement a ensuite séparé les contributions dues aux éléments périphériques des machines (caisson pour la scie et le centre d'usinage de bois, carter de protection pour la meuleuse) par rapport aux autres sources (moteurs, outils, lame de scie, turbulences et échappement d'air...).



© Jean-Pierre Dalens / INRS

Conception d'outils de
caractérisation du bruit

CONCLUSIONS

Les difficultés liées au déploiement de capteurs de technologie récente ont été levées. L'antenne d'intensimétrie a donné des résultats satisfaisants et les méthodes de calcul de rayonnement, comme d'autres techniques, ont été développées dans l'étude pour valider les mesures du champ acoustique. L'ensemble permet d'obtenir des images des sources suffisantes, dans la majorité des cas, pour préconiser des solutions adaptées de réduction du bruit.

PRESBYACOUSIE CHEZ LE RAT PRÉALABLEMENT EXPOSÉ À DU BRUIT OU À UN SOLVANT

Pierre CAMPO avec la participation de Frédéric COSNIER
DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

OBJECTIFS

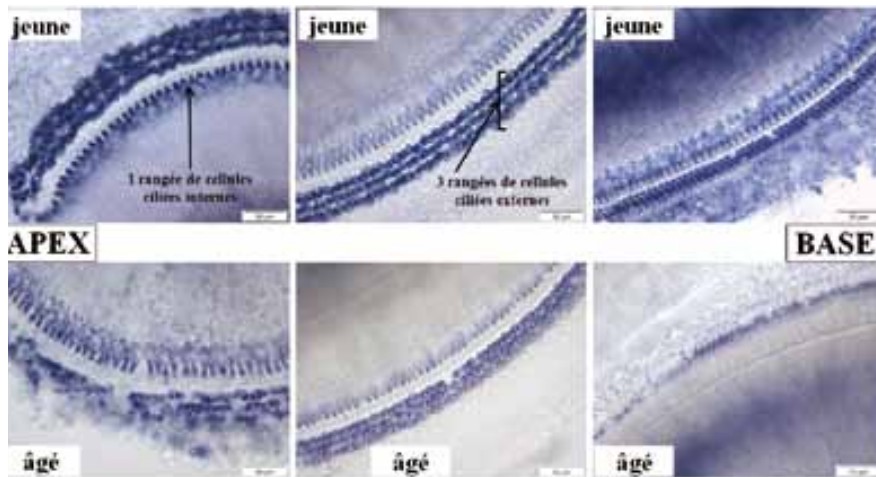
L'objectif de l'étude était de suivre la cinétique d'apparition et l'évolution de la presbyacousie chez des rats Brown Norway témoins, ou chez des rats de 6 mois exposés à un bruit d'une intensité de 86,2 dB pendant 6 heures, soit un Lex,8h de 85 dB, ou à une concentration de 300 ppm de styrène.

MÉTHODOLOGIE

Les expositions au bruit et/ou au styrène duraient 6 heures par jour, 5 jours/semaine, pendant 4 semaines. Les performances auditives des animaux ont été suivies sur une période de 2 ans, ce qui correspond à l'espérance de vie de ces rats. Compte tenu de la durée pendant laquelle les mesures ont été effectuées, il était essentiel d'utiliser une technique non-invasive pour évaluer les performances cochléaires des animaux. Cette technique repose sur la mesure d'oto-émissions acoustiques évoquées. Lorsque l'oreille est stimulée par deux sons purs : f_1 et f_2 , appelés primaires, elle renvoie des sons de faibles intensités qui sont des combinaisons arithmétiques des primaires, comme $2f_1-f_2$. Quatre couples de primaires (f_1, f_2) ont été testés. L'intensité des oto-émissions acoustiques évoquées ($2f_1-f_2$) a été enregistrée pour des intensités des primaires variant de 30 à 75 dB SPL.

RÉSULTATS

L'étude a montré que les mesures de l'amplitude oto-émissions acoustiques évoquées ($2f_1-f_2$) permettent de détecter des déficits auditifs temporaires, comme la fatigue auditive, ou définitifs, comme la perte auditive. Seule l'exposition au bruit a provoqué des diminutions d'amplitude à la fois temporaires et permanentes des $2f_1-f_2$. Ces résultats renforcent la pertinence de la valeur d'un Lex,d de 85 dB(A) proposée par la Directive européenne 2003/10/EC comme valeur de déclenchement d'action. Il est donc impératif de protéger les salariés exposés à un bruit d'un Lex,d de 85 dB et plus. Par ailleurs, l'utilisation des $2f_1-f_2$ a permis de mettre en évidence l'impact d'une exposition sonore subie à 6 mois, âge adulte chez le rat, sur la profondeur de la presbyacousie mesurée à 24 mois, âge considéré comme avancé pour cet animal. Une presbyacousie aggravée de 7 dB a été mesurée chez les rats de 24 mois préalablement exposés au bruit.



Analyse de l'évolution
d'une exposition sonore
sur les cellules ciliées

En revanche, les z_{f1-f2} n'ont pas permis de déceler une détérioration des performances cochléaires chez les animaux exposés au styrène. Néanmoins, les données histologiques relatives aux cellules ganglionnaires des animaux exposés à ce solvant aromatique soulignent l'impact nocif d'une telle exposition sur la cochlée.

CONCLUSIONS

Le suivi longitudinal de sujets exposés au bruit à l'aide des mesures d'oto-émissions évoquées (z_{f1-f2}) peut être envisagé en médecine du travail. Les avantages des z_{f1-f2} sont multiples : ce sont des mesures objectives, reproductibles, qui ne nécessitent pas un isolement acoustique très performant. Par ailleurs, elles permettent de détecter une fatigue du récepteur auditif. Avec de telles mesures, il est donc possible d'isoler les performances du récepteur de celles du système nerveux auditif central qui, dans certaines conditions, peut corriger le dysfonctionnement du récepteur. Pour finir, cette étude souligne la pertinence de la valeur d'un Lex,d de 85 dB(A) proposée par la Directive européenne de 2003 comme valeur de déclenchement d'action. Il est impératif de protéger les salariés exposés à un bruit dès qu'un Lex,d de 85 dB est atteint.

Au sein de cette thématique, 5 études sont en cours en 2011 :

Techniques d'holographie acoustique pour la caractérisation des machines industrielles bruyantes

Armand NEJADE – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

Amélioration de l'intelligibilité de signaux utiles dans le bruit : application aux bureaux ouverts

Patrick CHEVRET – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

Protection individuelle contre le bruit : le point sur les méthodes de mesures in situ de l'efficacité réelle et individuelle des protecteurs

Nicolas TROMPETTE – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

Test auditifs « objectifs » dans la prévention des risques de surdité professionnelle : une alternative à l'audiométrie tonale

Pierre CAMPO, Thomas VENET – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

Développement de méthodes de caractérisation in situ des propriétés acoustiques des parois dans les locaux industriels

Jacques CHATILLON – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

© Gaël Kerbaol / INRS



Utilisation de bouchons d'oreille

VIBRATIONS

Plus de 10% des salariés sont exposés à des vibrations transmises au système main-bras par des machines portatives ou guidées à la main. Cette exposition peut entraîner à long terme des maladies professionnelles reconnues, environ 200 cas par an.

Pour approfondir les connaissances dans le domaine des vibrations main-bras, l'INRS développe des actions en faveur du dépistage (solution pour la prédiction des doses vibratoires) et de l'évaluation (appareil de mesure quantitative du risque).

Concernant les vibrations globales du corps, des travaux portant sur la prise en compte de co-facteurs visent à effectuer des mesures statiques et dynamiques des postures de conducteurs d'engins mobiles vibrants.

Au sein de cette thématique, 2 études sont en cours en 2011 :

Aide à la mise en œuvre du décret Vibration pour les opérateurs de machines vibrantes tenues à la main

Éric CARUEL – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

Étude d'instruction pour la prise en compte de la posture dans l'évaluation de l'exposition aux vibrations globales du corps de conducteurs d'engins mobiles

Maël AMARI – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

© Patrick Delapierre pour l'INRS



Engin
de chantier

CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES ET OPTIQUES

Dans le domaine des champs électromagnétiques, les populations sont exposées du fait 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. Une étude s'est achevée sur ce thème en 2010 (cf. ci-dessous).

Dans le domaine des rayonnements optiques, des études destinées à collecter les niveaux d'exposition aux différentes sources de rayonnements artificiels, à définir une méthodologie d'évaluation des risques *in situ* et à évaluer les moyens de protection, se sont poursuivies.

D'autres études sur les rayonnements optiques concernent :

- l'utilisation de dispositifs à diodes électroluminescentes (LED) ;
- les caractéristiques des équipements de protection individuelle de l'œil ;
- l'évaluation de l'exposition aux éclairages scéniques pour les salariés du spectacle.

BILAN DES EXPOSITIONS AUX RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES ET ÉVALUATION DES MOYENS DE PRÉVENTION

Philippe DEMARET avec la participation de Patrice DONATI

DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

et Jean-Pierre SERVENT – DÉPARTEMENT EXPERTISE ET CONSEIL TECHNIQUE

OBJECTIFS

Les applications industrielles basées sur les propriétés physiques des ondes électromagnétiques pour lesquelles l'exposition est supérieure aux valeurs d'action fixées par la Directive européenne 2004/40/CE se sont multipliées au cours des dernières années. La publication prévue en 2012 d'une directive « champs électromagnétiques » suscite des demandes d'assistance de plus en plus nombreuses de la part des entreprises. L'INRS a réalisé une étude dont l'objectif est de déterminer les équipements rayonnants et leur nombre, et de dresser un bilan des expositions aux champs électromagnétiques.

MÉTHODOLOGIE

Cette étude a été menée en collaboration avec les 9 Centres de Mesures Physiques des CARSAT/CRAM. Un groupe d'experts appelé groupe « champs électromagnétiques » a été constitué. La conduite de l'étude a débuté par la détermination des équipements, que des mesures préalables avaient montrés comme particulièrement émissifs, et leur classement en 8 familles. Une étude de marché a permis d'en évaluer l'effectif pour chacune d'elles. Les familles les plus importantes sont celles du « soudage par résistance » et des « magnétiseurs-démagnétiseurs ». Ce travail permet d'estimer à plus de 100 000 le nombre d'opérateurs exposés à des champs électromagnétiques industriels. Le groupe a rédigé un protocole de mesures pour chacune des 8 familles afin de recueillir et d'analyser les données de façon homogène et représentative des conditions d'exposition. 635 fiches représentant chacune un poste de travail ont été recueillies. Elles donnent les valeurs de champs électromagnétiques aux postes de travail. Pour chaque mesure, un indice de sévérité égal au rapport entre la valeur mesurée et la Valeur Déclenchant l'Action (VDA) correspondante, définie par la Directive européenne 2004/40/CE, a été calculé.

Pour chaque famille, des indices statistiques donnent la distribution de la sévérité électromagnétique des équipements et sa variabilité. Ces résultats, intégrés dans un guide de bonnes pratiques serviront aux préventeurs des entreprises pour estimer si, a priori, un équipement nécessite des mesures pour évaluer sa conformité vis-à-vis de la Directive européenne.



© Jean-Pierre Dalens / INRS

Mesures de rayonnements électromagnétiques

RÉSULTATS

Pour 7 familles d'équipements sur les 8 identifiées, 25 à 50 % des mesures effectuées ont donné un indice de sévérité supérieur à 1. Ces équipements sont susceptibles d'exposer les opérateurs à leur poste de travail, à des valeurs de champ électromagnétique supérieures aux VDA correspondantes. Pour la plupart des équipements, la seule démarche de prévention rencontrée en entreprise consiste à éloigner le plus possible le poste de travail de la source d'émission. Les solutions techniques pour réduire l'exposition se rencontrent principalement sur les fours « micro-ondes » et les presses « hautes fréquences » modernes que les fabricants équipent avec un blindage ou, selon la taille de l'objet à souder, avec un patin de masse.

CONCLUSIONS

Ce travail est le premier en Europe à notre connaissance à avoir estimé le parc de machines rayonnantes et réalisé un tel bilan des expositions industrielles aux champs électromagnétiques. Il permettra la réalisation d'un guide de bonnes pratiques pour aider les entreprises à identifier les principaux équipements à risque, à évaluer les probabilités de dépassement de la VDA et les moyens de prévention. Il s'agit d'une première étape. Les mesures vont se poursuivre pour compléter le nombre de fiches pour certaines familles (magnétiseurs, chauffage par micro-ondes...) qui recouvrent des équipements de puissance et dimension très variables. L'étude a également mis en évidence la difficulté de mesurer l'exposition dans le cas de l'application « soudage par résistance » du fait de temps de soudage très brefs. Une solution technique a été trouvée pour la réalisation de mesures correctes.

Au sein de cette thématique, 2 études sont en cours en 2011 :

CatRayon « Spectacle » – Outil pour déterminer l'exposition énergétique aux dispositifs d'éclairage scénique

Serge SALSU – DÉPARTEMENT INGÉNIEURIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

Dispositif d'accompagnement à la mise en œuvre du décret 2010-750 du 2 juillet 2010 relatif à la « protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements optiques artificiels »

Serge SALSU – DÉPARTEMENT INGÉNIEURIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

CANCERS PROFESSIONNELS

En matière de prévention du risque cancérigène en entreprise, l'Institut a acquis une expérience dans le domaine de la mise au point de méthodes de prélèvement et de dosage de polluants dans l'atmosphère ou les milieux biologiques, notamment pour les composés cancérigènes. Ces études sont de plus en plus souvent menées dans un cadre global associant des équipes pluridisciplinaires. Dans le domaine de la toxicologie (surveillance biologique et toxicologie expérimentales), plusieurs études se sont achevées en 2010.

Par ailleurs, des études ont été menées dans des secteurs où l'exposition à des cancérigènes est possible. Elles se poursuivent en 2011 :

- les opérations de maintenance dans les usines d'incinération d'ordures ménagères ;
- le traitement des déchets de bois dangereux ;
- le captage des fibres céramiques réfractaires sur postes fixes.

EFFET DE MÉTAUX ASSOCIÉS SUR LA CYTOTOXICITÉ ET LE POUVOIR TRANSFORMANT DE LA SILICE

Christian DARNE, Laurent GATE – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

avec la participation d'Edmond KAUFFER, Arlette PELTIER

DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

OBJECTIFS

Une hypothèse visant à expliquer la variabilité de la toxicité des silices est qu'une partie des effets pourrait être apportée par les contaminants présents dans les échantillons ou en surface des silices. Il est admis par ailleurs que les métaux de transition peuvent générer, dans les cellules et les organismes, des espèces réactives de l'oxygène toxiques pour les cellules. La question était donc de rechercher l'effet d'un métal de transition (autre que le fer, qui a été beaucoup étudié) lorsqu'il est présent au niveau des surfaces des silices (amorphe ou cristalline) ou en mélange dans les échantillons. Le cuivre a été choisi pour cette étude et a été utilisé sous forme d'acétates (solubles) ou de particules d'oxydes (insolubles).

MÉTHODOLOGIE

Les cuivres ont été utilisés en mélange avec une silice cristalline (le quartz Min-U-Sil) ou une silice amorphe (issue de terre de diatomée) à différentes concentrations et il a été également cherché à contaminer les surfaces de la silice cristalline avec du cuivre en partant d'acétates.

Les paramètres évalués ont été :

- effet sur le milieu biologique (modification du pH, de l'osmolarité) ;
- capacité à générer des espèces réactives de l'oxygène en milieu acellulaire ;
- solubilité du cuivre dans les milieux de culture ;
- effet sur la viabilité cellulaire (cytotoxicité) ;
- et potentiel transformant, c'est-à-dire capacité à induire des changements morphologiques des cellules, indicateurs de cellules potentiellement cancéreuses.

RÉSULTATS

La présence de cuivre ne modifie pas les paramètres (pH et osmolarité) du milieu de culture aux concentrations testées, indiquant que les conditions de traitement sont compatibles avec l'observation des effets. Les cuivres sous leur forme (I) sont capables de générer des espèces réactives de l'oxygène tel que révélé à l'aide de la sonde H₂-DCF (molécule devenant fluorescente suite à l'action d'espèces réactives de l'oxygène), les cuivres (II) en génèrent peu.

Le potentiel transformant des cuivres ou des mélanges silices/cuivres n'a pas pu être déterminé du fait de l'absence de reproductibilité du test de transformation cellulaire.

Tous les échantillons de cuivre testés sont cytotoxiques mais n'ont pas d'effet significatif sur la cytotoxicité induite par les silices lorsqu'ils sont mélangés à celles-ci. De même, le cuivre présent en surface de la silice cristalline n'induit pas de cytotoxicité supérieure à celle de la silice seule. Il a également été montré que la cytotoxicité des oxydes de cuivre était principalement causée par leur solubilisation dans le milieu de culture.

CONCLUSIONS

Une partie de l'étude a été amputée du fait de la non reproductibilité du test de transformation. Les travaux réalisés montrent que les effets cytotoxiques observés sont principalement dus aux ions cuivre présents dans le milieu. Les perspectives seraient de compléter cette étude en réalisant des tests de génotoxicité (recherche de l'atteinte du matériel génétique), et en recherchant la réponse des cellules en termes d'espèces réactives de l'oxygène. Ceci afin de déterminer si les ions cuivre sont les seuls responsables des effets observés ou s'il est possible de déterminer un possible effet des particules.

SURVEILLANCE BIOLOGIQUE DES PEINTRES UTILISANT DES CHROMATES

Francis PIERRE – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

avec la participation de François DIEBOLD – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS
et Olivier WITSCHGER – DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

OBJECTIFS

Les peintures à base de chromates sont des inhibiteurs de corrosion des métaux. En constructions navale et aéronautique, leur usage sur de grandes surfaces contribue à l'exposition des salariés au chrome. L'objectif de l'étude est d'établir une cartographie tant au niveau atmosphérique que biologique de l'exposition au chrome lors de l'application de peintures à base de chromates.

MÉTHODOLOGIE

Deux cent trente-quatre personnes appartenant à cinq constructeurs et sept entreprises de maintenance essentiellement dans domaine aéronautique ont été sélectionnées. Les sujets volontaires ont fourni des échantillons d'urine tant au travail qu'au domicile et une majorité d'entre-eux a été équipée, sur le lieu de travail, de système de prélèvement d'air. Trois mille deux cent vingt-et-un échantillons urinaires et quatre cent quatre-vingt-neuf prélèvements atmosphériques ont été réalisés. Le protocole de l'étude respecte les lois sur la recherche biomédicale et la liberté d'information. Les échantillons d'urine et d'air ont été analysés par spectrométrie d'émission à plasma inductif ou par spectrométrie d'absorption atomique à correction Zeeman.

RÉSULTATS

L'étude a montré à travers les mesures atmosphériques et biologiques que les opérations de ponçage et d'application des couches de peinture exposent les peintres de manière significative. Les situations d'exposition chez les constructeurs sont peu différentes de celles rencontrées dans les ateliers de peinture des entreprises de maintenance aéronautique.

CONCLUSIONS

Si l'application de peinture fait l'objet d'attention de la part des préventeurs, le ponçage est perçu comme moins polluant et se trouve moins bien encadré de dispositions préventives. Dans les faits, il expose à des concentrations équivalentes de chrome hexavalent. Il apparaît que les dispositions préventives de la profession peuvent être améliorées. En cas d'abaissement de la valeur limite atmosphérique en France la surveillance biologique par suivi urinaire ne serait plus utilisable.

© Claude Almodovar pour l'INRS



Cabine de peinture pour bateau

SURVEILLANCE BIOLOGIQUE DE L'EXPOSITION AUX MÉTAUX DANS LA FABRICATION D'ACIERS RÉFRACTAIRES

Jean-François HEILIER – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ
avec la participation de François DIEBOLD – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS
et Olivier WITSCHGER – DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

OBJECTIFS

Les aciers réfractaires sont des alliages métalliques qui renferment, outre le fer et le carbone, des métaux tels que le chrome qui leur procurent des propriétés particulières. La fabrication et la transformation des aciers réfractaires contribuent à l'exposition des salariés au chrome. La toxicité du chrome est fonction de son état de valence. Le chrome hexavalent est la forme la plus toxique et est un cancérigène reconnu pouvant être absorbé par voie pulmonaire. Les autres formes (métallique et trivalente) ne sont pas pour autant dénuées de toxicité. L'évaluation de l'exposition au chrome est réalisée par mesure de sa concentration atmosphérique. Cette approche ne permet toutefois pas de prendre en considération la variabilité interindividuelle tant dans l'exposition que dans la biotransformation du chrome. L'objectif de l'étude est d'établir une cartographie tant au niveau atmosphérique que biologique de l'exposition au chrome lors de la fabrication et de la transformation d'aciers réfractaires.

MÉTHODOLOGIE

Cent vingt-cinq sujets appartenant à 8 entreprises françaises (une aciérie, deux fonderies, deux chaudronneries, une entreprise de traitement de surface et deux entreprises de mécanique générale) ont été sélectionnés entre 2005 et 2009. Les sujets volontaires ont fourni des échantillons d'urine tant au travail qu'au domicile et 73 d'entre-eux ont été équipés, sur leur lieu de travail, de système de prélèvement d'air. Le protocole de l'étude respecte les lois sur la recherche biomédicale et la liberté d'information. Les échantillons d'urine et d'air ont été analysés par spectrométrie d'émission à plasma inductif ou par spectrométrie d'absorption atomique à correction Zeeman.

RÉSULTATS

Les sujets sont répartis en 10 catégories professionnelles [ajusteur/meuleur (9), décapeur (23), fondeur (13), machiniste (14), magasinier (3), manutentionnaire (6), métalliseur (9), opérateur plasma (2), réfractoriste (1), soudeur (29)] ; 16 témoins ont été recrutés. 2 211 dosages de chrome urinaires ont été réalisés. La concentration en chrome urinaire est comprise entre des valeurs non détectées et 122,9 µg/g créatinine. Les concentrations varient selon la profession. Les ouvriers actifs dans la métallisation par projection thermique présentent une excrétion significativement plus importante ($p < 0,05$). Les analyses atmosphériques réalisées au poste de travail mettent en évidence des concentrations médianes (min-max) de chrome atmosphérique de 75,7 µg/m³ (46,0 – 336,5) pour la métallisation au fil, 9,8 (non quantifiable – 205,0) pour la métallisation à la poudre et de 56,1 (20 – 245,0) pour la projection fusion.



Intervention de surveillance biologique auprès de salariés d'une fonderie

CONCLUSIONS

L'exposition des salariés actifs dans la fabrication et la transformation des aciers réfractaires diffère fortement selon les activités. En conclusion, la surveillance (biologique ou atmosphérique) doit être adaptée par métier.

MISE AU POINT DU DOSAGE URINAIRE DE TROIS HERBICIDES DÉRIVÉS DE L'URÉE ET DE LEURS MÉTABOLITES REPRÉSENTATIFS

Alain ROBERT, Philippe DUCOS – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

OBJECTIFS

Les herbicides dérivés de l'urée sont principalement employés pour l'entretien des zones agricoles. Pour les instances européennes, ce sont des substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets cancérigènes possibles.

