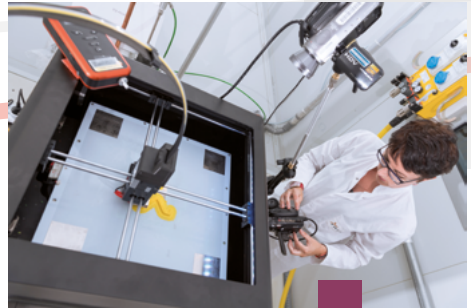




# Études & Recherche

## Rapport 2018/2019



Institut national de recherche et de sécurité  
pour la prévention des accidents du travail  
et des maladies professionnelles

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

## ➔ Carte d'identité de l'INRS

De l'acquisition de connaissances jusqu'à leur diffusion, en passant par leur transformation en solutions pratiques, l'INRS met à profit ses ressources pluridisciplinaires pour diffuser la culture de prévention dans les entreprises du régime général de la Sécurité sociale et proposer des outils adaptés à la diversité des risques professionnels et des secteurs d'activité.

- Association Loi 1901 constituée en 1947 sous l'égide de la Caisse nationale de l'assurance maladie.
- Administré par un conseil paritaire (9 représentants des employeurs et 9 représentants des syndicats de salariés).
- Soumis au contrôle financier de l'Etat.
- Orientations en cohérence avec la Convention d'objectifs et de gestion de la branche accidents du travail et maladies professionnelles (AT/MP) de la Caisse nationale de l'assurance maladie.
- Statuts et règles déontologiques garantissent son impartialité.
- Évaluation scientifique des travaux, assurée par une commission d'experts extérieurs.
- Certification ISO 9001 renouvelée dans le cadre de la norme de management de la qualité.

### » MISSIONS

Contribuer à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles :

- identifier les risques professionnels et mettre en évidence les dangers ;
- analyser leurs conséquences pour la santé et la sécurité de l'Homme au travail ;
- diffuser et promouvoir les moyens de maîtriser ces risques au sein des entreprises.

### » MODALITÉS D'ACTIONS

L'INRS met en œuvre quatre modalités d'actions complémentaires qui créent un lien unique entre recherche et applications :

#### **Assistance**

L'INRS délivre une assistance technique, juridique, médicale et documentaire, et répond aux sollicitations des caisses de Sécurité sociale, des services de l'État, des entreprises, des services de santé au travail, des instances représentatives du personnel.

#### **Études et recherche**

Les programmes d'études et de recherche couvrent l'ensemble des risques professionnels, du risque toxique, au risque physique (TMS) ou psychologique (RPS). Ils sont conduits au sein de 20 laboratoires et impliquent des ingénieurs, médecins, chimistes, ergonomes, techniciens...

#### **Formation**

L'INRS propose une large gamme d'activités de formation : formation directe des acteurs de la prévention, mise en œuvre de dispositifs de formation initiale, conception de supports de formation continue permettant une forte démultiplication, avec par exemple la formation à distance.

#### **Information**

L'INRS recueille, élabore et diffuse des savoirs et savoir-faire en prévention des risques professionnels par tous les moyens appropriés (brochures, affiches, sites Internet, revues, événements...). Les supports d'information et de sensibilisation s'adressent aux chefs d'entreprises, salariés, chargés de sécurité, intervenants en prévention des risques professionnels, médecins du travail...

### » QUELQUES CHIFFRES

#### **Effectif**

- 579 salariés basés à Paris (siège social) et au Centre de Lorraine (Vandœuvre-lès-Nancy)

#### **Budget**

- 79 M€ issus à 98 % du Fonds national de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles de l'Assurance maladie

#### **Public**

- 2,2 millions d'établissements
- 18,4 millions de salariés relevant du régime général de la Sécurité sociale

## ➔ Sommaire

### ■ Avant-Propos

Editorial du Directeur des études et recherche de l'INRS.....	4
Introduction .....	6
Présentation des laboratoires de l'INRS .....	13
Entretien avec le Professeur Benoît IUNG, Université de Lorraine - Cran.....	16

### ■ Programme Études et recherche 2018-2019

Panorama des études conduites par thématique du plan stratégique 2018 - 2022

#### Programmes de prévention

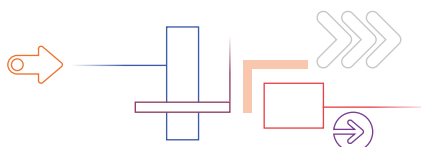
Prévention des risques biologiques .....	18
Prévention des risques chimiques .....	23
Prévention des risques physiques et mécaniques .....	50
Prévention des risques liés à l'organisation et aux situations de travail .....	60

#### Thématiques Focus en santé et sécurité au travail

Industrie du futur et prévention.....	69
Reproduction et travail.....	71