Peu de données de terrain existent sur les expositions professionnelles à ces herbicides et leur affinité à passer la barrière cutanée fait que la surveillance biologique, qui prend en compte toutes les voies d'exposition, s'avère une technique de choix pour les évaluer.

L'objectif initial de cette étude était de mettre au point le dosage urinaire des trois herbicides de cette famille, les plus utilisés en France, l'isoproturon, le chlorotoluron, le diuron et de leurs métabolites les plus représentatifs, la 3,4-dichloroaniline (3,4-DCA), la 3-chloro-4-méthylaniline (3-CMA) et la 4-isopropylaniline (4-IPA) et de le valider sur des urines de salariés réellement exposés. Nous avons pu également étudier deux autres classes de métabolites : les méthyl-urées et les urées.

MÉTHODOLOGIE

Le dosage des herbicides et de leurs métabolites (12 substances) a été réalisé par chromatographie liquide haute performance couplée à la spectrométrie de masse en tandem (HPLC-MS/MS), avec préparation en ligne des échantillons urinaires.

Une première validation du protocole extraction/analyse a été réalisée sur des urines surchargées avec les molécules d'intérêt. Les effets de matrice ont été évalués et la linéarité, les fidélités (répétabilité et reproductibilité), l'exactitude et les limites de détection de la méthode ont été déterminées. Une deuxième validation a été réalisée sur des échantillons urinaires provenant de salariés réellement exposés et recueillis en début et fin de poste ou sur 24 heures.

© Gaël Kerbael / INRS



Remplissage de cuve
d'engin agricole
avant traitement

RÉSULTATS

Avec certains échantillons urinaires, les effets de matrice (pertes de signal) peuvent être importants, de l'ordre de 80 % pour les métabolites dérivés de l'aniline. Si l'utilisation d'étalons internes deutériés permet de résoudre le problème en terme de quantification, de telles pertes de signal ne sont pas acceptables en terme de sensibilité de la méthode. Une dilution des échantillons urinaires par 5 avec un mélange eau/acétonitrile avant injection sur le système de préparation en ligne permet de ramener les pertes de signal au pire à 20 %, voire de les supprimer et pour certains métabolites d'augmenter le signal. Les limites de détection sont de l'ordre de la centaine de nanogrammes par litre et compatibles avec les niveaux d'excrétion publiés pour la 3,4-DCA chez des personnes non professionnellement exposées.

Le protocole extraction/analyse a été validé sur des urines de salariés exposés et les métabolites très majoritairement les plus excrétés sont les méthyl-urées et les urées de chaque herbicide étudié et non pas les dérivés de l'aniline comme publié. Avec des recueils urinaires de 24 heures, des courbes d'élimination ont pu être tracées et les maxima d'excrétion ont été mesurés dans la première miction recueillie après l'opération exposante (épandage par pulvérisation).

CONCLUSIONS

Ce protocole d'extraction/analyse urinaire original, s'il permet, *a minima*, de juger de l'efficacité des protections individuelles mises en place, est l'outil analytique nécessaire à toute étude visant à évaluer les expositions professionnelles à l'isoproturon et au chlorotoluron, le diuron étant interdit d'usage depuis décembre 2008, et à les comparer à celles de la population générale.

La difficulté du terrain et le fait, qu'aujourd'hui, peu de laboratoires d'analyse travaillent en HPLC-MS/MS, rendent difficile une évaluation à grande échelle des expositions à ces herbicides.

ÉTUDE PAR INHALATION DE LA GÉNOTOXICITÉ DE L'OXYDE DE STYRÈNE ET DU STYRÈNE CHEZ LE RAT FISHER 344

Laurent GATE avec la participation de Frédéric COSNIER, Benoît COSSEC, Christian DARNE
DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ
et Eddy LANGLOIS – DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

OBJECTIFS

Le styrène, un des produits chimiques les plus utilisés dans l'industrie, est retrouvé en quantités importantes dans l'atmosphère des ateliers de fabrication des plastiques renforcés. Son métabolite, le styrène 7,8-oxyde, présent en moindres quantités dans ce secteur d'activité, est classé parmi les Cancérogènes, Mutagènes et Reprotoxiques (Cancérogène de catégorie 1B), ne possède pas de valeur limite d'exposition professionnelle. Afin d'améliorer les connaissances concernant la capacité de cet époxyde à induire des altérations du matériel génétique *in vivo*, une étude de toxicologie génétique par inhalation, voie majeure d'exposition professionnelle à ces substances, a été entreprise chez le rat de laboratoire.

MÉTHODOLOGIE

Les rats étaient exposés 6 heures par jour, 5 jours par semaine pendant 4 semaines au styrène 7,8-oxyde (25, 50 ou 75 ppm) ou au styrène (75, 300 et 1 000 ppm). À différentes étapes, pendant ou après l'exposition des animaux, des tests de toxicologie génétique étaient réalisés : tests des micronoyaux et des comètes (évaluation des cassures de l'ADN) sur les cellules du sang circulant, essais de recherche de mutations de l'ADN sur deux gènes distincts au niveau du sang et des lymphocytes de la rate. Ces expériences étaient complétées par la recherche d'adduits à l'ADN au niveau du tissu pulmonaire.

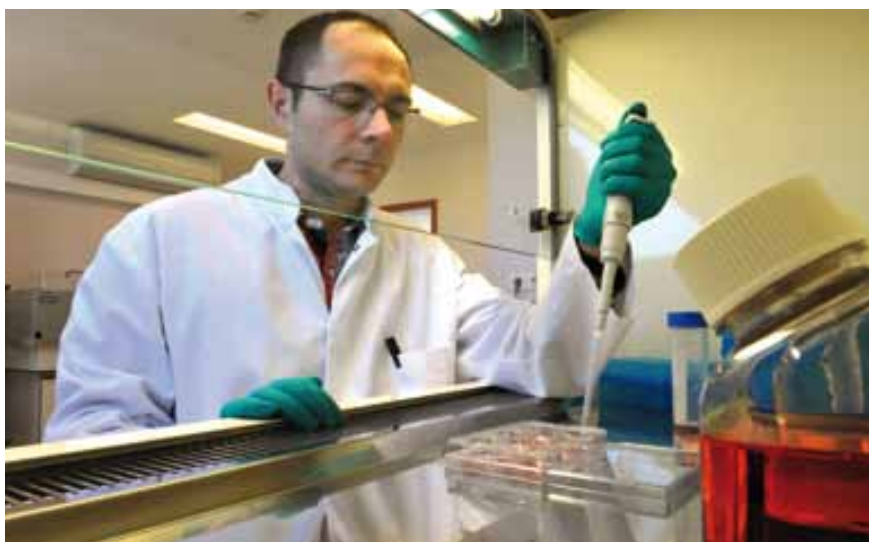
RÉSULTATS

Les résultats ont montré que le styrène 7,8-oxyde et le styrène n'entraînaient pas une augmentation significative des altérations du matériel génétique détectées par le test des micronoyaux. Au contraire du styrène 7,8-oxyde, le styrène induisait des cassures de l'ADN en présence d'une enzyme capable de cliver l'ADN au niveau de bases oxydées. Par ailleurs, les deux molécules augmentaient significativement la fréquence de mutants uniquement pour le gène étudié au niveau des lymphocytes de la rate. Enfin, l'exposition des animaux aux plus fortes concentrations de styrène (1 000 ppm) ou de styrène 7,8-oxyde conduisait à un accroissement significatif d'adduits à l'ADN qui ne semblaient pas spécifiques de ces molécules.

CONCLUSIONS

L'évaluation du potentiel génotoxique et mutagène du styrène et du styrène 7,8-oxyde a nécessité l'utilisation de plusieurs tests complémentaires. Nos résultats montrent que ces deux substances chimiques présentaient une activité mutagène, comme observée avec un seul des deux tests de mutagenèse utilisés. Cette différence peut provenir soit de la différence de sensibilité des deux gènes en tant que rapporteurs de mutations, soit de la différence en terme de tissu cible.

Par ailleurs, l'accroissement, chez les animaux exposés au styrène, des cassures de l'ADN détectées par le test des comètes après traitement des cellules avec une enzyme détectant certaines bases oxydées de l'ADN, suggère la mise en jeu d'un stress oxydatif qui ne serait pas lié à sa métabolisation en styrène 7,8-oxyde. L'augmentation des adduits à l'ADN non-spécifiques à la suite de l'exposition des animaux au styrène ou à son métabolite, suggère que ces molécules peuvent modifier l'ADN indépendamment d'une interaction directe avec lui. Cette approche expérimentale a permis de recueillir de nouvelles informations concernant la génotoxicité de cet époxyde et pourra être utile pour la réévaluation de la toxicité de cette molécule et la détermination d'une valeur limite d'exposition professionnelle. Cependant, afin de poursuivre et confirmer ces travaux, la réalisation d'essais complémentaires en particulier des études de cassures de l'ADN par le test des comètes sur d'autres organes (poumon et foie en particulier) et des tests de mutagénèse au niveau des lymphocytes de la rate, serait nécessaire.



© Jean-Pierre Dalens / INRS

Évaluation du potentiel
génotoxique et mutagène

SURVEILLANCE BIOLOGIQUE DE L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE AUX MÉDICAMENTS CYTOTOXIQUES : ÉTUDE DE TERRAIN

Sophie NDAW – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

OBJECTIFS

Largement utilisés dans la chimiothérapie des cancers, les médicaments cytotoxiques présentent une toxicité intrinsèque liée à leur mécanisme d'action sur les cellules tumorales. Certains de ces composés sont mutagènes, tératogènes et cancérogènes. Les expositions professionnelles surviennent lors de toutes les étapes de la mise en œuvre de ces médicaments (fabrication, préparation, administration, élimination) et résultent essentiellement d'un contact par voie percutanée ou d'une inhalation d'aérosols médicamenteux. Les objectifs principaux de cette étude étaient de fournir des données professionnelles d'exposition par le dosage urinaire de 4 cytotoxiques marqueurs (le cyclophosphamide, l'ifosfamide, le méthotrexate et le 5-fluorouracile) et d'évaluer l'efficacité des mesures de protection mises en œuvre. Des mesures de la contamination de l'environnement de travail par des prélèvements de surface ont également été réalisées au cours de l'étude afin de sensibiliser les salariés aux sources potentielles de contamination.

MÉTHODOLOGIE

Des prélèvements urinaires ont été effectués en début et en fin de poste de travail et durant cinq jours auprès de salariés d'établissements hospitaliers. Un questionnaire a été rempli chaque jour par les personnels suivis et les prélèvements de surface ont été réalisés durant les périodes d'activité.

Les échantillons urinaires et les échantillons de surface ont été analysés par chromatographie liquide haute performance couplée à la spectrométrie de masse en tandem (HPLC-MS/MS).

RÉSULTATS

Près de 250 personnes, constituées d'infirmiers, d'aides-soignants, d'agents hospitaliers, de préparateurs en pharmacie, de pharmaciens et de médecins, ont été suivies dans 12 établissements hospitaliers.

Des expositions ont été quantifiées chez plus de la moitié des personnels de soins suivis. Rapportées cependant au nombre total de prélèvements recueillis, le pourcentage d'échantillons positifs variait de 0 % à 30 % en fonction des établissements. Ces données traduisent des expositions non systématiques mais plutôt sporadiques. Toutes les catégories professionnelles ont été concernées par ces expositions, exception faite des médecins mais le nombre de participants était très faible. Les 4 indicateurs d'exposition ont été quantifiés dans les échantillons urinaires, principalement dans les prélèvements de fin de poste. Les niveaux des expositions observées étaient faibles, avec des maxima de l'ordre de 20 fois les limites de quantification pour le cyclophosphamide et l' α -fluoro- β -alanine. Les prélèvements de surface ont mis en évidence des contaminations sur diverses surfaces comme les gants, les téléphones ou les poignées de portes.



Intervention de surveillance biologique en milieu hospitalier

CONCLUSIONS

Les expositions, mises en évidence par cette évaluation biologique, traduisent un manque d'efficacité des mesures de prévention généralement mises en œuvre. Des améliorations des actions de prévention sont encore nécessaires et elles devront porter aussi bien sur l'information et la formation des personnels que sur la mise à disposition d'équipements de protection individuelle adaptés et sur des mesures organisationnelles permettant la maîtrise des contaminations. Une évaluation de l'impact et de l'efficacité de ces mesures de prévention devra enfin être réalisée régulièrement.

ABSORPTION PERCUTANÉE DE LA 1-VINYL-2-PYRROLIDONE IN VIVO ET EX VIVO CHEZ LE RAT

Fabrice MARQUET, Jean-Paul PAYAN avec la participation de Dominique BEYDON
DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

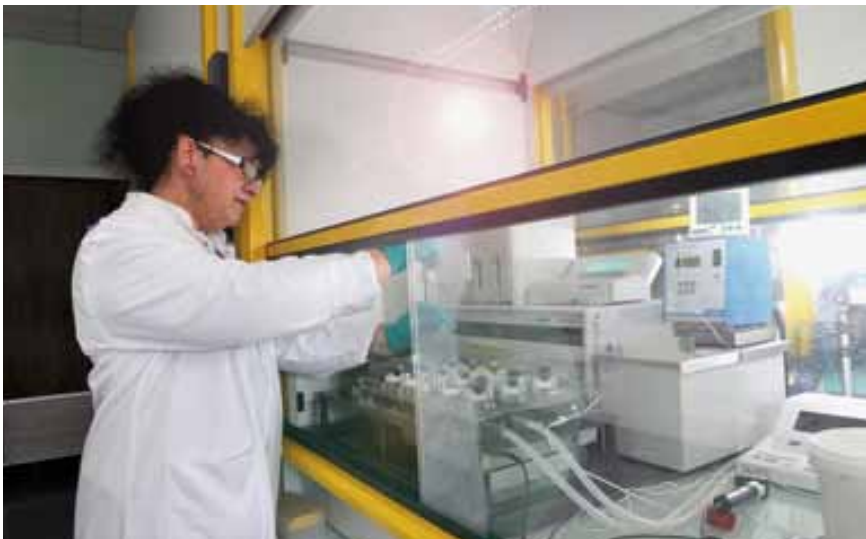
OBJECTIFS

La 1-vinyl-2-pyrrolidone (NVP, N° CAS 88-12-0) est principalement utilisée comme monomère dans l'industrie des polymères (polyvinylpyrrolidone ou polyvidone et copolymères) pour la fabrication de produits pharmaceutiques, d'adhésifs ou encore de cosmétiques. La NVP est un cancérigène avéré chez le rat après exposition par voie inhalatoire (0 à 20 ppm, 6 h/jour, 5 j/semaine pendant 2 ans). Bien que l'absorption percutanée soit la seconde voie d'exposition en milieu professionnel, il n'existe à notre connaissance que très peu de données sur le passage percutané de la NVP. Le premier objectif de cette étude était de déterminer le flux de passage percutané *in vivo* et *ex vivo* chez le rat et *ex vivo* chez l'homme et de les comparer. Le second objectif était de déterminer si l'un des métabolites urinaires de la NVP pouvait constituer un indicateur d'exposition utilisable en surveillance biologique.

MÉTHODOLOGIE

Les expérimentations ont été réalisées en utilisant de la NVP radiomarquée au carbone 14 (^{14}C -NVP). Le flux d'absorption percutanée *in vivo* a été déterminé sur des lots d'animaux après différents temps d'exposition. Les expérimentations *ex vivo* ont été réalisées avec de la peau de rat ou des échantillons de peau d'origine humaine en utilisant des cellules à diffusion type cellules de Franz.

© Jean-Pierre Dalens / INRS



Évaluation de l'absorption percutanée

RÉSULTATS

Après administration intraveineuse de ^{14}C -NVP (voie de référence), la radioactivité est rapidement et intensément excrétée au niveau urinaire. Les flux d'absorption et de pénétration percutanée de la NVP pure mesurés *in vivo* chez le rat sont proches et sont plus faibles que ceux obtenus avec un analogue structural, la N-méthylpyrrolidone. Le flux d'absorption mesuré *ex vivo* chez l'homme est comparable à celui mesuré chez le rat, bien que légèrement plus faible. Après séparation par chromatographie liquide haute performance du pic urinaire principal (64 % de la radioactivité administrée), l'analyse du pic a permis de conclure que le pic principal des métabolites urinaires de la NVP est la N-(1,2-éthanediol)-2-pyrrolidinone. Cependant, il n'a pas été possible de disposer de ce métabolite purifié afin d'une part, d'être certain que le métabolite principal soit effectivement le métabolite attendu, et d'autre part, de déterminer si celui-ci pouvait constituer un bio-indicateur d'exposition.

CONCLUSIONS

Après administration intraveineuse, la NVP est intensément métabolisée et ses métabolites sont rapidement et en quasi-totalité excrétés dans les urines. Les flux d'absorption et de pénétration percutanées de la NVP sont comparables, indiquant qu'il n'y a pas ou peu d'accumulation au niveau de la peau lors de l'exposition. Le flux d'absorption mesuré *ex vivo* chez l'homme est comparable à celui mesuré chez le rat. Au vu de ces résultats, l'extrapolation à l'homme du flux d'absorption percutanée de NVP déterminé *in vivo* chez le rat est possible.

Au sein de cette thématique, 9 études sont en cours en 2011 :

Surveillance biologique de l'exposition au chrome dans l'industrie du chromage électrolytique

Nadège JACOBY – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

Suivi urinaire de salariés lors d'une exposition au béryllium dans l'industrie française

Jérôme DEVOY, Jean-François HEILIER – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

Exposition professionnelle à la N-méthylpyrrolidone : état des lieux

Benoît COSSEC – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

Confirmation de la pertinence de l'emploi du 3-hydroxybenzo[a]pyrène comme indicateur biologique d'exposition aux hydrocarbures

Patrice SIMON – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

Estimation des fractions de cancer du poumon attribuables aux expositions professionnelles reconnues : une étude cas-témoin de population

Ève BOURGKARD – DÉPARTEMENT ÉPIDÉMIOLOGIE EN ENTREPRISE

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, Michel GRZEBYK – DÉPARTEMENT ÉPIDÉMIOLOGIE EN ENTREPRISE

MESuRe, Méthode d'estimation de la survie relative

Michel GRZEBYK, Guy HEDELIN – DÉPARTEMENT ÉPIDÉMIOLOGIE EN ENTREPRISE

3-Hydroxybenzo[a]pyrène bio-indicateur potentiel d'exposition aux hydrocarbures aromatiques polycycliques : rôle du cycle entérohépatique

Jean-Paul PAYAN – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

Étude des procédés de métallisation : caractérisation des aérosols émis et surveillance biologique des opérateurs

Nadège JACOBY – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

CONCEPTION DES ÉQUIPEMENTS, DES LIEUX ET DES SITUATIONS DE TRAVAIL

Cette thématique repose sur la démarche dite de « Prévention intégrée » qui consiste à appliquer des principes de conception sûre aux équipements (machines, outils...) et aux lieux de travail (bâtiment, atelier...).

Les recherches menées en 2010 ont porté à la fois sur l'approche méthodologique et sur les outils de conception. Elles se situent majoritairement dans la continuité d'actions précédemment engagées. Cinq se sont terminées en 2010.

D'autres travaux utilisent les outils logiciels, également dénommés « Mannequins numériques », pour permettre aux concepteurs de simuler différents scénarii d'une future situation de travail et de vérifier le respect de principes d'ergonomie physique (anthropométrie, postures, efforts, stabilité, etc.). Pour ce qui concerne les techniques de réalité virtuelle, leur utilisation permet de valider la faisabilité technique de simulateurs dynamiques (exemple : conduite de chariot élévateur).

ÉTUDE D'UNE AIDE LOGICIELLE À L'AMÉNAGEMENT DE LOCAUX DE TRAVAIL

Frédéric GARDEUX – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

avec la participation de Jean-Louis POMIAN

DÉPARTEMENT EXPERTISE ET CONSEIL TECHNIQUE

OBJECTIFS

L'objectif de cette étude consiste à spécifier, développer et évaluer l'apport d'une aide logicielle, accessible aux TPE/PME, soutenant une démarche de conception globale et participative des lieux de travail. Cette aide doit prendre en compte des prescriptions liées à l'usage et à la sécurité, comme l'accessibilité aux organes du bâtiment et aux postes de travail, l'implantation des voies des circulations, les besoins de communication, etc. En offrant une meilleure lisibilité que les plans 2D et une plus grande interactivité que les maquettes en carton, il s'agissait de vérifier l'hypothèse selon laquelle un outil de maquettage numérique et interactif, basé sur les dernières avancées informatiques en matière de manipulation d'objets 3D, auxquels sont attachés des règles de conception, contribue à éviter des erreurs de (re)conception de locaux ayant un impact direct sur la santé, sécurité des futurs utilisateurs.

MÉTHODOLOGIE

Une maquette d'outil logiciel dénommé « MAVImplant » a été spécifiée et développée par le laboratoire. Celle-ci a ensuite été évaluée et validée par deux groupes d'apprentis boulangers dans le cadre d'une convention de partenariat avec l'Institut National de la Boulangerie Pâtisserie.

Au terme de ces tests, un questionnaire a été soumis à chaque élève et les données relatives aux maquettes numériques produites ont été collectées pour estimer le niveau d'aboutissement des projets réalisés. Pour compléter ces évaluations, l'outil a été présenté à des intervenants en maîtrise d'œuvre externe (architectes, programmistes, équipementiers, etc.). Il s'agissait, au travers d'entretiens, d'évaluer, du point de vue de chacun de ces acteurs, l'intérêt et les apports de ce type d'outil et de valider le contenu du document de synthèse produit par le logiciel.

RÉSULTATS

Une maquette d'un outil logiciel répondant au besoin de l'étude a été produite. L'analyse des questionnaires et des projets a confirmé que cet outil est facilement pris en main par le public visé, qu'il permet de réaliser rapidement un maquettage 3D d'un futur lieu de travail. Les évaluations montrent également qu'il constitue une aide appréciable pour capitaliser des données sur le projet. Des échanges avec les intervenants en maîtrise d'œuvre externe, il ressort que la cible visée, les maîtres d'ouvrage occasionnels des petites entreprises, est pertinente. Selon eux, ce type d'outil peut avantageusement être utilisé pour mettre en place une réelle démarche « projet » et pour impliquer utilement la maîtrise d'ouvrage. Par ailleurs, les données contenues dans le document de synthèse produit par le logiciel ont été jugées comme une réelle contribution à l'expression du besoin par la maîtrise d'œuvre.

CONCLUSIONS

Les évaluations de l'aide logicielle proposée dans le cadre de cette étude montrent que cette dernière répond à un réel besoin d'outils pour accompagner les projets de conception ou d'aménagement de locaux des TPE/PME. La cible initiale, à savoir les maîtres d'ouvrage occasionnels, est également confirmée, à la fois par les résultats des tests et les entretiens avec la maîtrise d'œuvre externe. Une étude d'instruction pour diffuser ce logiciel par le biais des branches professionnelles est en cours.

© Jean-Pierre Dalens / INRS



Simulation prédictive
d'aménagement
de locaux

APPORTS ET LIMITES DES MODÈLES ANTHROPO-MÉTRIQUES NUMÉRIQUES POUR L'ÉVALUATION ERGONOMIQUE DE POSTES DE TRAVAIL

Jonathan SAVIN – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL
avec la participation de Laurent CLAUDON, Martine GILLES – DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

OBJECTIFS

Au cours des vingt dernières années, des modèles anthropométriques numériques ont été intégrés dans la plupart des outils informatisés utilisés par les concepteurs de machines. Ils sont mis en œuvre en particulier pour le dimensionnement de postes de travail ou l'évaluation des facteurs de risques biomécaniques de l'activité future prescrite. Si ces outils se généralisent dans les bureaux d'études, leur mise en œuvre reste compliquée et repose sur des approximations de la réalité pouvant avoir des répercussions sur la santé et la sécurité de l'utilisateur futur, par exemple en termes de postures adoptées ou d'efforts exercés. L'objectif de cette étude était donc de caractériser le niveau de confiance des évaluations biomécaniques réalisées à partir de ces outils.

MÉTHODOLOGIE

L'étude s'est limitée à la mise en œuvre des deux principaux mannequins numériques utilisés dans l'industrie. La procédure retenue pour qualifier le niveau de confiance des évaluations biomécaniques réalisées avec ces mannequins consiste à les comparer à celles de situations de référence, composées de données de terrain ou de laboratoire relatives aux postures (vidéos, capture de mouvement) et aux efforts (mesures électromyographiques, plateformes de force). Ces situations de référence, au nombre de 3, concernent d'une part, une situation industrielle réelle (détourage de garniture de portière), et d'autre part, deux situations expérimentales instrumentées, provenant de précédents travaux menés à l'INRS.

RÉSULTATS

Dans tous les cas considérés, les mannequins numériques ont permis de restituer fidèlement les postures réelles de l'opérateur et de les visualiser de manière enrichie et interactive (choix de l'angle de vue, coloration automatique des postures en dehors des zones de confort ou recommandées). En revanche, la simulation des efforts n'est pas encore assez fiable pour une évaluation biomécanique d'une situation de travail : dans plusieurs configurations expérimentales étudiées pour le coude et l'épaule, les sollicitations réelles, exprimées relativement à l'effort maximal de référence, ont été sous-évaluées par les mannequins numériques, avec le risque de considérer comme acceptable une situation de travail qui mettrait en jeu la santé de l'opérateur (risque de survenue de trouble musculo-squelettique par exemple).

CONCLUSIONS

L'étude a porté sur un nombre de sujets limité et/ou des données biomécaniques issues de travaux antérieurs. Même si les observations réalisées correspondent à la bibliographie (en particulier les données électromyographiques), il convient de les interpréter avec prudence. Globalement, les mannequins numériques présentent un intérêt réel pour le dépistage précoce des facteurs de risques biomécaniques liés aux postures, mais également en tant qu'outil favo-



Simulation numérique
de postes de travail

risant la collaboration et la communication au sein d'une équipe « projet » (concepteurs, utilisateurs, préventeurs, etc.). Toutefois, ils ne sont pas encore assez avancés pour une évaluation fiable des efforts : il est nécessaire d'améliorer les modèles biomécaniques mis en œuvre, de compléter et mettre à jour les valeurs d'effort maximal de référence, et de développer les modules d'aide à l'animation automatique (capture de mouvement, lois de contrôles autonomes). Contrairement au message de certains éditeurs, il est indispensable d'avoir recours à un ergonome expérimenté pour expertiser les résultats de simulation et éviter des effets éventuellement nocifs d'une interprétation hâtive.

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 – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL
avec la participation de Liën WIOLAND, Florence HELLA – DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

OBJECTIFS

La recherche de productivité conduit le secteur de la logistique à développer les manutentions mécanisées et à accroître son parc de chariots élévateurs. Pour assurer la rentabilité de la production, les entreprises adoptent des modes d'organisation de la manutention participant à une intensification du rythme de travail des caristes et augmentant les risques d'accidents. Pour prévenir les risques dans ces secteurs d'activité, une approche originale consisterait à anticiper les effets de modifications dans la gestion de l'activité sur la sécurité collective des salariés, en prenant en compte également les effets de ces modifications sur la productivité. Ainsi évoluerait-on vers une approche de conception de l'organisation au lieu de l'approche usuelle d'essais et d'erreurs. La manutention étant très souvent mécanisée dans ce secteur industriel, l'activité réelle est liée à l'usage de machines mobiles, en particulier des chariots élévateurs. L'approche proposée se fonderait sur l'utilisation de moyens de simulation, plus précisément des simulateurs de conduite

de chariots reliés en réseau. Les responsables du secteur logistique seraient ainsi dotés de moyens permettant d'estimer a priori les risques en même temps que la productivité.

L'objectif de l'étude d'instruction était d'évaluer la faisabilité d'une telle approche dans le cadre d'un projet de recherche multidisciplinaire.

MÉTHODOLOGIE

Les travaux réalisés ont essentiellement consisté à vérifier la pertinence de l'approche envisagée pour les besoins des professionnels du secteur de la logistique et à identifier les secteurs concernés. Ils ont également porté sur la faisabilité technique d'un tel projet en réalisant un prototype de simulateur de conduite dynamique de chariot élévateur. Pour le besoin d'études antérieures, un prototype statique avait été réalisé. Pour la présente étude, il s'agissait principalement d'évaluer l'apport de la dynamique (mouvement) dans la simulation. Ce démonstrateur a été conçu et fabriqué par l'INRS a été évalué selon un protocole d'essais subjectifs. 5 volontaires ont été soumis à un questionnaire et les résultats de simulation (trajectoires) ont été analysés pour tenter de quantifier les apports du mouvement au réalisme de la simulation.

RÉSULTATS

Les analyses de données recueillies dans des études antérieures ainsi qu'une étude bibliographique ont permis de préciser les secteurs industriels concernés par les retombées d'une telle approche : les plateformes d'éclatement offrent un cadre propice à l'étude de la co-activité de chariots élévateurs. À l'inverse, les plateformes de stockage font rarement intervenir ce type de machines mobiles, pour des raisons d'encombrement et de maniabilité.

Le deuxième volet de l'étude d'instruction a abouti à la réalisation et validation d'un prototype de simulateur de conduite dynamique de chariot élévateur. Les résultats confirment l'apport de la simulation du mouvement.

CONCLUSIONS

Cette étude a permis de valider l'intérêt du projet de recherche multi-disciplinaire proposé impliquant des ressources en ingénierie et en ergonomie. La faisabilité technique a également été démontrée. Le montage du projet est encore à instruire et à valider.

© Gaël Kerbaol / INRS



© Jean-Pierre Dalens / INRS

Simulateur de poste
de conduite d'engin

NETTOYABILITÉ DE REVÊTEMENTS DE SOLS DANS LES INDUSTRIES AGROALIMENTAIRES

Henri SAULNIER avec la participation de Michel JACQUES

DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

et Guy VERNOIS – DÉPARTEMENT EXPERTISE ET CONSEIL TECHNIQUE

OBJECTIFS

Dans l'industrie alimentaire, il est recommandé d'utiliser des revêtements de sol antidérapants, afin d'éviter les chutes par glissade sur des salissures générées lors de la fabrication. Depuis l'année 2000, la Caisse Nationale de l'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés (CNAMTS) édite une liste de revêtements de sol agréés pour l'industrie agroalimentaire. Ces sols sont en général rugueux et il leur est souvent reproché d'être difficilement nettoyables, de s'encrasser et de perdre leur qualité antidérapante.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la pertinence de ces constats, en observant, en laboratoire et en entreprise, l'évolution du coefficient de frottement des revêtements de sol soumis à des encrassements et des procédures de nettoyage.

MÉTHODOLOGIE

L'étude a consisté dans un premier temps à mettre au point en laboratoire une méthodologie d'essai et de mesure et de tester deux méthodes de nettoyage (laveuse à brosse rotative et jet d'eau à moyenne pression). Dans un deuxième temps, des essais ont été effectués sur site, afin d'évaluer l'efficacité du nettoyage dans des locaux subissant des encrassements récurrents et particulièrement importants. Trois types de revêtement de sol ont été retenus pour cette étude :

- un mortier hydraulique ;
- un carrelage grès cérame ;
- un mortier à base de résine époxydique.

© photo INRS / Département IET



Contrôle de la glissance
de sols en entreprise

RÉSULTATS

Les mesures en laboratoire ont permis de définir le protocole d'essai. Il consistait à effectuer la mesure du coefficient de frottement :

- avant encrassement, à sec. Sur site, cette mesure a été effectuée dans une zone non sollicitée par la circulation ni par la pollution inhérente à l'activité du local, afin d'effectuer une mesure traduisant la valeur « initiale » du coefficient de frottement ;
- après encrassement, en présence du polluant ;
- après nettoyage, à sec.

Les mesures sur site ont montré que les résidus de fabrication tombés sur le sol peuvent diminuer dangereusement le coefficient de frottement sur les zones polluées. Mais les revêtements de sol, retrouvent après nettoyage leurs valeurs de coefficient de frottement d'origine, à l'incertitude de mesure près.

CONCLUSIONS

Cette étude a permis de mettre au point une méthode pour évaluer l'efficacité de la nettoyabilité des sols. Les mesures sur sites ont montré que lorsque les moyens et la procédure de nettoyage sont adaptés aux conditions d'encrassement, il n'est pas observé de dégradation du coefficient de frottement des sols.

La procédure de nettoyage doit allier les effets mécanique, thermique et chimique, en prenant en compte les contraintes telles que dimensions des zones à nettoyer, accessibilité, présence de mobilier fixe ou déplaçable, présence de stock de produit en cours de fabrication, etc.

OUTILS D'AIDE AU CHOIX DE MESURES DE PRÉVENTION EN CONCEPTION : BASE DE DONNÉES ET GESTION DE PROCESSUS

Bruno DAILLE-LEFEVRE avec la participation de Jean-Christophe BLAISE, Pascal LAMY
DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

OBJECTIFS

Cette étude visait à proposer des aides pratiques pour guider les concepteurs d'équipements de travail dans l'application de la démarche de prévention intégrée et dans le choix de mesures de prévention. Il s'agissait de favoriser dans les PME-PMI l'utilisation de connaissances en matière de prévention des risques professionnels.

MÉTHODOLOGIE

Le premier aspect de la démarche entreprise concerne le développement d'une bibliothèque interactive de principes et d'exemples de mesures de prévention vis-à-vis du risque mécanique et des principes d'ergonomie physique. Afin de promouvoir la démarche de réduction des risques, cette base de données a été adossée au logiciel LOGINORME, initialement développé par l'INRS pour l'apprentissage de cette démarche. La méthodologie suit celle d'un développement informatique classique : cahier des charges, choix d'un prestataire, conception, réalisation puis recette de l'application.

Le second volet de cette étude visait à démontrer la possibilité d'intégrer, dans un logiciel industriel, un modèle de situation de travail (MOSTRA) précédemment développé par l'INRS pour inciter les concepteurs à concevoir une situation de travail et non un système technique. Après avoir établi un état de l'art, un logiciel de gestion de processus a été retenu. La transposition du modèle a été validée selon une démarche itérative. À chaque itération, la maquette obtenue a été testée sur des projets de conception. Ces travaux ont été menés avec l'appui de l'éditeur du logiciel et de laboratoires universitaires.

RÉSULTATS

La structure informatique de la base de données de mesures de prévention MECAPREV est opérationnelle. Son contenu est en cours d'écriture par un groupe d'experts de l'INRS et des CRAM/CARSAT. Il s'agira d'une application « web » en libre accès.

Concernant le second volet, les travaux réalisés ont démontré la faisabilité technique du transfert des concepts de MOSTRA vers un logiciel industriel de gestion de processus. Si les différents tests des maquettes obtenues lors de projets de conception ont permis de confirmer l'intérêt du concept de situation de travail pour intégrer la prévention des risques, ils en ont également révélé les limites. Celles-ci sont liées aux spécificités mêmes du modèle : structure bouclée, absence de points d'entrée, de cheminements et de points de sortie privilégiés.

© Jean-Pierre Dalens / INRS



Base de données MECAPREV
pour l'aide au choix de mesures
de prévention en entreprise

CONCLUSIONS

Lorsque le contenu de la base de données MECAPREV sera finalisé et validé, celle-ci sera mise en ligne via internet et de façon privilégiée via LOGINORME. À terme, son contenu pourrait également être accessible sous forme de web services mis à disposition des éditeurs souhaitant les intégrer dans leurs logiciels.

Concernant le second volet, les tests d'utilisation du MOSTRA dans l'environnement logiciel retenus ont mis en évidence la nécessité de le compléter par une approche de type « processus » afin de le rendre exploitable dans un projet de conception. De nouveaux travaux de recherche doivent être engagés avant d'envisager de tester ce modèle chez un industriel et de le transférer vers des éditeurs de logiciels.

Au sein de cette thématique, 4 études sont en cours en 2011 :

Gestion de l'équilibre d'un mannequin virtuel dans un environnement fortement perturbé

Pierre LEMERLE – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

Développement et validation d'algorithmes de mannequins numériques pour l'évaluation des facteurs de risques biomécaniques en conception

Jonathan SAVIN – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

Comparaison de méthodes de mesure du coefficient de frottement de revêtements de sol

Henri SAULNIER – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

Méthodologie d'aide à la rédaction d'un cahier des charges basée sur la notion de situation de travail

Bruno DAILLE-LEFEVRE – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

DÉCHETS ET RECYCLAGE

Impliqué et positionné en tant qu'acteur national depuis plusieurs années dans le secteur des déchets, l'INRS s'emploie à y intégrer la santé et la sécurité au travail dans les activités de collecte, tri, traitement et valorisation.

Encouragé par une politique environnementale qui tend à favoriser le décloisonnement et la proximité entre les thématiques de santé publique et environnement et celles de la santé et de la sécurité au travail, l'Institut a engagé en 2010 plusieurs actions de prévention impliquant la coopération des acteurs des filières (éco-organismes, fédérations et/ou syndicats professionnels, etc.) dans la recherche des pistes et des solutions de prévention des risques professionnels.

Par ses différentes actions de recherche, l'INRS concourt à l'identification et à l'évaluation des risques (chimiques ou biologiques) dans certaines filières émergentes ou méconnues au travers de constats et d'opérations réalisés sur le terrain. Une étude portant sur le recyclage des métaux s'est achevée en 2010. L'Institut vise également le développement de solutions de prévention des risques et des effets sur la santé des salariés, adaptées aux particularités de la filière déchets.

RISQUES CHIMIQUES LIÉS AUX OPÉRATIONS DE RÉCUPÉRATION ET RECYCLAGE DES MÉTAUX

François DIEBOLD avec la participation de Jérôme GROSJEAN

DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

OBJECTIFS

L'activité de récupération et recyclage des métaux est l'une des plus importantes filières de retraitement des déchets, par le tonnage de matières traitées. Cette activité valorise des matières métalliques d'origine diversifiée par la mise en œuvre de différents procédés de retraitement. Ces procédés sont susceptibles de générer des polluants tant sous la forme d'aérosols solides, métalliques notamment, que de gaz et vapeurs.

L'étude avait pour objectif de réaliser, au sein de la filière concernée, une cartographie des expositions à différents polluants chimiques, afin de mettre en évidence les postes de travail où les concentrations conduiraient potentiellement à des situations à risque pour les salariés. Dans le cas de fortes expositions, il sera nécessaire de mettre en relation le poste de travail et le procédé industriel mis en œuvre afin de cibler les procédés fortement émissifs et de permettre d'orienter les recherches ultérieures en matière de prévention à ces postes de travail.

MÉTHODOLOGIE

Après une phase d'étude bibliographique pour établir la typologie des procédés mis en œuvre dans la filière, une seconde phase a consisté à trouver des entreprises pour la réalisation des mesures. La troisième phase a consisté à effectuer des campagnes de mesurage des polluants chimiques (poussières, métaux et vapeurs) dans les entreprises sélectionnées. Parallèlement à la mesure des polluants, les informations techniques destinées à qualifier la nature des postes de travail ont été recueillies. Les techniques utilisées pour le prélèvement et l'analyse des poussières, métaux et vapeurs sont celles des fiches METROPOL.

RÉSULTATS

Sept entreprises de recyclage de métaux ferreux ont fait l'objet des campagnes de mesurage. Ces entreprises, bien que retraitant des matières métalliques diverses (ferrailles d'incinération d'ordures ménagères, véhicules hors d'usage, chutes d'usines et déchets électroménagers) présentent des similitudes en ce qui concerne les procédés mis en œuvre, permettant de mettre en évidence des opérations unitaires communes telles que le broyage, la conduite d'engin (grue, pelle), le tri manuel effectué en cabine de tri. Les concentrations recueillies en poussières et métaux (Fe, Al, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Mo, V, Zn) et COV (benzène, toluène, xylène, ethylbenzène, n-hexane) ont été déterminées pour les salariés concernés et sont comprises entre quelques $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et quelques mg/m^3 .

CONCLUSION

Les mesures effectuées ne font pas apparaître de fortes expositions pour les salariés occupés de façon régulière à ces opérations. Par contre, d'autres opérations ayant un caractère plus ponctuel, telles que la maintenance du broyeur ou le découpage au chalumeau de déchets de grande dimension, apparaissent comme susceptibles d'exposer les salariés qui les réalisent à des concentrations en polluants constituant un risque chimique, notamment le plomb pour lequel la concentration peut atteindre quatre fois la Valeur Moyenne d'Exposition (VME). Pour ces opérations, en particulier celle de la découpe au chalumeau réalisée en plein air, les mesures de prévention sont à orienter vers le port d'équipement de protection respiratoire en attendant de pouvoir mettre en œuvre d'autres procédés de découpe moins polluants.

© photo INRS / Département IP



Poste de tri dans une station de recyclage de métaux

Au sein de cette thématique, 4 études sont en cours en 2011 :

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 – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

Évaluation des expositions lors des opérations de maintenance des usines d'incinération d'ordures ménagères

Ronan LEVILLY – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

Risques chimiques liés aux traitements des déchets de bois dangereux

Pascal POIROT – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

DEEE : réduction du risque chimique dans les filières existantes et émergentes

Marie-Thérèse LECLER, François ZIMMERMANN – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

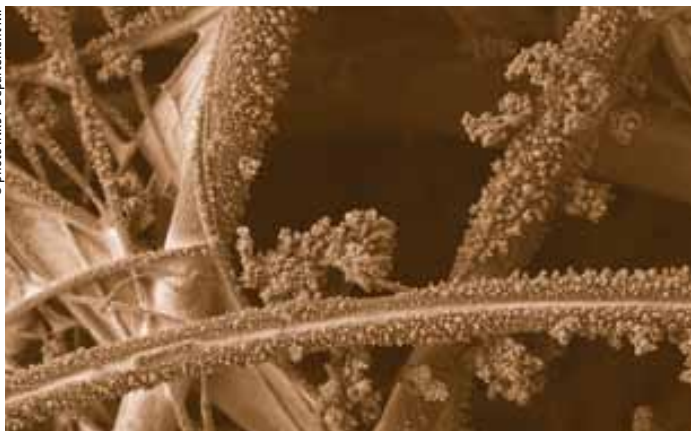
NANOTECHNOLOGIES ET NANOPARTICULES

L'INRS conduit un programme pour la prévention des risques liés aux nanomatériaux manufacturés, qui se décline autour de trois objectifs : évaluer les effets sur la santé, évaluer les expositions, prévenir les risques liés aux nanomatériaux. L'année 2010 s'est traduite par la poursuite des activités de recherche (quatorze études dont deux terminées). Les travaux se sont déroulés autour d'études toxicologiques concernant les effets génotoxiques, immunotoxiques, pulmonaires et neurotoxiques éventuels de nanomatériaux. Les objectifs de ces travaux sont notamment de rechercher s'il existe des profils toxicologiques différents selon que les particules sont sous forme micro ou nanoparticulaire, de préciser les caractéristiques physicochimiques déterminantes (activité radicalaire, surface spécifique par exemple) et de proposer des méthodes d'essais adaptés aux nanoparticules.

Dans le cadre d'études épidémiologiques, l'INRS participe aux travaux du groupe de travail « Nanotechnologies et risques pour la santé » de l'Institut de Recherche en Santé Publique (IReSP). En 2010, ce groupe a validé la proposition de protocole de surveillance des salariés exposés aux nanomatériaux produits intentionnellement. Cette proposition a été transmise par l'InVS aux pouvoirs publics. Les investigations en vue de lancer une étude épidémiologique se poursuivent en 2011. Dans le cadre des études de filière, une enquête pilote sur les nano-objets a été réalisée en 2010 auprès de 1 047 établissements issus des secteurs de la chimie, des peintures, encres et vernis et de la plasturgie. En 2010, l'INRS a poursuivi les études sur la caractérisation et la métrologie des expositions professionnelles et sur l'efficacité des dispositifs de prévention collective et des équipements de protection individuelle :

- étude de la performance des appareils de protection respiratoire ;
- étude de la performance des filtres électrostatiques ;
- caractérisation et modélisation du comportement des nanoaérosols ;
- évaluation de l'efficacité de dispositifs de protection collective.

© photo INRS / Département MP



Nanoparticules
de cuivre

COMPARAISON DES EFFETS CYTOTOXIQUES, GÉNOTOXIQUES ET TRANSFORMANTS DE PARTICULES D'OXYDES MÉTALLIQUES SOUS LEURS FORMES MICRO ET NANOPARTICULAIRES

Yves GUICHARD, Laurent GATE – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ
avec la participation d'Olivier RASTOIX – DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS
et Pierre CAMPO – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

OBJECTIFS

La présente étude avait pour but de comparer la cytotoxicité et la génotoxicité de particules nano et micrométriques de TiO_2 anatase et rutile, de Fe_3O_4 et de Fe_2O_3 .

MÉTHODOLOGIE

Les échantillons de particules ont été caractérisés par leur composition chimique, la taille primaire des particules, la taille des agglomérats dans le milieu de culture cellulaire, la structure cristalline, la forme, la surface spécifique et la capacité intrinsèque de production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO). Les cellules d'embryon de hamster syrien (cellules SHE) ont été choisies comme modèle *in vitro*. La capacité d'absorption des particules par ces cellules a été évaluée par microscopie électronique à transmission. La cytotoxicité des particules a été évaluée par un test d'inhibition de la croissance des cellules ; leur capacité à induire au niveau intracellulaire des ERO a été également étudiée. Les effets génotoxiques ont été étudiés par le test des comètes pour les lésions de l'ADN et le test des micronoyaux pour les altérations de chromosomes.

RÉSULTATS

Les résultats montrent que le TiO_2 anatase et rutile et le Fe_2O_3 exerçaient un effet inhibiteur plus marqué sur la prolifération des cellules que leurs homologues micrométriques. Le TiO_2 anatase nanométrique et le Fe_2O_3 produisaient plus d'ERO que les particules micrométriques. Le test des comètes a montré des niveaux similaires de lésions de l'ADN après traitement avec du TiO_2 anatase nano- et micrométriques. Le TiO_2 rutile micrométrique induisait plus de lésions de l'ADN que son homologue nanométrique. Il n'a pas été observé d'augmentation significative des lésions de l'ADN dues aux oxydes de fer nano et micrométriques. Ni le TiO_2 ni les oxydes de fer sous forme nano ou micrométrique n'avaient un effet significatif sur la formation de micronoyaux.

CONCLUSIONS

En conclusion, le TiO_2 nanométrique (anatase et rutile) et le Fe_2O_3 (mais non le Fe_3O_4) sont plus cytotoxiques que leurs homologues micrométriques. Dans le cas du TiO_2 anatase et du Fe_2O_3 , cette différence peut s'expliquer par une capacité accrue des nanoparticules à produire des ERO intracellulaires. Cependant, il n'a pas été observé une capacité accrue des nanoparticules de TiO_2 et d'oxyde de fer à induire des effets génotoxiques, par rapport à leurs homologues micrométriques.

CYTOTOXICITÉ ET POUVOIR TRANSFORMANT DE NANOTUBES DE CARBONE COMMERCIAUX SUR LES CELLULES EMBRYONNAIRES DE HAMSTER SYRIEN (SHE)

Christian DARNE avec la participation de Pierre CAMPO

DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

et Céline EYPERT-BLAISON – DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

OBJECTIFS

Les objectifs initiaux de ces travaux étaient de déterminer les effets toxiques de nanotubes de carbone en évaluant leur influence sur la viabilité de cellules de mammifères en culture, ainsi que le potentiel cancérigène, à l'aide du test de transformation cellulaire sur cellules embryonnaires de hamster syrien. En raison du manque de reproductibilité observé au cours des études précédentes, la réalisation du test de transformation cellulaire a été suspendue et les efforts se sont réorientés sur la mise en évidence des effets des nanotubes de carbone sur le matériel génétique cellulaire.

MÉTHODOLOGIE

Huit échantillons ont été testés, représentatifs des différents types de nanotubes les plus courants, dans deux types cellulaires.

1) La viabilité et la prolifération cellulaire ont été déterminées :

- par comptage des cellules après traitement de celles-ci avec 5 concentrations de nanotubes ;
- par mesure de l'activité de la déshydrogénase mitochondriale ;
- par le comptage du nombre de cellules en mitose (reflet de la prolifération cellulaire).

2) La production de radicaux (toxiques pour les cellules) a été recherchée sur le matériau en l'absence de cellules et également dans les cellules après traitement.

3) Les effets génotoxiques ont été recherchés à l'aide du test du micronoyau (mettant en évidence une action des substances testées sur les chromosomes) et du test de comètes (mettant en évidence des cassures induites par les agents testés sur l'ADN cellulaire).

RÉSULTATS

Les résultats varient d'un type cellulaire à un autre. Les nanotubes de carbone sont susceptibles de produire des radicaux potentiellement toxiques pour les cellules, en milieu acellulaire, mais ils induisent également une production de radicaux libres dans les cellules. Paradoxalement, ces échantillons sont capables de capter ces radicaux ainsi que des molécules présentes dans les milieux réactionnels. Les nanotubes mono-paroi (tubes composés d'un seul enroulement de carbone) sont les moins toxiques pour les cellules, les nanotubes multi-parois (tubes composés de plusieurs tubes concentriques) étant les plus toxiques.

Aucune autre relation avec une caractéristique physico-chimique n'a pu être établie, que cela soit la surface spécifique ou le pourcentage d'impuretés.

La toxicité cellulaire pourrait être associée à un blocage de la prolifération cellulaire, et à des dommages sur le matériel génétique pour un des échantillons. En revanche, aucune induction de mort cellulaire programmée (apoptose) n'a été observée.

CONCLUSIONS

Les résultats qui montrent une toxicité supérieure des nanotubes de carbone multi-paroi par rapport aux nanotubes mono-paroi, et qui rejoignent certaines conclusions publiées par d'autres groupes, soulèvent la complexité de l'évaluation de la toxicité des nanotubes de carbone. En effet, l'hydrophobicité, les capacités paradoxales de génération et de capture entraînent des problèmes d'ordre technique. L'absence d'échantillons réellement « purs » et la diversité des méthodologies employées ne permettent pas d'aboutir à une conclusion définitive. L'ensemble de ces données incite à compléter cette étude en réalisant une nouvelle évaluation de ces échantillons par des méthodologies différentes et des mises en œuvre améliorées.

© Jean-Pierre Dalens / INRS



Analyse de la toxicité de nanotubes de carbone

RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT DE SYSTÈMES DE GÉNÉRATION DE NANO AÉROSOLS ADAPTÉS AUX ÉTUDES DE TOXICOLOGIE : ÉTUDE MÉTHODOLOGIQUE

Laurent GATE, Frédéric COSNIER – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ
Sébastien BAU avec la participation de Olivier WITSCHGER, Edmond KAUFFER
DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

OBJECTIFS

En raison des propriétés physico-chimiques uniques des nanomatériaux, leur production et leur utilisation ne cessent de croître. Le risque d'exposition de salariés lors de la manipulation de ces nanoparticules manufacturées devient donc de plus en plus important. Leur emploi pouvant conduire à leur mise en suspension dans l'air (aérosolisation), l'inhalation représente la voie majeure d'exposition des salariés à ces substances chimiques dont les propriétés toxicologiques ne sont pas totalement connues. L'approche expérimentale la plus pertinente dans l'évaluation du danger que représentent ces nanoaérosols est donc celle faisant appel à des études de toxicologie par inhalation chez l'animal de laboratoire.

MÉTHODOLOGIE

Dans une première étape, une synthèse des données de la littérature a été réalisée concernant l'étude des propriétés toxicologiques de nanoaérosols chez des animaux de laboratoire. Dans un second temps, des essais de génération d'aérosols par voie liquide ont été mis en œuvre pour étudier l'influence du milieu de dispersion sur les aérosols obtenus.

RÉSULTATS

L'analyse de la littérature a permis de définir des axes de recherche les plus pertinents pour les études à venir, d'une part celles concernant la mise au point de systèmes de génération polyvalents permettant d'aérosoliser différentes nanoparticules, d'autre part celle étudiant l'influence de l'état d'agglomération des nanoparticules sur leurs propriétés toxicologiques.

Les essais expérimentaux d'aérosolisation par voie liquide ont par ailleurs montré que les sels dissous dans les milieux de dispersion étaient à l'origine d'un aérosol résiduel dont il faudra tenir compte pour la caractérisation des nanoaérosols d'intérêt générés par cette méthode.

CONCLUSIONS

Les méthodes de génération d'aérosols à partir de nanoparticules manufacturées sont multiples et ne sont pas toutes compatibles avec les études de toxicologie par inhalation envisagées. Il est donc important de choisir des systèmes de génération qui sont les mieux adaptés. La maîtrise de la génération de nanoaérosols apparaît également complexe en particulier en termes de stabilité et de granulométrie de l'aérosol. Un travail important de mise au point est donc nécessaire avant d'envisager l'exposition d'animaux à de tels aérosols.

Malgré la pertinence du modèle de toxicologie par inhalation dans l'évaluation du danger, en raison de la quantité importante de nanomatériaux nécessaires et de l'utilisation d'un nombre non négligeable d'animaux de laboratoire, le choix de la réalisation de ce type d'étude sur une nanoparticule donnée devrait s'appuyer sur des données de toxicologie obtenues *in vitro* ou *in vivo* par instillation intratrachéale.

Au sein de cette thématique, 8 études sont en cours en 2011 :

Évaluation par instillation intrachéale de la toxicité pulmonaire de particules d'oxydes de fer nano et submicrométriques chez le rat

Laurent GATE – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

Étude de transfert de l'aluminium vers le cerveau par la voie olfactive

Monique CHALANSONNET – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

Étude des effets génotoxiques *in vitro* de particules de silices nanostructurées issues de différents procédés de fabrication

Yves GUICHARD, Christian DARNE – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

Génotoxicité *in vitro* et *in vivo* des nanomatériaux : projet d'action conjointe

Yves GUICHARD, Laurent GATE, Christian DARNE – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

Nanoparticules : métrologie et caractérisation des expositions professionnelles

Olivier WITSCHGER, Peter GÖRNER – DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

Perception et évaluation des risques liés aux nano-objets : pour quelles perspectives de gestion ?

Éric DRAIS – DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

Vers une nouvelle approche de la santé et de la prévention face aux risques émergents : cas des nanoparticules

Bernadette VENNÉ – DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

Évaluation de l'efficacité de différents dispositifs de protection collective utilisés pour la production ou la manipulation de nanoparticules

Jean-Raymond FONTAINE, Emmanuel BELUT – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

ORGANISATION, SANTÉ, SÉCURITÉ ET BIEN-ÊTRE AU TRAVAIL

Cette thématique réunit l'ensemble des travaux de l'INRS portant sur les liens entre organisation et santé-sécurité, et ayant comme finalité de développer des connaissances et des outils, méthodes d'actions en prévention, quel que soit le type de risque considéré :

- évolutions de l'organisation de la prévention face au développement d'une forme d'organisation du travail : le cas de la sous-traitance interne et la santé-sécurité au travail ;
- approche où l'intervention en entreprise est centrale et porte principalement sur le processus de transformation du travail (ou « travail d'organisation ») des acteurs impliqués, dans le but d'agir collectivement et durablement pour préserver la santé ;
- transformation de la nature du travail en lien avec les transformations du contexte technico-organisationnel : activités de maintenance, impact de l'introduction de nouvelles technologies de l'information sur le travail et développement de méthodes pour saisir toute la complexité des situations de travail nouvelles dans le secteur transport et logistique.

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 avec la participation de Lièn WIOLAND, Corinne GRUSENMEYER, Catherine CAEL, Raphaël PAYET – DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

OBJECTIFS

L'objectif de l'étude était de proposer un cadre d'analyse et une méthodologie adaptés à la prise en compte du phénomène de propagation des effets positifs (disponibilité de l'information et gain de temps) et négatifs (réduction des marges de manœuvres des opérateurs) chez les utilisateurs directs ou indirects de Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC). Les approches classiquement déployées en ergonomie ne permettent pas d'appréhender ce phénomène de propagation. Une réflexion méthodologique approfondie a été engagée pour définir la manière de l'approcher, d'en délimiter son périmètre (acteurs directement ou indirectement exposés à la modification technologique) et d'identifier ses effets. Il s'agissait ensuite de tester des solutions méthodologiques en entreprise. L'intérêt du phénomène de propagation pour la prévention est d'envisager les différents acteurs de l'entreprise, de s'assurer qu'aucun d'entre eux (utilisateurs ou non), ne sera omis dans la démarche de prévention.

MÉTHODOLOGIE

Pour les utilisateurs de NTIC, trois étapes ont été réalisées. À l'issue de chacune, un bilan a été réalisé afin d'enrichir l'étape suivante. L'étape 1, analyse classique asynchrone, a consisté à multiplier les analyses d'activité en situation de travail chez les utilisateurs. L'étape 2, analyse

synchrone a posteriori, a consisté à réaliser deux analyses d'activité en parallèle et à analyser a posteriori les interactions entre les situations de travail. L'étape 3, analyse synchrone in situ, a consisté à réaliser deux analyses d'activité en parallèle en y intégrant, en temps réel, des éléments d'analyse issus de la situation en interrelation.

Pour les non-utilisateurs, l'analyse a été menée grâce à des entretiens des salariés de tous les services de l'entreprise. Ces entretiens ont permis d'identifier les services vers lesquels les effets de l'utilisation de NTIC s'étaient déjà propagés ou allaient se propager.

Cette méthodologie a été déployée dans un établissement de transport urbain de passagers qui était en train de mettre en place une nouvelle technologie visant à suivre en temps réel le déroulement de l'activité des conducteurs de bus.

© Gaël Kerbaol / INRS



Préparation et distribution de commande

RÉSULTATS

Les résultats confortent l'intérêt et la faisabilité de cette démarche pour appréhender les effets liés à l'introduction de NTIC dans des situations de travail. Son déploiement en entreprise (intégrant les utilisateurs et les non-utilisateurs), a permis de mettre en évidence des éléments cruciaux en termes de compréhension des activités des salariés et de leurs interactions (priorisation des stratégies, hiérarchisation des priorités, acteurs centraux selon l'activité...). Une simple analyse des activités des utilisateurs de NTIC, n'aurait pas permis d'accéder à ces informations : la NTIC génère de nouvelles attentes, de nouvelles sollicitations des non-utilisateurs ; celles-ci transforment les circuits d'information et la charge de travail de certains utilisateurs.

Des efforts peuvent être déployés pour alléger cette démarche, coûteuse en temps et ressources. Celle-ci a également été testée avec succès dans un autre secteur d'activité (Transport Routier de Marchandises). Chacune des étapes méthodologiques permet de proposer des mesures de prévention. Selon l'étape considérée, ces mesures peuvent être centrées sur l'activité des opérateurs et/ou concerner l'ensemble des services de l'entreprise.

CONCLUSIONS

En conclusion, ce travail revêt 4 aspects originaux :

- une proposition de conception élargie de l'analyse des situations de travail ;
- une proposition de méthodologie adaptée à ce périmètre d'analyse élargi ;
- une intégration des non-utilisateurs d'une NTIC dans l'analyse des effets liés à son utilisation ;
- une opportunité pour anticiper des effets liés aux NTIC sur l'activité d'un grand nombre d'acteurs de l'entreprise.

L'ensemble de ces aspects permet d'intégrer la prévention le plus en amont possible dans le cadre de l'introduction d'une NTIC.

Au sein de cette thématique, 3 études sont en cours en 2011 :

Préparation et réalisation des activités de maintenance. Analyses en entreprise et implications pour la prévention

Corinne GRUSENMEYER – DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

Prévention dans le transport et la logistique : évolutions technologiques et organisationnelles dans des entreprises en réseau

Virginie GOVAERE, Liën WIOLAND – DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

Dynamiques organisationnelles et prévention

Martine FRANCOIS, Évelyne MORVAN – DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

© Vincent Crémillet pour l'INRS



Activité de maintenance industrielle

RISQUES BIOLOGIQUES

Les secteurs professionnels concernés par la prise en compte des risques biologiques se sont diversifiés. La métrologie (risques immunoallergiques et toxiques) se développe peu à peu, permettant la construction de connaissances. Suite à une adaptation, la saisie des résultats est possible dans la base de données Colchic 3 (recensement de plus de 100 000 substances chimiques) depuis fin novembre 2010. En l'absence de VLEP, ceci va permettre au fil du temps de situer les résultats d'une entreprise sur des échelles de valeur construites par type d'activité :

- traitement des eaux usées ;
- métiers de la santé et des soins à la personne ;
- métiers au contact des animaux ou de produits d'origine animale ;
- laboratoires de biologie moléculaire et risques biologiques.

En 2010 un brevet a été déposé suite à la conception et la qualification d'un générateur de bio-aérosols. L'INRS poursuit par ailleurs ses activités de recherche en métrologie des bioaérosols. Il apparaît en effet de plus en plus clairement que les risques de type immunoallergiques et toxiques sont corrélés avec les niveaux d'exposition. Une étude s'est achevée en 2010.

CARACTÉRISATION DES SOUS-PRODUITS GAZEUX ET PARTICULAIRES ISSUS DE LA DÉGRADATION PHOTOCATALYTIQUE DE BIOAÉROSOLS

Fabien GERARDIN avec la participation de Marie FAURE

DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

et Xavier SIMON, Philippe DUQUENNE – DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

OBJECTIFS

Le risque biologique est considéré comme émergent dans le plan Santé au Travail 2010-2014 du Ministère du Travail. Dans le cadre de cette thématique, cette étude visait l'approfondissement des mécanismes mis en jeu dans le processus de dégradation (inactivation et minéralisation) photocatalytique de bioaérosol (action combinée du TiO_2 et des UV-A) afin d'étudier la pertinence de ce procédé d'épuration comme solution de prévention et de diminution du risque biologique associé aux bioaérosols. L'objectif de cette étude était notamment de vérifier si ce procédé n'était pas susceptible de générer des sous-produits potentiellement toxiques.

MÉTHODOLOGIE

Afin de simplifier la compréhension des mécanismes réactionnels, une approche « batch » a été utilisée pour découpler les phénomènes et se focaliser sur les processus réactionnels. L'impact de la photocatalyse sur la viabilité-cultivabilité d'une bactérie modèle *E.coli* a été mesuré sur différents supports photocatalytiques et le type d'endommagement engendré aux cellules a été identifié. Par ailleurs, *E.coli* est une bactérie de type Gram contenant des endotoxines dans sa membrane cellulaire externe. Ces composés peuvent être libérés lors de la réaction et engendrer des pathologies chez les personnes exposées. La dégradation des endotoxines a donc été étudiée. Enfin, outre ses capacités inactivantes, la photocatalyse devrait conduire à la trans-

formation progressive de la matière organique. La conversion du carbone bactérien (composé majoritaire) en CO_2 a donc été suivie au cours du temps pour différentes conditions opératoires. Ces expérimentations « batch » ont permis l'identification des critères à optimiser pour favoriser la dégradation photocatalytique d'un bioaérosol en flux continu. Par ailleurs, les moyens expérimentaux nécessaires à la dégradation d'un bioaérosol ont été mis au point au cours de cette étude.



© Jean-Pierre Dalens / INRS

Dégradation photocatalytique
d'un bioaérosol

RÉSULTATS

Les expérimentations d'inactivation ont prouvé que la photocatalyse entraîne une perte de viabilité-cultivabilité des bactéries (endommagement métabolique) favorisée par des durées d'irradiation importantes et l'optimisation du contact entre les bactéries et le TiO_2 . Les endotoxines, sous-produits de dégradation possibles, sont a priori dégradables par photocatalyse même si des essais complémentaires sont indispensables. Enfin, cette technologie permet de minéraliser les bactéries (45 % en 72 heures) sachant que cette étape est avantagée par une charge bactérienne faible.

CONCLUSIONS

Cette approche « batch » a démontré les capacités de la photocatalyse à dégrader une bactérie modèle et a révélé les paramètres opératoires les plus influents pour mettre en œuvre la dégradation d'un bioaérosol en flux continu. Elle a également souligné les limites d'un processus réactionnel long dont les paramètres de fonctionnement nécessitent un développement important avant de pouvoir utiliser cette technique comme procédé d'épuration biologique propre et sûr (support photocatalytique adapté, temps de séjour longs et couplage filtration-photocatalyse).

Au sein de cette thématique, 4 études sont en cours en 2011 :

Métrieologie des bioaérosols

Philippe DUQUENNE, Peter GORNER – DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

Développement de méthodes d'échantillonnage et d'analyse de mycotoxines dans l'air des lieux de travail

Danielle JARGOT – DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

Comportement des aérosols microbiens dans les systèmes de ventilation d'espaces occupés

Denis BEMER – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

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 GORNER – DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

© Jean-Pierre Dalens / INRS



Générateur de bioaérosols conçu par l'INRS

RISQUES CHIMIQUES

La mesure des expositions professionnelles aux produits chimiques fait appel à deux disciplines complémentaires : la métrologie atmosphérique (mesure de produit chimique dans l'atmosphère de travail), la biométrie (mesure dans les fluides biologiques humains de bioindicateurs révélateurs d'une exposition).

Les travaux de métrologie atmosphérique de l'INRS visent à fournir des méthodes de prélèvement et d'analyse de différentes substances chimiques. Les travaux de biométrie apportent des méthodes de mesure validées et des résultats d'enquêtes de terrain. Trois études se sont terminées en 2010 concernant la surveillance biologique des expositions professionnelles à des produits cancérigènes. Dans le but d'améliorer la connaissance des expositions aux agents chimiques, la réalisation d'études de filières ciblées et la conduite de campagnes de mesurage concertées avec les laboratoires de chimie des CRAM/CARSAT sont organisées. Les données issues de ces campagnes d'évaluation des expositions sont archivées dans la base centralisée Colchic qui a fait l'objet d'une mise à jour complète en 2010.

La conduite d'études analytiques afin d'analyser la relation entre l'exposition aux substances et d'éventuelles altérations de la santé des salariés dans différents secteurs professionnels a donné lieu à deux études en cours. Concernant le domaine de la prévention du risque chimique, les travaux d'études de l'INRS sont abordés dans le cadre d'actions complémentaires relatives au développement de solutions de prévention privilégiant la réduction des émissions à la source et leur intégration à la conception des installations et équipements.

Enfin, les actions en toxicologie expérimentale apportent des connaissances sur les effets toxiques des produits chimiques, soit sur l'animal, soit sur des systèmes expérimentaux (toxicodynamie). Les effets toxiques recherchés concernent l'effet cancérigène ou mutagène, reprotoxique, allergisant, neurotoxique, ototoxique. Par ailleurs, une approche toxicocinétique est également représentée par les études sur le transfert à travers la peau ou sur le métabolisme des substances chimiques.

RISQUES CHIMIQUES LIÉS À L'EXPOSITION AUX PRINCIPES ACTIFS PULVÉRULENTS LORS DE LA FABRICATION DE MÉDICAMENTS

Catherine CHAMPMARTIN avec la participation de Fabien GERARDIN, Emmanuel BELUT
DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS
et Jean-Paul PAYAN, Patrice SIMON – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

OBJECTIFS

Peu de données d'exposition aux principes actifs des opérateurs de l'industrie pharmaceutique sont disponibles. Les objectifs de cette étude étaient de compléter des résultats antérieurs et de préciser les évaluations des expositions, afin de cibler les opérations et les situations potentiellement à risques pour les opérateurs.

MÉTHODOLOGIE

Des campagnes métrologiques ont été organisées sur neuf sites de production de médicaments (trois laboratoires pharmaceutiques et six façonniers), comportant des prélèvements atmosphériques de poussières, individuels et ambiants, lors d'une quinzaine d'opérations différentes avec, en parallèle, un suivi des activités des opérateurs.

Des échantillonneurs appelés ACCU-CAPTM (prise en compte des dépôts sur les parois) ont été utilisés pour prélever la fraction inhalable et analysés par gravimétrie, le résultat rendant compte de niveaux d'empoussièrement sans différenciation chimique des substances. Quatre principes actifs (sur la cinquantaine mise en œuvre au cours de l'étude) ont pu être dosés après mise au point de la méthode pour chaque substance, avec la difficulté d'obtenir des limites de quantification suffisamment basses.

© Jean-Pierre Dalens / INRS



Analyse en laboratoire de prélèvements réalisés sur sites

RÉSULTATS

380 prélèvements atmosphériques ont été réalisés. L'étude a permis de mieux situer les niveaux d'empoussièrement et a mis en évidence une disparité importante des résultats selon les sites et selon les opérations réalisées. Les niveaux d'empoussièrement trouvés dans l'industrie pharmaceutique ne sont pas négligeables. De manière générale, les opérations manuelles (transvasements, actions mécaniques) effectuées sur les poudres, en système ouvert, présentent les niveaux d'empoussièrement les plus élevés.

Parallèlement, l'évaluation de l'exposition des opérateurs aux principes actifs manipulés a mis en évidence certaines opérations plus exposantes (tamisage, granulation-séchage...). L'évaluation du risque requiert la comparaison à une valeur limite d'exposition, inexistante pour la majorité des principes actifs, dont les quatre analysés. L'établissement de valeurs limites proposé pour deux substances n'a pas été entériné par un comité d'expert.

CONCLUSIONS

Cette étude a permis de situer les niveaux d'empoussièrement sur quelques sites pharmaceutiques et de mieux cibler les tâches qui peuvent être à l'origine de niveaux élevés d'empoussièrement. Il s'agit majoritairement d'opérations manuelles et menées en système non clos. L'opérateur, qui manipule ces poudres, est alors directement exposé aux poussières. Les opérations les plus critiques ne sont pas spécifiques de l'industrie pharmaceutique, mais typiques de la

manipulation de produits pulvérulents. Des modifications de procédés et de schémas aérodynamiques seraient susceptibles de réduire les émissions de poussières et de principes actifs. Il faudrait cependant intégrer les contraintes spécifiques à l'activité de fabrication de médicaments.

MÉTHODOLOGIE D'ÉVALUATION SIMPLIFIÉE DES RISQUES CHIMIQUES : MISE À JOUR ET AMÉLIORATION DE LA MÉTHODE EXISTANTE, PRÉ-ÉTUDE DE L'APPLICATION INFORMATIQUE

Sarah BURZONI, Raymond VINCENT

DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

avec la participation de Francis BONTHOUX – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

OBJECTIFS

Le risque chimique est complexe à appréhender, notamment pour les petites entreprises. L'INRS a publié fin des années 90, une méthode d'évaluation simplifiée. La méthode repose sur une évaluation du risque prenant en compte les conditions d'utilisation et les niveaux de danger, définis par la réglementation en matière de classification et d'étiquetage. L'application du nouveau système dit « CLP » rend nécessaire l'adaptation de la méthode aux nouvelles classes de danger. Des objectifs complémentaires ont consisté à intégrer le retour d'expérience des utilisateurs, grâce aux contacts et aux visites d'entreprises utilisant la méthode existante. Une revue d'outils similaires à la méthode a permis d'identifier les apports notables à intégrer. Les algorithmes décisionnels ont été simplifiés, afin de faciliter l'application de la démarche et de limiter le nombre d'informations à collecter lors de l'inventaire.

MÉTHODOLOGIE

Les niveaux de danger ont été actualisés à partir du règlement « CLP ». Des retours d'expériences auprès de préventeurs utilisant la méthode actuelle ainsi que d'autres outils d'« évaluation des risques chimiques » ont été réalisés en vue d'améliorer la méthode. Les nouvelles propositions d'aide à la décision ont été modifiées grâce à des techniques dont le scoring « Système d'Intégration des Risques par Interaction des Scores » (SIRIS) qui permet de combiner des critères jugés responsables dans l'apparition d'un risque à évaluer.

RÉSULTATS

Les 4 niveaux de danger proposés pour les composantes du risque chimique (santé, incendie/explosion et environnement), au lieu des 5 dans la méthode actuelle, reflètent les différences inhérentes entre les deux systèmes de classification et notamment les effets sur la santé. L'analyse critique des préventeurs complétée par la revue d'outils similaires à la méthode INRS, a permis de proposer des évolutions au niveau de la terminologie, ainsi que l'intégration de paramètres complémentaires. Les améliorations des algorithmes décisionnels proposent à l'utilisateur des méthodes de diagnostic de complexité croissante, nécessitant des degrés d'informations graduelles. Ces méthodes de diagnostic s'adaptent ainsi au niveau de compétence du préventeur et facilitent l'utilisation de la méthode.

CONCLUSIONS

Les améliorations issues des retours d'expériences, de la revue d'outils existants et des propositions de méthodes de diagnostic graduelles sont considérées comme des évolutions recevables, dans la mesure où elles reposent sur l'avis des utilisateurs et que les résultats des algorithmes décisionnels n'altèrent pas les résultats finaux de l'évaluation du risque.

Cette étude propose ainsi une nouvelle méthode plus accessible aux entreprises et contribue au développement d'un système informatique d'évaluation des risques chimiques.

© Guillaume J. Plisson pour l'INRS



Nouvel étiquetage
de produits chimiques

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, François ZIMMERMANN

DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

OBJECTIFS

Une protection cutanée nécessite l'utilisation de matériaux adaptés. Aucun matériau polymère, généralement utilisé lors de manipulation de solvants organiques, ne couvre l'ensemble des besoins de protection, les polymères étant perméables aux solvants dans des conditions et des intervalles de temps très variables. La résistance aux solvants des matériaux polymères est actuellement déterminée par des tests expérimentaux de perméation. Les conditions scientifiques et techniques nécessaires à la réalisation de ces tests, les conditions d'accès à l'information et la multitude de possibilités de combinaisons (solvant(s) - matériau à tester) limitent la

portée et l'impact de l'approche de prévention actuelle. Dans ces conditions, la problématique de la protection cutanée a été abordée dans une perspective nouvelle, pour permettre de sélectionner rapidement la nature du matériau à utiliser en fonction du type de produits chimiques. La prédiction du comportement et de la résistance du matériau polymérique passe par l'analyse des interactions polymère / produit(s) chimique(s) et leur modélisation.

L'INRS et l'IRSST (Institut québécois de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail) ont mis en place un partenariat pour développer un outil permettant de recommander les matériaux de protection les mieux adaptés à l'utilisation de solvants. Cette collaboration entre les deux instituts visait le développement et la validation d'un algorithme de calcul basé sur une théorie de solubilité tridimensionnelle et la mise en ligne d'une application web, destinée aux préventeurs et utilisateurs de solvants.

MÉTHODOLOGIE ET RÉSULTATS

Les principales étapes nécessaires à la réalisation de l'outil ont été :

- le développement d'un algorithme de calcul qui comprend la définition d'un modèle physico-mathématique permettant une approche simplifiée mais avérée des interactions polymères-solvants et le développement de bases de données compilant des propriétés physico-chimiques de quelques 1 200 solvants et des matériaux polymères déterminés au cours de l'étude à partir de plus de 2 000 tests expérimentaux de solubilité ;
- la validation du modèle en confrontant plus de 800 prédictions de l'algorithme aux données de perméation existantes et aux résultats de nouveaux tests expérimentaux de perméation ;
- le développement d'un logiciel informatique qui intègre l'algorithme validé dans une interface simple et intuitive pour l'utilisateur.

CONCLUSIONS

Cette nouvelle approche de prévention se base sur la modélisation des affinités solvants - polymère. L'algorithme de calcul développé est la structure scientifique de base du futur logiciel web à interface utilisateur simple et fonctionnelle. Ce logiciel permettra de recommander les matériaux de protection les mieux adaptés (sélection par l'algorithme si la résistance est supérieure à 8 heures).

Les prévisions du logiciel sont d'un niveau de fiabilité au moins équivalent aux données actuellement disponibles. Le logiciel contiendra, en outre, un niveau d'information inégalable tant le nombre de requêtes possibles est étendu.

Toutefois, de nombreuses possibilités d'amélioration sont envisageables telles que la mise à jour des données solvants, la prise en compte des retours d'expériences des utilisateurs du logiciel, après un temps mature de mise en ligne, l'amélioration de la pertinence des réponses et la prise en compte des conditions réelles d'utilisation des solvants. En outre, cette étude a mis en évidence que peu de matériaux polymères sont adaptés à une protection de longue durée et très peu résistent à des mélanges de solvants, lesquels sont fréquents dans les solutions et préparations liquides industrielles. Ce constat doit initier une réflexion sur la manière de considérer le matériau de protection (utilisation idéale : un usage pour un contact). De plus, une hétérogénéité existe entre les différentes méthodes de perméation et, au-delà des conditions de réalisation variables, la notion même de résistance est incomplète et imprécise. Un travail d'harmonisation des paramètres initiaux des tests et de réflexion sur la notion de résistance pourrait être entrepris prochainement.

Enfin, un « kit perméation entreprise », complémentaire aux recommandations du logiciel, pourrait être développé en parallèle pour que la réalisation de tests de perméation devienne accessible en entreprises afin de valider leur choix de protection.

© Jean-Pierre Dalens / INRS

Développement
d'un logiciel d'aide
au choix de
protection cutanée



ProtecPo est un logiciel de pré-sélection de matériaux polymères de protection aux solvants : <http://proto-protecpo.inrs.fr/ProtecPo/jsp/Accueil.jsp>

MESURE DES FLUX DE POLLUANTS PARTICULAIRES (AÉROSOLS) DANS LES CONDUITS DE VENTILATION INDUSTRIELLE

Roland REGNIER, Denis BEMER avec la participation de Isabelle SUBRA
DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

OBJECTIFS

Dans l'industrie, de nombreux postes de travail, générateurs de polluants particulaires, sont équipés de dispositifs de ventilation chargés de capter tout ou partie des particules émises. La démarche habituellement mise en œuvre, consiste à évaluer la proportion de ces polluants captés puis à les éliminer via un dispositif de filtration adapté au type de particules et au degré d'épuration souhaité. Le dimensionnement du filtre ainsi que le contrôle ultérieur de son bon fonctionnement, notamment en termes de rejet, sont, par conséquent, soumis à la qualité de l'échantillonnage de l'aérosol en conduit. La représentativité de l'échantillon dépend de paramètres liés à la composition de l'installation, à son mode de fonctionnement et à la chaîne de mesure. L'un des objectifs de cette étude a été de déterminer l'incidence, sur la mesure de concentration, de configurations de prélèvement associées à divers appareils de mesure.

MÉTHODOLOGIE

Cinq appareils et deux techniques de mesure de concentration de particules en conduit ont été évalués dans six configurations de prélèvement, au moyen de deux bancs d'essais et d'une méthodologie permettant de comparer des appareils et des configurations types en mesurant

la concentration massique et la concentration particulaire en nombre. L'étude a été menée en trois étapes successives en mettant en œuvre deux aérosols de référence et un aérosol industriel. Toutes les configurations d'essai ont été évaluées suivant un protocole prenant en compte la répétabilité (trois essais dans les mêmes conditions) et une durée de la séquence de mesure de 10 minutes.

La comparaison des diverses configurations d'essai est établie à l'aide d'un modèle statistique, la droite de régression linéaire assortie des différents coefficients de corrélation et limites de confiance entre valeurs réelles et modèle.

RÉSULTATS

Si la très grande majorité des techniques testées dans le cadre de cette étude montre une réponse équivalente en termes de concentration massique lorsqu'elles sont utilisées sur un aérosol de référence, il n'en va pas de même sur un aérosol de type industriel. Ces résultats soulignent l'importance du type d'aérosol et des techniques de mesures propres à chaque appareil sur la mesure de concentration. Par ailleurs, les caractéristiques de l'aérosol étudié ont une incidence prépondérante sur les pertes en ligne qui conduisent à une minoration du résultat de la mesure.

CONCLUSIONS

Cette étude a permis d'établir une hiérarchie des principales configurations de prélèvement particulaire en conduits, d'évaluer la réponse d'un appareil candidat à un usage dans les CARSAT, de confirmer le choix d'appareils de référence pour d'autres mesures. Les bancs d'essais mis en place ainsi que la méthodologie développée permettent d'effectuer le contrôle d'appareils de mesure d'aérosols.

© Jean-Pierre Dalens / INRS



Analyse de polluants
particulaires dans
des conduits de ventilation

MÉTHODES D'ÉVALUATION DES ÉMISSIONS DE POUSSIÈRES DE FARINE

Francis BONTHOUX avec la participation de Denis BEMER, Roland REGNIER
DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

OBJECTIFS

La farine est la première cause d'asthme professionnel en France. Avec les poussières de céréales, elle est incriminée dans 25 % des cas d'asthme professionnel. Elle se retrouve à tous les niveaux de fabrication du pain et les émissions de poussières concernent toutes les machines utilisées en boulangerie : les pétrins, les diviseuses, les façonneuses, les silos, les batteurs - mélangeurs, les laminoirs et les fours.

Une charte de partenariat a été signée entre la CNAMTS et la profession en vue d'aider les constructeurs de matériels à développer des machines qui généreraient moins de poussières de farine. L'objectif étant de pouvoir étiqueter les appareils avec une mention du type « outils plus sûrs ». Le point de départ d'une telle action est la mise au point d'un protocole de mesures des émissions de poussières de farine. La difficulté liée au développement d'une telle méthodologie est accrue par la nécessité de la rendre accessible à un public dépassant le cadre du laboratoire. Les méthodes envisageables consistent à mesurer la concentration en particules dans le système d'extraction d'une enceinte contenant la machine. La problématique couvre trois axes : la mesure des concentrations en poussières, le choix de l'enceinte ventilée et la connaissance des paramètres pouvant influencer sur le débit source.

MÉTHODOLOGIE

Une première partie de l'étude a été réalisée en laboratoire où l'environnement, parfaitement maîtrisé, a permis d'évaluer l'émission en poussières de farine de sources stables et de comparer les performances des appareils de mesure en concentration.

Une seconde partie s'est déroulée dans une enceinte ventilée constituée d'une structure tubulaire revêtue d'une bâche antistatique. Une nouvelle évaluation des débits d'émission des sources a été réalisée dans cet environnement dégradé. L'optimisation de ce système a ensuite été recherchée.

RÉSULTATS

Les essais réalisés montrent qu'une évaluation reposant sur une détermination absolue du débit d'émission n'est pas envisageable. Les incertitudes liées aux appareils de mesure de la concentration en poussières, aux variabilités de la granulométrie des farines et à la maîtrise des conditions aérauliques du local d'essai conduisent à une dispersion des résultats trop élevée.

La solution développée pour contourner ces difficultés consiste à exprimer l'émission de la machine en fraction de l'émission d'une source de référence, placée en lieu et place de la machine à évaluer. La source de référence, basée sur une opération maîtrisée de tamisage, permet de reproduire une émission prenant en compte la nature de la farine. Des tests sur machines réelles doivent être réalisés afin d'affiner les débits d'air extraits pour trouver le meilleur compromis entre les aspects de rapport signal sur bruit (dilution des émissions) et les aspects transport de poussières (limitations des dépôts).



Fabrication de pain

CONCLUSION

Les dernières étapes d'affinage de la méthode doivent être réalisées sur des machines réelles qui sortent du cadre de la mise au point de la méthodologie en laboratoire. Le transfert des connaissances vers l'INBP (Institut National de la Boulangerie et Pâtisserie), plus proche des utilisateurs, permettra de finaliser une méthodologie adaptée.

Les résultats de cette étude faciliteront l'instruction et la réalisation d'une étude à venir sur l'évaluation des débits d'émission des machines à bois. Certaines questions, restées sans réponse, pourront être abordées dans ce cadre.

Au sein de cette thématique, 31 études sont en cours en 2011 :

Le dosage du béryllium par ICP-MS dans l'atmosphère des lieux de travail

Davy ROUSSET – DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

Utilisation d'un badge passif pour le prélèvement d'amiante chez des travailleurs du second œuvre du bâtiment

Céline EYPERT-BLAISON – DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

et Anita ROMERO HARIOT – DÉPARTEMENT EXPERTISE ET CONSEIL TECHNIQUE

Prélèvements et analyses de polluants atmosphériques organiques

Eddy LANGLOIS, Danielle JARGOT – DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

Nouveaux outils pour la surveillance biologique : 3^{ème} phase

Patrice SIMON – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

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 – DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

Indicateurs d'exposition au toluène : évaluation chez le rat des perturbations métaboliques liées à une co-exposition

Frédéric COSNIER – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

Développement d'un prototype de capteur d'exposition chimique sélectif aux aromatiques monocycliques

Bruno GALLAND, Patrick MARTIN – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

Pulvéulence des poudres en fractions conventionnelles d'aérosol

Richard WROBEL, Peter GORNER – DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

Surveillance biologique de l'exposition à plusieurs composés organiques volatils par la mesure de leur fraction résiduelle dans l'urine : étude de faisabilité

Amandine ERB, Alain ROBERT – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

Étude de performance d'échantillonneurs d'aérosols organiques semi-volatils

Benjamin SUTTER, Eddy LANGLOIS – DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

Caractérisation des produits de dégradation thermique des matières plastiques

Marianne GUILLEMOT, Benoit OURY – DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

Création d'une base de données sur la composition chimique des matériaux fibreux

Davy ROUSSET, Sarah BURZONI – DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

Étude des filières agents chimiques

Raymond VINCENT – DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

Évaluation de l'exposition professionnelle par inhalation aux amides (formamide, acétamide et homologues)

Eddy LANGLOIS, Bertrand HONNERT, Benoit OURY – DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

Développement d'un modèle empirique de l'exposition professionnelle aux agents chimiques à l'aide de la base de données COLCHIC

Frédéric CLERC – DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

et Nicolas BERTRAND – DÉPARTEMENT EXPERTISE ET CONSEIL TECHNIQUE

Validation des méthodes de terrain pour évaluer l'étanchéité d'ajustage des masques respiratoires

Sandrine CHAZELET – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

Vérification des performances des APR filtrants après stockage avant utilisation

Sandrine CHAZELET – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

Évaluation de procédés d'épuration de l'ammoniac en milieu professionnel

Philippe FERRARI – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

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 – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

Recherche de solutions technologiques pour l'atténuation d'émission de particules provoquée par la circulation de véhicules

Fabien GERARDIN – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

Ventilation des tables de découpe automatisée des métaux

Robert BRACONNIER – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

Captage de fibres céramiques réfractaires sur poste fixe

François-Xavier KELLER – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

Évaluation technico-économique de dispositifs de ventilation intégrant une récupération d'énergie

Roland RAPP – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

Ventilation des espaces confinés

Robert BRACONNIER, François-Xavier KELLER – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

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 – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

Passage percutané d'herbicides dérivés de 2,4-dichlorophénoxyacides : relation structure-activité

Jean-Paul PAYAN, Dominique BEYDON – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

Absorption percutanée ex-vivo de toxiques lipophiles solides : utilisation de véhicule de type sébum artificiel

Dominique BEYDON – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

Exposition au béryllium en France.

Caractérisation, prévention, diffusion des connaissances

Davy ROUSSET – DÉPARTEMENT MÉTROLOGIE DES POLLUANTS

Réduction des risques induits par le broyage

Éric SILVENTE – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

Filtration et Adsorption

Denis BEMER – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

Modélisation pour la Prévention de la Pollution

Jean-Raymond FONTAINE – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES PROCÉDÉS

© Gaël Kerbaol / INRS



Parc de produits
chimiques industriels

RISQUES MÉCANIQUES

Malgré des progrès notables dans la conception des équipements de travail, les risques mécaniques nécessitent une attention particulière. Les machines, qu'elles soient fixes ou mobiles, sont en effet à l'origine de nombreux accidents du travail, non seulement dans l'industrie manufacturière, champ « historique » de l'activité de l'INRS vis-à-vis des risques mécaniques, mais aussi dans des secteurs d'activités tels que le BTP, la logistique, le traitement des déchets, etc. L'INRS poursuit ses travaux d'études pour l'intégration de la prévention des accidents dans la conception de machines dangereuses, telles que : scies à viande – machines à bois – presses plieuses – presses à balles et compacteurs à déchets – machines à imprimer en héliographie – foreuses – chariots...

La sécurité des installations robotisées est abordée plus particulièrement sous l'aspect des risques liés à la co-activité homme/robot. Par ailleurs, l'Institut étudie la faisabilité et la sûreté de fonctionnement de systèmes électroniques : détection de personnes dans les zones dangereuses, aide à la conduite de véhicules, télécommandes industrielles sans fils, télémaintenance. Deux études terminées en 2010 portent sur la prise en compte des phases de maintenance dès la conception des équipements de travail, une troisième concerne les protecteurs pour les salariés travaillant à genoux.

ÉTUDE DE LA RÉPARTITION DE LA FORCE D'APPUI SUR LES PROTECTEURS DE GENOUX

Patrice MARCHAL avec la participation de Michel JACQUES, Dominique HAGUENAUER
DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

OBJECTIFS

L'hygroma du genou est une affection péri-articulaire qui produit une inflammation des tissus sous-cutanés des zones d'appui lors du travail à genoux (carreleurs, poseurs de revêtement de sol, électriciens, couvreurs, plombiers, etc.). En 2008, environ 400 cas de maladies professionnelles ont été déclarés. Pour limiter ces risques, il est requis d'utiliser des protecteurs de genoux, conformes à la norme européenne EN 14404.

L'objectif de cette étude est d'analyser :

- les paramètres d'essai de la répartition des forces définis dans la norme : les 3 points de mesure de la force d'appui ; ils sont situés aux endroits les plus critiques mais ils ne permettent pas d'obtenir une cartographie suffisante de la répartition de la force et en particulier d'avoir la garantie d'en déterminer la valeur maximale ;
- le genou artificiel défini dans la norme ; ses dimensions ont été déterminées par moulage sur un sujet humain. Aucune validation n'a été faite en vue de vérifier sa représentativité en termes de répartition des efforts et de surface d'appui ;
- la valeur limite de 30N ; elle a été définie à partir d'un consensus entre les différents participants du groupe de normalisation sur la base de genouillères considérées satisfaisantes.



Banc d'essais
de protecteurs
de genoux

MÉTHODOLOGIE

Afin de répondre aux trois objectifs, les étapes de cette étude ont été les suivantes :

- définition d'un moyen de mesure permettant d'avoir une cartographie complète de la répartition de la pression exercée au niveau des genoux. En outre, ce matériel devait être utilisable lors des mesures avec des sujets d'essai ;
- conception et fabrication de 3 genoux artificiels différents afin de déterminer l'influence de leur taille et de leur forme sur la répartition de la force d'appui et déclinaison d'un modèle de genou constitué de formes géométriques simples et facilement représentables ;
- mesure de la répartition de la pression sur des sujets d'essai et corrélation avec leur ressenti de confort.

RÉSULTATS

Les positions des trois capteurs définis dans la norme ne permettent pas d'avoir la garantie de mesurer la pression maximale. La nappe de capteurs de pression mise en œuvre dans cette étude donne une cartographie complète et immédiate de la répartition de la force.

Trois genoux artificiels représentatifs de différentes tailles ont été définis à partir de 40 sujets d'essais. Un genou simplifié a aussi été défini. Selon les types de genouillère, la répartition de la force peut varier d'un genou à l'autre. Mais les pressions obtenues avec le genou simplifié sont dans les gammes de celles relevées avec les autres genoux. Son utilisation peut donc être envisagée à la place du genou actuel, difficile à fabriquer et non représentatif de la diversité des morphologies. Enfin, au vue du panel de protecteurs évalués lors des essais subjectifs, il est permis de conclure que la limite de 30 N spécifiée par la norme est cohérente avec le confort ressenti par les 10 sujets d'essai.

CONCLUSIONS

Cette étude a mis en évidence des insuffisances dans la méthode normalisée actuelle. Les résultats seront présentés au comité européen de normalisation (CEN).

Il sera proposé d'adapter le protocole d'essai pour garantir la mesure de la pression maximale et de remplacer le genou artificiel par le modèle simplifié. En revanche, la limite de 30 N n'est pas remise en cause. Des recommandations pratiques seront élaborées pour aider les utilisateurs et les préventeurs à choisir un protecteur des genoux adapté à leurs utilisations.

OUTILS POUR LA SENSIBILISATION À LA PRÉVENTION DES RISQUES PROFESSIONNELS EN MAINTENANCE INDUSTRIELLE

Jean-Christophe BLAISE

DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

OBJECTIFS

Dans une étude antérieure, l'INRS a obtenu des professionnels de maintenance (de l'opérateur au responsable) leur vision des risques liés à l'activité. Il s'agissait plus particulièrement d'identifier les relations entre les différents facteurs de risque et les différents processus de maintenance. Cette étude a permis d'obtenir une représentation schématique des processus de maintenance dont chaque étape a son importance en matière de sécurité de l'intervention. L'objectif de la présente étude est de développer un outil permettant d'appréhender les processus de maintenance influents sur la santé et la sécurité des opérateurs. L'outil vise à sensibiliser les professionnels à la maîtrise des processus (au sens de la norme ISO 9001:2000) et à mieux identifier les facteurs de risques liés à leurs activités.

MÉTHODOLOGIE

L'exploitation de connaissances au travers d'outils didacticiels nécessite de définir un modèle des processus de maintenance, ainsi que ses possibilités d'exploitation à travers différents logiciels. Ces outils permettent d'accéder, selon les besoins identifiés, à la connaissance ainsi formalisée. Le résultat de la formalisation des processus et des facteurs de risques doit être rassemblé sous forme de base de connaissances pour alimenter différents logiciels. Deux grandes étapes sont identifiées : la capitalisation de la connaissance, via sa formalisation et le développement d'outils (informatisation) basés sur cette connaissance.

RÉSULTATS

Les connaissances ont été modélisées à l'aide d'un atelier de génie logiciel. Les exploitations possibles ont été étudiées et une application logicielle a été développée ; elle montre la faisabilité de l'exploitation de la connaissance. Le prototypage a montré la possibilité de décliner l'application en vue d'une exploitation web. La simulation du processus de maintenance en phase de validation du prototype a permis d'une part, de valider les interfaces développées et d'autre part, le contenu de la base de connaissances. Ce démonstrateur permet d'illustrer les potentialités de futurs outils en termes de sensibilisation et d'assistance en ingénierie de la maintenance.

CONCLUSIONS

D'un point de vue méthodologique, l'objectif était de développer une démarche pour passer d'une connaissance à son exploitation informatique. Dans sa version prototype, l'outil utilise une terminologie définie et validée lors des études en partenariat avec l'université de Nancy, les entreprises et le réseau prévention. D'un point de vue prévention, un outil interactif pour dérouler le processus de maintenance est désormais disponible à l'état de prototype. Un tel outil pourrait être utilisé à des fins de formation, notamment initiale, dans les cursus santé/sécurité et maintenance.

© Jean-Pierre Dalens / INRS



Conception d'outils
de sensibilisation aux
risques en maintenance
industrielle

INTERVENTION SUR UN ÉQUIPEMENT DE TRAVAIL : QUELLES MESURES DE SÉCURITÉ ?

Jean-Christophe BLAISE

DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

avec la participation de Jean-Louis POYARD, Henri LUPIN, Guy WELITZ

DÉPARTEMENT EXPERTISE ET CONSEIL TECHNIQUE

OBJECTIFS

Alors que les activités de « production » des entreprises font l'objet de nombreux travaux, à l'inverse, peu de travaux sont consacré aux activités « hors production ». Or, il apparaît que ces activités se révèlent très accidentogènes. Cette étude est destinée à faire le point sur les pratiques lors des interventions sur un équipement de travail pour les modes de fonctionnement autres que la conduite « normale ». Elle s'est déroulée en deux étapes. La première avait pour objectif de définir et uniformiser la terminologie en vue notamment de proposer une architecture des phases de vie d'un équipement de travail et de donner les grands principes de mise en sécurité. La deuxième, sur un type d'intervention particulier – l'observation du processus – doit per-

mettre d'aider les utilisateurs à mettre en sécurité leurs équipements pour ce type d'intervention, mais aussi les concepteurs pour développer un mode de fonctionnement et de sécurité approprié.

MÉTHODOLOGIE

La première étape a consisté à recueillir les connaissances et pratiques liées à la sécurisation des interventions hors du mode « normal » de conduite. La démarche conduit tout d'abord à identifier les informations, à recueillir et surtout à circonscrire la problématique. Ces diverses informations permettent de définir la problématique et fournissent les bases théoriques.

La seconde s'est attachée à déterminer une méthode applicable à la sécurisation des interventions réalisées pour l'observation d'un processus, puis à la décliner sur un certain nombre d'exemples.

© Jean-Pierre Dalens / INRS



Analyse
en laboratoire
d'une intervention
sur un équipement
de travail

RÉSULTATS

La bibliographie montre que les textes réglementaires et normatifs ne définissent que succinctement la sécurité des modes autres que « production ». Une première contribution a consisté à identifier la terminologie utilisée et à proposer une architecture des différentes phases de vie et des tâches potentielles à effectuer sur un équipement de travail. Une nouvelle photographie des accidents relatifs à ces phases a été réalisée. Elle confirme le nombre important des interventions sous énergies, l'absence de consignation dans de nombreux cas (30 % des accidents recensés) et le fait que la consignation n'est pas la réponse appropriée pour la sécurité de certaines interventions, surtout celles qui nécessitent le maintien d'énergies.

L'observation du processus est une de ces interventions à risques puisque réalisée en présence d'énergies. En se basant sur les exigences de la directive machines, une démarche de mise en sécurité est proposée en privilégiant les solutions de prévention intrinsèque. L'application à la mise en sécurité d'une zone d'observation au sein d'une zone robotisée montre l'importance de la prise en compte de ces besoins d'intervention à la conception.

CONCLUSIONS

L'étude a permis de proposer une cartographie des tâches à effectuer sur un équipement. L'identification de ces tâches est la première étape d'une meilleure intégration de leur sécurisation à la conception. Concernant l'observation du processus, une démarche de mise en sécurité a été développée. Les résultats confirment la difficulté d'intégrer toutes les futures activités des utilisateurs lors de la conception des machines. Une mauvaise intégration implique une sur-exposition des utilisateurs qui doivent tout de même intervenir, finissant par détourner voire supprimer des sécurités mal appropriées.

Au sein de cette thématique, 3 études sont en cours en 2011 :

Robotique et prévention des AT-MP : étude d'instruction

Philippe CHARPENTIER – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

PRECEP : PRÉvention des Collisions Engins-Piétons

Pascal LAMY – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

Estimation de l'efficacité de systèmes de retenue pour caristes : élaboration d'une procédure d'essai

Jérôme REBELLE – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL



Activité de travail
d'un cariste de plate-forme
logistique

RISQUES PSYCHOSOCIAUX : STRESS, VIOLENCE INTERNE ET EXTERNE

De nombreuses grandes entreprises ont adopté des plans de prévention des risques psychosociaux (RPS) en privilégiant, pour certaines, les approches recommandées par l'INRS.

Le contexte de la prévention des RPS en France s'est modifié, avec un appui des pouvoirs publics, une expansion auprès des acteurs de la prévention des risques professionnels et une sensibilisation des entreprises à cette thématique qui, pour certains, sont passés à la prévention active.

Plusieurs études INRS, en cours en 2011, portent sur la compréhension des phénomènes liés à l'activité de travail pouvant conduire au bien-être ou à la dégradation de la santé physique ou mentale. D'autres visent à améliorer les connaissances sur les risques psychosociaux liés au travail et leurs effets sur la santé.

Au sein de cette thématique, 7 études sont en cours en 2011 :

Étude des mécanismes de régulations de l'isolement professionnel

Jacques MARC – DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

Modélisation de Situations de Violences au Travail (MSVT)

Marc FAVARO – DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

Émotions au travail et santé : comparaison entre différentes situations à forte charge émotionnelle

Corinne VAN DE WEERDT – DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

Promotion d'une politique de bien-être dans les entreprises du tertiaire

Vincent GROSJEAN – DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

Prévention des risques psychosociaux et transformation des pratiques de médecine du travail

Blandine BARLET – DÉPARTEMENT EXPERTISE ET CONSEIL TECHNIQUE

et Éric DRAIS – DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

Des risques psychosociaux aux facteurs organisationnels.

Approche par un questionnaire Santé/Bien-être

Vincent GROSJEAN – DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

Veille scientifique via un groupement de recherche « psychologie ergonomique » du CNRS

Florence HELLA – DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

RISQUES POUR LA REPRODUCTION

Les programmes de recherche de l'INRS visant à approfondir les connaissances toxicologiques relatives aux effets sur la reproduction et le développement ainsi qu'à évaluer le danger pour la grossesse de certaines catégories de substances jusqu'alors peu étudiées, se poursuivent.

L'INRS réalise des études de toxicologie expérimentale vis-à-vis du développement afin de fournir des données pour la réglementation (classification, étiquetage), comprendre les mécanismes d'action ou déterminer des valeurs toxicologiques de référence.

L'Institut travaille également sur certains perturbateurs endocriniens, comme les phtalates ou le bisphénol A.

Au sein de cette thématique, 3 études sont en cours en 2011 :

Étude du mode d'action reprotoxique de phtalates : cas du phtalate de di-n-hexyle

Anne-Marie SAILLEFAIT – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

**Évaluation biologique de l'exposition professionnelle
au phtalate de di(2-éthylhexyle) (DEHP) liée au port de gants vinyle**

René GAUDIN – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

Influence de la structure chimique sur la toxicité du développement des phtalates

Anne-Marie SAILLEFAIT – DÉPARTEMENT POLLUANTS ET SANTÉ

© D.R.



Suivi médical
pendant la grossesse

RISQUE ROUTIER PROFESSIONNEL

Le risque routier professionnel est la première cause de décès au travail. En 2009, les accidents de la route ont représenté 20 % des décès (hors accident de trajet domicile travail), malgré une baisse significative de - 57 % depuis 2002. L'activité de conduite expose également les salariés à de nombreux risques professionnels : RPS, TMS, ...

Chaque jour, plusieurs millions de véhicules utilitaires légers : fourgons, fourgonnettes ou autres camionnettes, sont utilisés sur la route par les entreprises pour transporter le matériel et les marchandises nécessaires à leur activité. Lors d'un accident routier frontal, un chargement non retenu à l'arrière du véhicule est violemment projeté vers les places assises et devient ainsi un projectile susceptible de blesser, voire de tuer les occupants du véhicule.

Une étude s'est achevée en 2010 et une seconde est en cours sur la prévention des risques associés à l'utilisation des VUL (parc de 8 millions en France).

DÉTECTION DE SURCHARGE SUR LES VÉHICULES UTILITAIRES LÉGERS : APPORT DES DISPOSITIFS TECHNIQUES

David TIHAY avec la participation de Patrick BERTRAND, Jean-Pierre BUCHWEILLER

DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

et Laurent BARON – UNITÉ DES PROCESSUS COMMUNS

OBJECTIFS

La surcharge d'un véhicule a une influence directe sur son comportement routier et son usure (une des conclusions du livre blanc édité en 2007 par le comité de pilotage pour la prévention du risque routier professionnel). La simple évaluation humaine pour estimer les charges embarquées à bord d'un Véhicule Utilitaire Léger atteignant rapidement ses limites, il importe d'avoir recours à des dispositifs techniques embarqués sur le véhicule pour détecter des surcharges, voire une mauvaise répartition du chargement dans le véhicule. L'objectif de cette étude est d'inventorier les dispositifs disponibles sur le marché puis d'en évaluer les performances.

MÉTHODOLOGIE

La démarche proposée s'appuie d'abord sur une étude bibliographique basée essentiellement sur l'analyse de documents institutionnels, puis sur l'examen des caractéristiques techniques des dispositifs identifiés et enfin sur une phase expérimentale au cours de laquelle les performances des dispositifs sont évaluées en situation réelle sur véhicules. En complément de l'analyse sur l'apport effectif de ces dispositifs à la fonction attendue, une évaluation de leurs limites et des facteurs influents sur le résultat de la mesure a été menée. Parallèlement à cette approche expérimentale, pour chacun des dispositifs candidats, les caractéristiques relatives à la sûreté de fonctionnement sont évaluées.

RÉSULTATS PRINCIPAUX

Les dispositifs techniques retenus dans le cadre de l'étude informent l'utilisateur, avant le départ du véhicule, par le biais d'alarmes visuelles et sonores d'une situation de surcharge et pour certains, d'une mauvaise répartition de charge. Dans des conditions d'utilisation conformes aux préconisations des constructeurs, les dispositifs fournissent à l'utilisateur une estimation de la masse de son chargement et lui permettent ainsi d'éviter les situations de surcharge. Les expérimentations montrent que la précision des estimations fournies par ces dispositifs peut être altérée par des paramètres tels que les conditions de chargement et l'environnement dans lequel se trouve le véhicule lors de l'estimation de masse. Ces situations peuvent entraîner des erreurs d'estimation pouvant atteindre 20 % sur certains dispositifs.



© Jean-Pierre Dalens / INRS

Tests de dispositifs de détection de surcharge

CONCLUSIONS

L'étude met en évidence l'importance de la prise en compte de quelques recommandations quant au choix d'un dispositif de détection de surcharge. Il faut proscrire l'utilisation de dispositifs qui modifient les caractéristiques des suspensions du véhicule. Le choix de dispositifs multi-capteurs doit être privilégié, ceux-ci étant, contrairement aux versions mono-capteur, capables de détecter les mauvaises répartitions de charge dans le véhicule.

Les dispositifs de détection de surcharge et de mauvaise répartition de charge disponibles à ce jour sur le marché sont des outils d'aide à l'estimation de charge mais également des outils d'aide à la prévention. En effet, leur utilisation devra amener le conducteur à adapter la masse de son chargement aux capacités de son véhicule. Ce ne sont pas des composants de sécurité, leurs performances restent perfectibles, néanmoins, une utilisation respectueuse des préconisations d'utilisation et la prise en compte des imprécisions de ces dispositifs lors du chargement doivent permettre d'éviter les situations de surcharge et de mauvaise répartition de chargement.

Au sein de cette thématique, 1 étude est en cours en 2011 :

Évaluation du risque lié au chargement d'un véhicule utilitaire et aide à la conception d'aménagements plus sûrs

Gérard FLEURY – DÉPARTEMENT INGÉNIERIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

TROUBLES MUSCULO-SQUELETTIQUES ET LOMBALGIES

Les TMS constituent la première cause de maladie professionnelle reconnue avec une progression annuelle d'environ 18 % depuis 10 ans. En 2010, les actions entreprises dans le cadre de la thématique TMS et lombalgies ont plus particulièrement été conduites en synergie avec de nombreux acteurs (partenaires institutionnels ou des organismes de recherche). Des résultats d'études ont été acquis, notamment sur des associations méthodologiques innovantes appliquées à des secteurs divers tels que la reliure, le milieu chirurgical, les fossoyeurs, sur les outils de surveillance des TMS (SAL TSA), sur des outils d'évaluation (OREGE). Les avancées les plus récentes dans le champ de l'évaluation des risques, ou celui de l'intégration de la prévention dès le stade de la conception sont ainsi transmises aux relais de terrain pour être déclinées dans les TPE et PME. D'autres travaux contribuent indirectement à enrichir ce champ de recherche :

- étude sur les mannequins numériques (thématique « conception des équipements, des lieux et des situations de travail ») ;
- étude relative à l'organisation de la conception (thématique « organisation santé, sécurité et bien-être au travail ») ;
- projet d'étude expérimentale (thématique « vieillissement, travail, santé »).

Des échanges portant sur les relations entre RPS et TMS sont également engagés au sein de la communauté scientifique en 2011.

Au sein de cette thématique, 3 études sont en cours en 2011 :

Influence de la manipulation des articles sur les principaux déterminants des facteurs de risques de TMS générés par l'activité d'encasement dans la grande distribution

Jean-Pierre ZANA, Jean-Louis POMIAN – DÉPARTEMENT EXPERTISE ET CONSEIL TECHNIQUE

Prévenir les troubles musculo-squelettiques des membres supérieurs en variant les conditions de réalisation d'une même tâche

Clarisse GAUDEZ – DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

Identification de déterminants émergents en lien avec le risque de TMS : analyse ergonomique et biomécanique de l'activité de découpe de viande

Adriana SAVESCU – DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

VIEILLISSEMENT, TRAVAIL, SANTÉ

En France, comme dans la plupart des pays d'Europe, la population en âge de travailler vieillit, la part des quinquagénaires dans la population active devrait, selon les projections, encore progresser pendant les 15 prochaines années. Par ailleurs, les évolutions législatives récentes (Loi sur la réforme des retraites et le financement de la Sécurité Sociale) font que l'emploi des seniors est devenu une préoccupation nationale. Toutefois, la question du vieillissement au travail reste encore peu abordée dans les entreprises, et ce, malgré l'obligation de mise en place d'accords « seniors » depuis le 1^{er} janvier 2010.

En matière d'études et recherche, l'INRS a poursuivi ou initié, en 2010, plusieurs actions portant sur l'adaptation du travail à une population vieillissante et sur les impacts des conditions de travail sur le vieillissement (poste, parcours, secteurs, horaires...).

Au sein de cette thématique, 3 études sont en cours en 2011 :

Démarche d'évaluation globale des pénibilités du travail

Kevin DESBROSSES, Jean-Pierre MEYER, Emmanuelle TURPIN-LEGENDRE
DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

Âge, santé, travail

Martine GILLES, Isabelle TITON – DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

Incidence selon l'âge, de contraintes temporelles variées dans une tâche d'assemblage, sur les astreintes biomécaniques et physiologiques

Laurent CLAUDON, Martine GILLES, Jean-Pierre MEYER – DÉPARTEMENT HOMME AU TRAVAIL

© Jean-Pierre Dalens / INRS



Simulation en laboratoire
d'un travail répétitif
pour la mesure de l'effort selon
l'âge et la cadence

RAYONNEMENTS IONISANTS

En France, plus de 300 000 personnes sont concernées par l'exposition à des rayonnements ionisants-générateurs X, sources scellées ou non scellées. Elles sont surveillées par dosimétrie individuelle. L'utilisation de ces sources peut se faire dans de très grandes entreprises (secteur de production nucléaire, structures hospitalières...) comme dans les TPE ou PME (BTP, installations dentaires, vétérinaires...), secteurs dans lesquels l'INRS agit pour la prévention, en apportant son expertise aux organismes de contrôle et à l'État.

En 2010, une étude dans le domaine de la radiologie médicale s'est achevée.

CAPILLAROSCOPIE EN RADIOLOGIE INTERVENTIONNELLE

Marie-Christine GAURON – DÉPARTEMENT ÉTUDES ET ASSISTANCE MÉDICALES
et **Michel GRZEBYK** – DÉPARTEMENT ÉPIDÉMIOLOGIE EN ENTREPRISE

OBJECTIFS

La radiologie interventionnelle (procédures radioguidées concernant des actes médicaux et chirurgicaux) apparaît comme la technique médicale la plus à risque radiologique pour les opérateurs, en particulier, pour la main et l'œil. Une étude préliminaire « Capillaroscopie multiparamétrique sous unguéale des expositions chroniques professionnelles aux rayonnements ionisants » (B. Perdereau, Institut Curie) a montré des différences significatives de prévalence des lésions capillaroscopiques entre des médecins exposés et non exposés. Cependant, l'échantillon était insuffisant et les interprétations des examens n'avaient pas été « faites en aveugle ». Les objectifs de cette étude étaient de confirmer ou d'infirmer, sur un échantillon plus important, l'influence de l'exposition sur l'apparition des anomalies capillaires.

MÉTHODOLOGIE

L'échantillon étudié est constitué de 200 professionnels exposés et de 40 professionnels non exposés. Un examen clinique, un examen capillaroscopique, une enquête sur le passé professionnel et les habitudes de vie, ainsi qu'une évaluation dosimétrique ont été réalisés pour chaque professionnel inclus. Pour certains volontaires, une évaluation dosimétrique de certains de leurs actes a été faite par l'IRSN (*Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire*). Les photos issues des examens capillaroscopiques ont été relues par 5 capillaroscopistes en aveugle avec codage des paramètres étudiés lors de l'étude préliminaire. Les différents paramètres capillaroscopiques ont été regroupés en deux types de critères :

- critères d'extrasation (œdème, nombre de rangées et longueur des anses) ;
- critères morphologiques (nombre d'anses, néogénèse, dystrophies, parcours et distribution des capillaires).

Les fréquences des altérations ont été comparées entre les sujets exposés répartis en 3 groupes (chirurgiens, cardiologues, autres exposés) et les témoins non exposés, en relation avec l'évaluation des expositions directes (dosimétriques) et indirectes (actes professionnels, rythme).

RÉSULTATS

La comparaison du groupe de paramètres caractérisant le critère morphologique entre les 4 groupes de médecins met en évidence des différences statistiquement significatives entre les chirurgiens ou les « autres exposés » par rapport aux témoins non exposés. Les indices de l'exposition actuelle, la durée d'exposition en année, l'estimation de la dose cumulée par catégorie professionnelle sont significativement associés à ce critère morphologique. Aucune association n'est retrouvée chez les cardiologues. Par ailleurs, aucun résultat significatif n'a été mis en évidence sur les critères d'extravasation.

CONCLUSIONS

Cette étude confirme, sur un plus large échantillon, les résultats de l'étude préliminaire ayant montré une association entre certains paramètres capillaroscopiques et l'exposition aux rayonnements ionisants. Ces conclusions montrent la nécessité de mettre en place une surveillance systématique par dosimétrie des extrémités chez les médecins radio-exposés et de lancer des études techniques permettant de réduire l'exposition lors de ces actes.



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 (ANACT, CEA, INVS...) et internationaux (AISS, PEROSH...) ou les instituts homologues (HSL, IFA, IRSST...) est présente en 2010-2011 dans la moitié des actions d'études et recherche.

Les « études et recherche » de l'INRS apportent un appui scientifique et/ou technique aux politiques publiques nationales, européennes et internationales : contributions aux plans nationaux (PST et PNSE principalement), participation à des groupes de travail ou comités d'experts (ANSES...), partenariats et implications dans des instances européennes et internationales (OMS, BIT...).

Afin de renforcer le partage de connaissances scientifiques européennes, l'INRS participe au réseau 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, dont les thèmes sont : toxicité des nanoparticules, métrologie des nanoparticules, TMS, vieillissement, équipements de protection. L'Institut assure depuis janvier 2011 la présidence du réseau pour une durée de deux ans.

Depuis 2010, l'INRS est également partenaire du projet européen Nanogenotox, co-financé par la Commission européenne et coordonné par l'ANSES. 17 organismes issus de 13 états membres de l'Union européenne y participent. L'objectif du projet est de fournir une méthode d'évaluation du potentiel génotoxique de nanomatériaux. La contribution de l'INRS concerne notamment la caractérisation des propriétés physico-chimiques de différentes nano-poudres et la réalisation de tests pour évaluer le potentiel génotoxique de particules de silices nanostructurées.

Concernant le Projet « Nanodevice », débuté en 2009, l'INRS a organisé en avril 2010 la première réunion d'avancement des travaux en présence d'une quarantaine de participants, dont les responsables de la DG environnement et de la DG recherche de la Commission européenne, du Comité technique ISO/TC/229 sur les nanotechnologies et de grandes entreprises concernées par le sujet. Ce projet, qui regroupe 26 partenaires, vise le développement et la validation de méthodes et concepts de mesure pour évaluer l'exposition professionnelle aux nanoparticules.



Les participants à la réunion Nanodevice, une rencontre organisée les 14, 15 et 16 avril 2010, au Centre de Lorraine de l'INRS.

Sur le plan international, l'Institut contribue aux travaux du SCOEL (Scientific Committee on Occupational Exposure Limits), instance chargée de conseiller la Commission européenne sur toute question concernant l'examen des effets toxicologiques de substances chimiques sur la santé des travailleurs. Il est membre du comité scientifique « limites d'expositions professionnelles à des agents chimiques ». 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. Avec l'IRSST, homologue québécois, une collaboration, démarrée en 2009 s'est poursuivie en 2010, sur les protecteurs individuels contre le bruit et les encoffrements de machines.

Au niveau national, certains partenariats prennent la forme d'« équipes mixtes », entités constituées de laboratoires extérieurs et de laboratoires INRS. En 2010, les travaux se sont poursuivis avec :

- le laboratoire d'Énergétique et Mécanique Théorique et Appliquée (CNRS et Université Henri Poincaré, Nancy) ;
- le laboratoire de Biomathématiques et d'Audioprothèse de l'Université Henri Poincaré, Nancy ;
- le laboratoire des réactions et du génie des procédés (CNRS et Université Henri Poincaré, Nancy) ;
- le laboratoire de psychologie de l'Université Nancy 2.

Les partenariats développés par l'INRS constituent également un cadre propice au recrutement et à l'accueil de doctorants.

En 2010, 15 candidats à un doctorat ont enrichi les travaux de recherche et deux thèses ont été soutenues. En 2011, 19 doctorants apportent leurs connaissances et compétences aux études conduites dans les laboratoires du Centre de Lorraine en collaboration avec :

- Université Toulouse II – Laboratoire cognition, langues, langage, ergonomie
- Université Versailles – Saint-Quentin-en-Yvelines – Laboratoire PRINTEMPS
- Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM) – Laboratoire CRTD (Centre de Recherche sur le Travail et le Développement)
- Université de Provence – Aix-en-Provence
Laboratoire CEPERC (Centre EPistémologie et ERgologie Comparative)
UMR – CNRS 6059
- UFR Sciences Humaines et Arts (SHA) – Metz
ETIC (Expérience utilisateur dans les Traitement des Interactions technologiques et des Conduites humaines et sociales)
- Université Henri Poincaré – Nancy Université
LEMTA (Laboratoire d'Énergétique et de Mécanique Théorique et Appliquée)
- Institut National des Sciences Appliquées (INSA) – Lyon
LVA (Laboratoire Vibrations Acoustique)
- Université Pierre et Marie CURIE – Paris 6
LSI (Laboratoire de Simulation Interactive) – CEA
- INPL – Nancy – LRGP (Laboratoire Réactions et Génie des Procédés)
- INPL – Nancy – LPMA (Laboratoire de Physique et de Métrologie des Aérosols)
IRSN SACLAY
- École des Mines – Nantes – Laboratoire GEPEA (Génie des Procédés Environnement Agroalimentaire)
UMR – CNRS 6144
- Université de Bourgogne – Dijon – Laboratoire Microbiologie & Géochimie des Sols – INRA – UMR 1229
- Université de Pau et des Pays de l'Adour
LCABIE (Laboratoire de Chimie Analytique Bio-Inorganique et Environnement)
IPREM – Pau
- Université Henri Poincaré – Nancy Université
Unité de Recherche NGERE (Nutrition, Génétique et Exposition aux Risques Environnementaux) – INSERM – UHP UMR S-954

PUBLICATIONS DE L'ANNÉE 2010

Les résultats des « études et recherche » font l'objet de publications scientifiques et techniques. Les publications de l'année 2010 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.

62 articles sont parus en 2010, dont :

- 28 dans des revues internationales à comité de lecture, dont : *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, *Chemosphere*, *Toxicology*, *Aerosol Science and Technology* ;
- 34 dans des revues nationales, dont : 18 dans la revue de l'INRS *Hygiène et Sécurité du Travail*, 6 chapitres dans des ouvrages ;
- Ainsi que : 37 actes de congrès, 5 notes scientifiques et techniques de 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 2010, un nouvel *Avis* est venu enrichir la collection :

GROSSESSE ET TRAVAIL : QUELS SONT LES RISQUES POUR L'ENFANT À NAÎTRE ?



Rédigé sous la direction de Dominique Lafon de l'INRS, l'ouvrage examine les conséquences pour l'enfant de l'exposition des femmes enceintes aux risques induits par leurs activités professionnelles. Il propose une mise au point

sur les connaissances actuelles de l'impact potentiel des expositions professionnelles sur le dérou-

lement de la grossesse, et plus particulièrement sur les effets pour l'enfant à naître. De nombreux risques sont abordés : chimiques, biologiques, rayonnements ionisants, ondes électromagnétiques, travail physique, bruit, stress, horaires irréguliers ou de nuit. L'ouvrage détaille également la réglementation en la matière, ainsi que les résultats des études épidémiologiques consacrées à diverses professions. Enfin, des recommandations sont émises avec pour objectif l'amélioration de la prise en charge de ces risques dans le monde du travail.

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

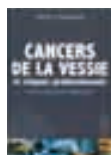
LA SOUS-TRAITANCE INTERNE



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 exposi-

tions 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 dirigé par Michel Héry, qui constitue un bilan de la question et qui propose aussi des pistes pour agir.

L'ÉMERGENCE DES RISQUES



L'ouvrage rédigé 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.

NANOPARTICULES : UN ENJEU MAJEUR POUR LA SANTÉ AU TRAVAIL ?



Cet *Avis d'experts* a été rédigé 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 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.

CANCÉROGÉNÉCITÉ DU PLOMB



Ouvrage de synthèse évaluant le risque cancérigène lié au plomb en milieu de travail. L'*Avis d'experts* a été rédigé 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.

COMMUNICATIONS 2010

Les chercheurs de l'INRS participent chaque année à de nombreux congrès nationaux et internationaux : 146 communications ont été présentées dans différentes manifestations en 2010, dont 84 dans des congrès à l'étranger et l'INRS a été particulièrement présent :

- au 31^e congrès national de médecine et santé au travail (Toulouse, juin) avec 20 communications présentées ;
- à la 7^e conférence internationale sur la prévention des TMS – PREMUS 2010 (Angers, août) avec 12 communications ;
- au 10^e Congrès Français d'Acoustique – CFA 10 (Lyon, avril) avec 6 communications ;
- au 13^e Colloque de l'ADEREST – Association pour le développement des études et recherches épidémiologiques en santé au travail (Pont-à-Mousson, septembre) avec 6 communications ;
- au Congrès biennal de l'Association canadienne de recherche en santé au travail (Toronto, mai) avec 5 communications ;
- à la 29^e Conférence internationale de santé au travail – ICOH WOPS (Amsterdam, juin) avec 5 communications ;
- à la Conférence Internationale sur les Aérosols – IAC 2010 (Helsinki, août) avec 5 communications.

LISTE DES PUBLICATIONS 2010

ACCIDENTOLOGIE, PERCEPTION DU RISQUE ET ACCEPTABILITÉ

LECLERCQ S., MONTEAU M., CUNY X. ► Avancée dans la prévention des « chutes de plain-pied » au travail : définition opérationnelle des Accidents avec Perturbation du Mouvement (APM). *Pistes*, novembre 2010, vol. 12, n° 3, 16 p.

VENNER B. ► Pour une pluridisciplinarité préventive en rencontre du travail. *Ergologia*, mars 2010, pp. 25-61.

LECLERCQ S., SAULNIER H. ► Prévention des risques professionnels : Accidents de plain-pied (APP). *Techniques de l'Ingénieur*, janvier 2010, SE 3865, 14 p.

PETIT J.M., SALLE B., PERRIN L., DUFAUD O. ► Étude de paramètres liés à l'inflammabilité et à l'explosivité d'échantillons de poussière de bois humide. *Les notes scientifiques et techniques de l'INRS*, août 2010, n° 284, 65 p.

CUNY X., MONTEAU M., LECLERCQ S. ► The typical scenario: towards extension of STF analysis. (Le scénario-type : vers un élargissement de l'analyse des «STFs»). Actes de la Conférence Internationale sur la prévention et la protection des chutes, 19-20 mai 2010, Morgantown (USA).

BOINI S., THEVENY L., WILD P. ► Impact of occupational health and safety training at school on the occurrence of work injuries in young people starting their occupational life. (Study ongoing). (Impact de la formation initiale en santé et sécurité au travail sur la survenue d'accidents au travail chez les jeunes – étude en cours). Actes du congrès AISS, Dresde (Allemagne), 15-16 octobre 2009. In : *Recherche sur l'efficacité des mesures de prévention en milieu de travail*, octobre 2010, session 5, pp. 237-239.

DAVILLERD C. ► Präventionsmassnahmen im Betrieb: wie werden sie durchgeführt?. (Les mesures de prévention en entreprise : comment sont-elles mises en œuvre ?). In: R. Trimpop, G. Gericke, J. Lau (HG.), *Psychologie der Arbeitssicherheit und Gesundheit*, 16. Workshop 2010, Dresde (A), 10-12 mai 2010, pp. 517-520.

ALLERGIES PROFESSIONNELLES

TOSSA P., PARIS C., ZMIROU-NAVIER D., DEMANGE V., ACOUETÉY D.S., MICHAELY J.P., BOHADANA A. ► Increase in exhaled nitric oxide is associated with bronchial hyperresponsiveness among apprentices. (L'augmentation du monoxyde d'azote exhalé est associée à l'hyperréactivité bronchique chez les apprentis). *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 2010, vol. 182, pp. 738-744.

BAN M., LANGONNE I., GOUTET M., HUGUET N., PEPIN E. ► Simultaneous analysis of the local and systemic immune responses in mice to study the occupational asthma mechanisms induced by chromium and platinum. (Études des mécanismes d'asthmes professionnels provoqués par le chrome et le platine par analyse simultanée des réponses immunitaires locales et systémiques chez la souris). *Toxicology*, 2010, vol. 277, pp. 29-37.

DEMANGE V., WILD P., ZMIROU-NAVIER D., TOSSA P., BOHADANA A., PARIS C. ► Associations of markers of airway inflammation and of airways responsiveness in non asthmatic apprentices at inception of apprenticeship. (Associations des marqueurs d'inflammation et de réactivité des voies aériennes chez des apprentis non asthmatiques commençant leur apprentissage). *BMC Pulmonary Medicine*, 2010, vol. 10, <http://www.biomedcentral.com/1471-2466/10/37>

DEMANGE V., BOHADANA A., MASSIN N., WILD P. ► NO_x exhalé et hyperréactivité bronchique chez des maîtresnageurs. Actes du 31^e Congrès national de médecine et santé au travail, Toulouse, 1^{er}-4 juin 2010. In : *Archives des maladies professionnelles et de l'environnement*, juin 2010, vol. 71, n° 3, p. 477.

BRUITS, VIBRATIONS, CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES, OPTIQUES

CARPENTIER P., POUYATOS B., DORANDEU F., CAMPO P., BAILLE V., FOQUIN A., JOB A. ► Prediction of soman-induced cerebral damage by distortion product otoacoustic emissions. (Prédiction des dommages cérébraux induits par le soman en mesurant les produits de distorsion acoustique). *Toxicology*, 2010, vol. 277, pp. 38-48.

BOS L., PLANEAU V., FAIZ A., SKALI LAMI S., NEJADE A., DUCOURNEAU J. ► Prediction of the acoustic pressure above periodically uneven facings in industrial workplaces. (Prédiction de la pression acoustique au dessus des parois à relief périodique rencontrées dans les locaux industriels). *Journal of Sound and Vibration*, mai 2010, vol. 329, pp. 2276-2290.

NEJADE A. ► C-Valor- A Vibro-Acoustic Software Validation Tool. (CD-valor : un outil de référence pour les codes de calcul vibro-acoustique). *Sound & Vibration*, février 2010, pp. 5-7.

BARLIER-SALSI A., SALSI S. ► Mesures des rayonnements optiques aux postes de travail : comparaison de différentes méthodes et matériels de mesure. In : *Radioprotection*, EDP Sciences, 2010, vol. 45, n° 3, pp. 307-320.

CHATILLON J., TROMPETTE N. ► Résultats d'une campagne de mesure du risque bruit dans les centres d'appels téléphoniques et solutions de prévention. *Hygiène et sécurité du travail*, 2010, n° 221, ND 2338, pp. 51-60.

KUSY A. ► Évaluation de l'affaiblissement acoustique réel in situ des bouchons moulés individualisés. *Hygiène et sécurité du travail*, 2010, n° 220, ND 2334, pp. 35-42.

TROMPETTE N., CHATILLON J. ► Évaluation des risques pour l'audition des opérateurs des centres d'appels téléphoniques et solutions de prévention. *Note Scientifique et Technique*, NS 289, décembre 2010, 49 p.

CAMPO P. ► Can the synergistic effects of a combined exposure to noise and solvents be explained through the pharmacological effects of solvents on the central nervous system? (La synergie des effets d'une exposition combinée au bruit et aux solvants peut-elle s'expliquer par une action pharmacologique des solvants sur le système nerveux central ?). Actes du XII^e Congrès International de Toxicologie – IUTOX 20103, Barcelone (Espagne), 19-23 juin 2010. In : *Toxicology Letters*, 2010, Vol. 196 S, So2-1.

CHEVRET P., CHATILLON J. ► Prise en compte de la diffraction dans un code de rayon acoustique. Actes du 10^e Congrès Français d'Acoustique, CFA 2010, 12-16 avril 2010, Lyon.

CHEVRET P., TROMPETTE N., ZIMPFER V., BUCK K., CHATILLON J. ► Protection de l'audition des préparateurs de commandes : un prototype « talk-through » pour bouchons moulés. Actes du 10^e Congrès Français d'Acoustique, CFA 2010, 12-16 avril 2010, Lyon.

NORMAND J.C., DUCLOS J.C., MASSARDIER-PILONCHERY A., THIERY L. ► Évaluation de la nuisance acoustique professionnelle par analyse du déficit auditif. Actes du 10^e Congrès Français d'Acoustique, CFA 2010, 12-16 avril 2010, Lyon.

DUCCOURNEAU J., FAIZ A., CHATILLON J. ► Nouvelle méthode de mesure du coefficient de diffusion acoustique des parois à relief dans les locaux industriels. Actes du 10^e Congrès Français d'Acoustique, CFA 2010, 12-16 avril 2010, Lyon.

DUCCOURNEAU J., ANDRE P., FAIZ A., CHATILLON J. ► Pondération multipolaire utilisée dans les systèmes microphoniques des aides auditives pour amélioration de l'intelligibilité de la parole dans le bruit. Actes du 10^e Congrès Français d'Acoustique, CFA 2010, 12-16 avril 2010, Lyon.

KUSY A., CHATILLON J. ► Mesure de l'efficacité réelle des bouchons moulés individualisés. Actes du 10^e Congrès Français d'Acoustique, CFA 2010, 12-16 avril 2010, Lyon.

DEMARET P. ► Radio identification (RFID). Paris, INRS, 2010, ED 4716, 4 p.

CANCERS PROFESSIONNELS

LEROYER A., JEANDEL F., MAITRE A., HOWSAM M., DEPLANQUE D., MAZZUCA M., NISSE C. ▶ 1-Hydroxypyrene and 3-hydroxybenzo[a]pyrene as biomarkers of exposure to PAH in various environmental exposure situations. (1-Hydroxypyrene et 3-hydroxybenzo[a]pyrene biomarqueurs d'exposition aux HAP dans plusieurs situations d'exposition environnementale). *Sciences of the Total Environment*, 2010, vol. 408, n°5, pp. 1166-1173.

NDAW S., DENIS F., MARSAN P., D'ALMEIDA A., ROBERT A. ▶ Biological monitoring of occupational exposure to 5-fluorouracil. Urinary α -fluoro- β -alanine assay by high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry in health care personnel. (Surveillance biologique de l'exposition professionnelle au 5-fluorouracile. Dosage urinaire de l'alpha-fluoro-béta-alanine chez le personnel de santé par chromatographie liquide à haute performance couplée à la spectrométrie de masse en tandem). *Journal of Chromatography B*, 2010, vol. 878, pp. 2630-2634.

GUICHARD Y., GATE L., DARNE C., BOTTIN M.C., LANGLAIS C., MICILLINO J.C., GOUTET M., SCHMIT J., BINET S. ▶ In vitro study of mutagenesis induced by crocidolite-exposed alveolar macrophages NR8383 in cocultured Big Blue® Rat2 embryonic fibroblasts. (Étude in vitro de la mutagenèse induite par la crocidolite dans une co-culture de macrophages alvéolaires NR8383 et de fibroblastes d'embryonnaires Big Blue Rat2). *Journal of Toxicology*, 2010, Article ID 323828, 11 p.

CONCEPTION DES ÉQUIPEMENTS, DES LIEUX ET DES SITUATIONS DE TRAVAIL

LHUILIER J.C., MARSOT J. ▶ Assistance technique en entreprise : retour d'expérience sur une démarche d'intervention centrée sur l'innovation technologique. *Hygiène et sécurité du travail*, 2010, n° 219, ND 2328, pp. 41-48.

SAULNIER H., JACQUES M. ▶ Évolution des sols soumis à des agressions mécaniques. *Hygiène et sécurité du travail*, 2010, n° 219, ND 2330, pp. 57-63.

COLLETTE C., LEMERLE P. ▶ Commande dynamique d'humains virtuels : équilibre robuste et gestion de tâches. *Les notes scientifiques et techniques de l'INRS*, février 2010, n° 287, 63 p.

SAVIN J. ▶ Digital Human Models for work-task ergonomic assessment: which degree of confidence and using constraints? (Evaluation ergonomique des postes de travail par mannequins numériques : quel niveau de confiance et avec quelles limites d'usage ?). Actes de la 21^e conférence internationale « Computer-Aided Production Engineering », 13-14 avril 2010, Edimbourg (Écosse), CD ROM.

BLAISE J.C. ▶ Experience feedback on maintenance processes and related occupational risk factors. (Retour d'expérience sur les processus de maintenance et les risques professionnels). In : Actes de la XX^e conférence internationale sur la Maintenance, Vérone (Italie), 12-14 mai 2010, pp. 40-43.

DÉCHETS ET RECYCLAGE

PIROIT P., DUQUENNE P., GROSJEAN J., MONTA N., NICOT T., ZIMMERMANN F., GREFF-MIRGUET G., KOEHLER V., PIERNOT C. ▶ Approche des risques chimiques et microbiologiques dans le secteur du compostage. *Hygiène et sécurité du travail*, 2010, n° 221, ND 2336, 14 p.

NANOTECHNOLOGIES ET NANOPARTICULES

BAU S., WITSCHGER O., GENSDARMES F., THOMAS D., BORRA J.P. ▶ Electrical properties of airborne nanoparticles produced by a commercial spark-discharge generator. (Propriétés de charge électrique des aérosols de nanoparticules produits par décharge électrique au sein d'un générateur commercial). *Journal of Nanoparticle Research*, 2010, vol. 12, pp. 1989-1995.

DARNE C., TERZETTI F., COULAIS C., FOURNIER J., GUICHARD Y., GATE L., BINET S. ▶ In vitro cytotoxicity and transforming potential of carbon fibers and particles in Syrian hamster embryo (SHE) cells. (Cytotoxicité et potentiel transformant de fibres à particules de carbone dans les cellules embryonnaires de hamster syrien). *Annals of Occupational Hygiene*, 2010, vol. 54, n°5, pp. 532-544.

BAU S., WITSCHGER O., GENSDARMES F., RASTOIX O., THOMAS D. ▶ A TEM-based method as an alternative to the BET method for measuring off-line the specific surface-area of nanoaerosols. (Proposition d'une méthode de mesure de la surface spécifique de nanoaérosols basée sur l'analyse d'images de MET en tant qu'alternative à la méthode BET). *Powder Technology*, juin 2010, vol. 200, n°3, pp. 190-201.

WITSCHGER O. ▶ Métrologie et exposition professionnelle aux aérosols de nanoparticules (nano-aérosols). *Les nanosciences 4. Nanotoxicologie et nanoéthique*, Chapitre 7, pp. 194-229 – Échelles – BELIN C

VENNER B. ▶ Approche ergologique des risques émergents : le cas des nanoparticules. In: Nathalie Dedessus-Le-Moustier, Florence Douguet (coordonatrices). *La santé au travail à l'épreuve des nouveaux risques*. Lavoisier (Éditions Tech & Doc), 2010, chapitre 12, pp. 159-169.

BAU S., OUF F., MIQUEL S., RASTOIX O., WITSCHGER O. ▶ Experimental measurement of the collection efficiency of nanoparticle samplers based on electrostatic and thermophoretic precipitation. (Mesure expérimentale de l'efficacité de collecte d'échantillonneurs de nanoparticules basés sur la précipitation électrostatique et thermophorétique). Actes de la Conférence Internationale sur les Aérosols (IAC 2010), Helsinki (Finlande), 29/08 - 03/09/2010.

ORGANISATION, SANTÉ, SÉCURITÉ ET BIEN-ÊTRE AU TRAVAIL

MONTEAU M. ▶ L'organisation délétère. La Santé et Sécurité au Travail au prisme de l'organisation. L'Harmattan, Dynamiques d'entreprises, 2010, 375 p.

MUYLAERT K., OP DE BEECK R., ROYO S., GRUSENMEYER C., OWCZAREK G., FLASPOLER E., KALUZA S., LAFREZ B., HEBISCH R. ▶ Maintenance and occupational safety and health: a statistical picture. (Maintenance et santé-sécurité au travail : une description statistique). European Risk Observatory. Literature review. European Agency for Safety and Health at Work, EU-OSHA, 2010, TE-31-10-422-EN-N, 61 p.

GOVAERE V., LEFEBVRE I. ▶ Activité des régulateurs dans une entreprise de transport urbain de voyageurs - Résilience et éléments protecteurs pour la santé. Actes du 45^e Congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française (SELF), 13-14 septembre 2010, Liège (Belgique) In : *Fiabilité, Résilience et Adaptation*, 2010, pp. 183-187.

WIOLAND L. ▶ The effect of organisational changes on the health and safety of road haulage employees. (L'effet des évolutions des organisations sur la santé et la sécurité des salariés du transport routier de marchandises). Proceedings of the 1st European FEES Conference on Ergonomics, Bruges (Belgique), 10-12 octobre 2010 (proceedings en ligne).

GOVAERE V. ▶ Container unloading: analysis of the health and safety effects on handling personnel: what does the future hold? Which organisational solutions? (Déchargement de containers : analyse des effets en termes de santé et sécurité sur les manutentionnaires : quel devenir ? quelles solutions organisationnelles ?). Proceedings of the 1st European FEES Conference on Ergonomics, Bruges (Belgique), 10-12 octobre 2010 (proceedings en ligne).

RISQUES BIOLOGIQUES

SIMON X., DUQUENNE P., KOEHLER V., FAURE M., PIERNOT C., COULAIS C. ▶ Évaluation des performances d'un générateur de bioaérosols expérimentaux. *Salles Propres*, n°67, mars-avril 2010, pp. 45-53.

FAURE M. ▶ Purification de l'air ambiant par l'action bactéricide de la photocatalyse. INRS, *Note Scientifique et Technique*, 2010, NS 290, 194 p.

SIMON X., DUQUENNE P., KOEHLER V., PIERNOT C., COULAIS C., FAURE M. ▶ Évaluation des performances d'un générateur de bioaérosols expérimentaux. Actes du 25^e Congrès Français sur les Aérosols, 13-14 janvier 2010, Paris.

SIMON X., DUQUENNE P., KOEHLER V., FAURE M., PIERNOT C., COULAIS C. ▶ Characterization of the performances of a modified liquid sparging bioaerosol generator. (Caractérisation des performances d'un générateur de bioaérosols expérimentaux par bullage d'air à travers un film liquide). Actes de la Conférence Internationale sur les Aérosols (IAC 2010), 29/08 - 03/09/2010, Helsinki (Finlande).

BETELLI L., SIMON X., GEHIN E., HARTMANN A., DUQUENNE P. ► Wet generation of bioaerosol, based on a suspension of actinomycetes spores. (Génération en voie liquide de bioaérosols, à partir d'une suspension de spores d'actinomycètes). Actes de la Conférence Internationale sur les Aérosols (IAC 2010), Helsinki (Finlande), 29/08 - 03/09/2010.

DUQUENNE P., SIMON X., KOEHLER V., PIERNOT C., GREFF-MIRGUET G., COULAIS C. ► Characterisation of fungal aerosol at occupational settings in food industry. (Caractérisation d'un aérosol fongique aux postes de travail dans l'industrie alimentaire). Actes de la Conférence Internationale sur les Aérosols (IAC 2010), Helsinki (Finlande), 29/08 - 03/09/2010.

RISQUES CHIMIQUES

COSSEC B., COSNIER F., BURGART M., NUNGE H., GROSSMANN S. ► Glutathione pathway in ethylbenzene metabolism: novel biomarkers of exposure in the rat. (La voie du glutathion dans le métabolisme de l'éthylbenzène: mise en évidence, chez le rat, de l'existence de nouveaux bioindicateurs d'exposition). *Chemosphere*, 2010, vol. 81, pp. 1334-1341.

SUTTER B., BEMER D., APPERT-COLLIN J.C., THOMAS D., MIDOUX N. ► Evaporation of Liquid Semi-Volatile Aerosols Collected on Fibrous Filters. (Evaporation des aérosols liquides semi-volatils collectés sur filtres à fibres). *Aerosol Science and Technology*, 2010, n° 44, pp. 395-404.

BEYDON D., PAYAN J.P., GRANDCLAUDE M.C. ► Comparison of percutaneous absorption and metabolism of di-n-butyl phthalate in various species. (Comparaison entre différentes espèces de l'absorption percutanée et du métabolisme du di-n-butyl phtalate). *Toxicology in vitro*, 2010, vol. 24, n° 1, pp. 71-78.

MEHEL A., TANIÈRE A., OESTERLE B., FONTAINE J.R. ► The influence of an anisotropic Langevin dispersion model on the prediction of micro- and nanoparticle deposition in wall-bounded turbulent flows. (Les modèles de dispersion turbulente pour la prédiction de la déposition de micro- et nanoparticules dans les écoulements turbulents confinés). *Journal of Aerosol Science*, 2010, vol. 41, pp. 729-744.

LAVOUÉ J., VINCENT R., GÉRIN M. ► Comparing of formaldehyde exposure levels in two multi-industry occupational exposure databanks using multi-model inference. (Comparaison de niveaux d'exposition au formaldéhyde dans deux bases de données d'exposition professionnelle). *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2010, vol. 8, pp. 38-48.

BEMER D., REGNIER R., SUBRA I., SUTTER B., LECLER M.T., MORELE Y. ► Ultrafine particles emitted by flame and electric arc guns for thermal spraying of metals. (Particules ultra-fines émises par les pistolets à flamme et à arc électrique pour la projection thermique des métaux). *Annals of Occupational Hygiene*, 2010, vol. 54, n° 6, pp. 607-614.

KAUFFER E., WROBEL R., GORNER P., ROTT C., GRZEBYK M., SIMON X., WITSCHGER O. ► Site comparison of selected aerosol samplers in the wood industry. (Étude des échantillonneurs d'aérosols pour échantillonner les poussières de bois sur les lieux de travail. Partie 2. Comparaison sur sites des échantillonneurs dans l'industrie du bois). *Annals of Occupational Hygiene*, 2010, vol. 54, n° 2, pp. 188-203.

GORNER P., SIMON X., WROBEL R., KAUFFER E., WITSCHGER O. ► Laboratory Study of selected personal inhalable aerosols samplers. (Étude des échantillonneurs d'aérosols pour échantillonner les poussières de bois sur les lieux de travail. Partie 1. Tests au laboratoire d'échantillonneurs de la fraction inhalable). *Annals of Occupational Hygiene*, 2010, vol 54, n° 2, pp. 165-187.

BRACONNIER R., BONTHOUX F. ► Fluid dynamics of cytotoxic safety cabinets. (Aérodynamique des postes de sécurité cytotoxique). *Annals of Occupational Hygiene*, 2010, vol. 54, n° 2, pp. 236-246.

BOULET A., ROUSSET D., KAUFFER E. ► Automatic sample production by depositing solutions on filters for the organisation of proficiency tests. (Fabrication automatique d'échantillons par dépôts de solution sur filtres pour l'organisation d'essais d'aptitude). *Annals of Occupational Hygiene*, 2010, vol. 2, pp. 247-254.

- FREVILLE L., MOULUT J.C., GRZEBYK M., KAUFFER E.** ► Producing samples for the organisation of proficiency tests. Study of the homogeneity of replicas produced from two atmosphere generation systems. (Réalisation d'échantillons pour l'organisation d'essais d'aptitude. Etude de l'homogénéité des répliques fabriquées à partir de deux bancs de générations). *Annals of Occupational Hygiene*, 2010, vol. 54, n°6, pp. 659-670.
- SIMON X., BEMER D., CHAZELET S., THOMAS D., REGNIER R.** ► Consequences of high transitory airflows generated by segmented pulse-jet cleaning of dust collector filter bags. (Conséquences des fortes vitesses d'air transitoires consécutives au décolmatage pneumatique des dépoussiéreurs à manches). *Powder Technology*, 2010, vol. 201, n° 1, pp. 37-48.
- REMY A., BOIS F., PIERRE F., WILD P.** ► Determination of an optimal strategy for sampling urinary cobalt at the workplace using a population toxicokinetic modelling approach. (Mise en place d'une stratégie optimale de prélèvements urinaires pour les populations exposées professionnellement au cobalt, à l'aide d'un modèle toxicocinétique de population). *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2010, n° 7/1, pp. 54-62.
- CHOUANIERE D., FALCY M.** ► Dépistage en médecine du travail des troubles psycho-organiques liés aux solvants. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*, 2010, vol 71, n° 9, pp. 15-18.
- ENSMINGER A.** ► Témoignage d'expert sur l'expérience en normalisation dans le domaine de la Santé et la Sécurité au Travail. *Enjeux*, supplément février 2010, n°301, p. 26.
- PILLIERE F.** ► Surveillance biologique de l'exposition aux produits chimiques en milieu professionnel : relations entre médecins du travail et biologistes. *Feuillets de Biologie*, 2010, vol. LI, n° 296, pp. 43-48.
- FONTAINE J.R., MULLER J.P., BRAUD M., BROUTE P., ACCART R., PINSARD D., MARMORET G., BAYLE J., BOURGESP.** ► Évaluation des performances de captage de trois types de machines à bois portatives. *Hygiène et sécurité du travail*, 2010, n° 218, ND 2321, pp. 3-15.
- BEMER D., SUBRA I., DEPAY J., LAUZIER F.** ► Émission diesel – Performances des filtres à particules pour engins non routiers. *Hygiène et sécurité du travail*, 2010, n° 218, ND 2323, pp. 35-46.
- GALLAND B., HENRARD J., MARTIN P., TRAN-THI T.H., CRUNAIRE S., RIVRON C.** ► Une nouvelle approche pour la qualification et la quantification des hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM) dans l'atmosphère des lieux de travail. *Hygiène et sécurité du travail*, 2010, n° 218, ND 2324, pp. 45-50.
- HONNERT B., GRZEBYK M.** ► Utilisation des amides en France. *Hygiène et sécurité du travail*, 2010, n° 219, pp. 49-56.
- BERTRAND N., VINCENT R.** ► Modélisation des expositions professionnelles aux agents chimiques : bilan et perspectives. *Hygiène et sécurité du travail*, 2010, n° 220, ND 2333, pp. 21-33.
- KAUFFER E., WROBEL R., GORNER P., GRZEBYK M., SIMON X., WITSCHGER O., ROTT C.** ► Comparaison sur site dans l'industrie du bois de quelques échantillonneurs d'aérosol. *Hygiène et sécurité du travail*, 2010, n° 219, ND 2326, pp. 3-17.
- GORNER P., SIMON X., WROBEL R., KAUFFER E., WITSCHGER O.** ► Étude au laboratoire de quelques échantillonneurs individuels de la fraction inhalable. *Hygiène et sécurité du travail*, 2010, n° 219, ND 2327, pp. 19-39.
- JARGOT D., HECHT C.** ► Évaluation de l'exposition des salariés lors de la mise en œuvre de résines époxydiques. *Hygiène et sécurité du travail*, 2010, n° 220, ND 2332, pp. 13-20.
- GERARDIN F., SUBRA I., BLACHERE V., JANNOT J., OURY V., GUILLEMOT M.** ► Production de phosgène et autres composés lors de la dégradation photocatalytique du perchloroéthylène dans les pressings. *Hygiène et sécurité du travail*, 2010, n° 220, ND 2335, pp. 43-51.
- GALLAND B., DEMEY T., KLINGLER J., MARTIN P.** ► Efficacité des capteurs de saturation de cartouche de masques épurants pour les vapeurs de solvants organiques. *Hygiène et sécurité du travail*, 2010, n° 221, ND 2337, p. 17-24.

VINCENT R., CATANI J., CREAU Y., FROAUT A.M., GOOD A., GOUTET P., HOU A., LERAY F., ANDRE-LESAGE M.A., SOYEZ A.

► Exposition professionnelle au béryllium dans les entreprises françaises. Évaluation des niveaux d'exposition atmosphérique et de contamination surfacique. *Hygiène et sécurité du travail*, 2010, n° 220, PR 45, pp. 53-62.

FERRARI P., MARSTEAU S., MORELE Y. ► Gaz toxiques, drapeau rouge pour les algues vertes. *Travail & Sécurité*, octobre 2010, n° 710, pp. 3-11.

BROCHOT C., MICHELSEN N., BEMER D., CALLE-CHAZELET S., THOMAS D. ► État de l'art de la mesure de l'efficacité des Appareils de Protection Respiratoire et description d'un nouveau banc de test des APR dédié aux nanoparticules. In : ASFERA, Eds – CFA 2010, 25^e Congrès Français sur les Aérosols, 13-14 janvier 2010, Paris, CD-ROM CFA 2010, 6 p.

CALLE-CHAZELET S., GRIPPARI F., THOMAS D., BEMER D. ► Performances des filtres à fibres chargées électriquement. In : ASFERA, Eds - CFA 2010, 25^e Congrès Français sur les Aérosols, 13-14 janvier 2010, Paris, CD-ROM CFA 2010, 6 p.

SUTTER B., APPERT-COLLIN J., BEMER D., THOMAS D. ► Étude du réentraînement en phase vapeur d'aérosols liquides semi-volatils après filtration sur filtre à fibres. In : ASFERA, Eds – CFA 2010, 25^e Congrès Français sur les Aérosols, 13-14 janvier 2010, Paris, CD-ROM CFA 2010, 6 p.

DEVienne R., FONTAINE J.R., MAALEJ T. ► Experimental characterization and numerical simulation of plumes above thermal sources – Transport of a passive contaminant. (Caractérisation expérimentale et simulation numérique de panaches au-dessus de sources thermiques – Transport d'un contaminant passif). Actes de la 14^e conférence internationale du transfert de chaleur, IHTC14, 8-13 août 2010, Washington (USA), 6 p.

SUTTER B., BEMER D., APPERT-COLLIN J.C., THOMAS D. ► Evaporation of deposited micrometric heavy alkane droplets on fibers: evidences of the gap between experimentations and theory. (Évaporation de gouttes micrométriques d'alcane lourds déposés sur fibres : évidence de l'écart entre expérimentations et la théorie). Actes de la Conférence Internationale sur les Aérosols (IAC 2010), 29 août - 03 septembre 2010, Helsinki (Finlande).

RISQUES MÉCANIQUES

LAMY P. ► Éclatement : quelle protection sur les centres d'usinage bois ? *Le Bois International*, février 2010, pp. 15-18.

BERTRAND P. ► Les nouvelles technologies protègent aussi les travailleurs isolés. *Entrepreneurs des Territoires*, mars 2010, n° 47, p. 14.

PETIN J.F., EVROT D., MOREL G., LAMY P. ► Traçabilité et vérification d'exigences de sécurité. *Génie Logiciel – Magazine de l'ingénierie du logiciel et des systèmes*, décembre 2010, n° 95, pp. 39-49.

GARDEUX F., MARSOT J. ► Collisions engins-piétons. État des connaissances des dispositifs de détection de piétons dans le secteur automobile. *Hygiène et sécurité du travail*, 2010, n° 219, PR 44, pp. 65-72.

LHUILIER J.C., RICHEZ J.P. ► Poussières de bois – Une cape qui ne manque pas d'air. *Travail & Sécurité*, mars 2010, n° 704, pp. 42-43.

LHUILIER J.C., RICHEZ J.P. ► Poussières de bois – Le captage par buses à l'heure de l'usinage numérique. *Travail & Sécurité*, mars 2010, n° 704, pp. 44-45.

CHARPENTIER P., BAUDOIN J., BELLO J.P. ► Applying EN 62061 to designing a hydraulic press brake control system. (Application de la norme EN 62061 à la conception du circuit de commande d'une presse plieuse). Actes de la 6^e conférence internationale sur la sécurité des systèmes industriels automatisés, SIAS 2010, 14-15 juin 2010, Tampere (Finlande).

GARDEUX F. ► Mobile machine-pedestrian collisions: a multi-sensor approach to presence detection issued from the car manufacturing sector. (Collisions engins-piétons : une approche multicapteurs issue du secteur automobile pour la détection de piétons). Actes de la 6^e conférence internationale sur la sécurité des systèmes industriels automatisés, SIAS 2010, 14-15 juin 2010, Tampere (Finlande).

BLAISE J.C., WELITZ G. ▶ Operating on machinery out of production modes: principles and accidentology. (Intervention sur machines en modes hors production : principes et accidentologie). Actes de la 6^e conférence internationale sur la sécurité des systèmes industriels automatisés, SIAS 2010, 14-15 juin 2010, Tampere (Finlande).

KLEIN R. ▶ Mobile plants-pedestrians collision avoidance - Personnel detection by means of radio waves. (Prévention des collisions engins-piétons – Détection de personnes par ondes radioélectriques). Actes de la 6^e conférence internationale sur la sécurité des systèmes industriels automatisés, SIAS 2010, 14-15 juin 2010, Tampere (Finlande).

CHARPENTIER P., LAMY P., BAUDOIN J., BELLO J.P., BUCHWEILLER J.P. ▶ NF EN 62061 : quelles particularités et comment l'appliquer. Actes du 17^e Congrès de Maîtrise des Risques et de Sécurité de Fonctionnement, 5-7 octobre 2010, La Rochelle (France).

OBRECHT P. ▶ Compacteurs à emballage chargé manuellement – Une solution pour les mettre en sécurité. Paris, INRS, Ed 6073, 7 p.

RISQUES PSYCHOSOCIAUX : STRESS, VIOLENCE INTERNE ET EXTERNE

GROSJEAN V., VAN DE WEERDT C. ▶ Identité et travail émotionnel dans la relation de service : le cas particulier des centres d'appels téléphoniques. In : M.-E. Bobillier Chaumon, M. Dubois et D. Retour (Eds). *La relation de service : nouveaux usages, nouveaux acteurs*. Presses Universitaires de Grenoble, 2010.

FAVARO M. ▶ Apports de la sociologie clinique à la compréhension des risques psychosociaux. À propos du 40^e anniversaire du Laboratoire de Changement Social. *Hygiène et sécurité du Travail*, 2010, n° 221, ND 2339, pp. 35-39.

VAN DE WEERDT C. ▶ Quels sont les risques pour la santé des salariés travaillant en centres d'appels téléphoniques et comment les prévenir ? *Documents pour le Médecin du Travail*, 2010, n° 122, pp. 224-225.

MARC J., MARSELLA M.C. ▶ Pré-diagnostic de situations d'isolement dans une entreprise de transport urbain. Actes du 45^e Congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française (SELF). In : *Fiabilité, Résilience et Adaptation*, 13-15 septembre 2010, Liège (B), pp. 269-274.

BOINI S., COLIN R., WILD P., CHOUANIERE D. ▶ Impact des facteurs organisationnels sur les contraintes perçues dans des centres d'appel téléphonique en France. Actes du 31^e Congrès national de médecine et santé au travail, 1^{er}-4 juin 2010, Toulouse. In : *Archives des maladies professionnelles et de l'environnement*, juin 2010, vol. 71, n° 3, pp. 290-301.

CHOUANIERE D., BOINI S., COLIN R. ▶ Quels sont les principaux problèmes de santé des téléopérateurs ? Quelles sont les principales contraintes en lien avec les problèmes de santé ? Actes du 31^e Congrès national de médecine et santé au travail, 1^{er}-4 juin 2010, Toulouse (France). In : *Archives des maladies professionnelles et de l'environnement*, juin 2010, vol. 71, n° 3, pp. 312-313.

VAN DE WEERDT C. ▶ Émotions au travail et stratégies d'adaptation. Actes du 45^e Congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française (SELF) In : *Fiabilité, Résilience et Adaptation*, 13-14 septembre 2010, Liège (B), pp. 344-348.

RISQUES POUR LA REPRODUCTION

SAILLENFAIT A.M., ROUDOT A.C., GALLISSOT F., SABATE J.P., CHAGNON M.C. ▶ Developmental toxic potential of di-n-propyl phthalate administered orally to rats. (Toxicité du développement du phtalate de di-n-propyle administré par voie orale chez le rat). *Journal of Applied Toxicology*, 2010, vol. 31, pp. 36-44.

RISQUE ROUTIER PROFESSIONNEL

FLEURY G. ▶ Risque routier – Retenue au choc de mobilier embarqué en zone arrière de fourgons ou fourgonnettes – Exigences et méthode d'essais. *Les notes scientifiques et techniques de l'INRS*, mars 2010, n° 286, 21 p.

TROUBLES MUSCULO-SQUELETTIQUES ET LOMBALGIES

AUBLET-CUVELIER A., LECLERC A., ASSELIN A., BEAUMONT D., BOURDON F., **CAIL F.,** ESCRIVA E., HA C., LEBRET A., **TRONTIN C.** ► Consultation d'experts en France dans le cadre d'un projet européen sur la prévention des troubles musculosquelettiques. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*, 2010, n° 71, pp. 90-94.

AUBLET-CUVELIER A., GAUTER J., HA C., DESCATHA A., LECLERC D., ROQUELAURE Y. ► Formation au protocole d'examen clinique SALTSA. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*, 2010, n° 71, pp. 424-425.

AUBLET-CUVELIER A., CLAUDON L., ROQUELAURE Y. ► Approche biomécanique de la région cervico-scapulaire et activités professionnelles. Actes du congrès « 15^{es} Entretiens de Médecine Physique et de Réadaptation : cervicoscapulalgies professionnelles », 5 mars 2010, Montpellier (France). In : *Médecine de réadaptation et pathologies professionnelles*, Elsevier Masson, 2010, n° 10, pp. 6-13.

ROQUELAURE Y., PETIT-LE-MANACH A., SERAZIN C., LAULAN J., DESCATHA A., **AUBLET-CUVELIER A.,** SPIESSER-DE-BROUARD C., VALENTY M., HA C., IMBERNON E. ► Le syndrome de la traversée thoraco-brachiale est-il une maladie professionnelle ? Point de vue du médecin du travail. Actes du congrès : « 15^{es} Entretiens de Médecine Physique et de Réadaptation : cervicoscapulalgies professionnelles », 5 mars 2010, Montpellier (France). In : *Médecine de réadaptation et pathologies professionnelles*, Elsevier Masson, 2010, n° 10, pp. 68-74.

GILLES M., HUBERT N., **DESBROSSES K.,** FELBINGER J. ► Analyse en 3D de la posture du tronc des chirurgiens réalisant de la coelochirurgie standard et assistée par robot. Actes du colloque « Analyse 3D du mouvement », 17-18 juin 2010, Poitiers (France), pp. 63-72.

VIEILLISSEMENT, TRAVAIL, SANTÉ

BOURBKARD E., NIEDHAMMER I., CHAU N. ► Occupational and behavioural factors in the explanation of social inequalities in premature and total mortality: a 12.5-year follow-up in the Lorhandicap study. (Les facteurs professionnels et comportementaux expliquant les inégalités sociales de mortalité totale et prématurée : un suivi de 12,5 ans des sujets de l'enquête Lorhandicap). *European Journal of Epidemiology*, 2010, vol. 26, n° 1, pp. 1-12.

FLUHR J., **REMY O.,** **GROSJEAN V.** ► Approche intégrative de l'épuisement professionnel du personnel soignant. Vulnérabilité, stratégie de coping et pistes de prévention. Actes du 45^e Congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française (SELF) *Fiabilité, Résilience et Adaptation*, 13-14 septembre 2010, Liège (Belgique), pp. 146-150.

Directeur de publication

Stéphane Pimbert

Rédacteurs en chef

Didier Baptiste et Stéphane Vaxelaire

Direction rédactionnelle et coordination

Patricia Bernard et Joseph Ciccotelli

Conception et direction artistique

Ithaque design graphique

Illustrations

Claude Almodovar, Patrick Delapierre,
Jean-Pierre Dalens, Vincent Grémillet,
Gaël Kerbaol, Serge Morillon, José Nicolas
et Guillaume J. Plisson

Traduction

James Francey, Stephen Walsh et Michel Talarmin

Recueil de données « études et recherche »

Claudine Cericola et Chantal Rolin

Ont également contribué à la publication

les responsables d'études de l'INRS

Juin 2011



Siège social

30, rue Olivier Noyer – 75680 Paris cedex 14
Tél. : 01 40 44 30 00 – Fax : 01 40 44 30 99

Centre de Lorraine

1, rue du Morvan – CS 60027 – F-54519 Vandœuvre cedex
Tél. : 03 83 50 20 00 – Fax : 03 83 50 20 97

E-mail : info@inrs.fr

www.inrs.fr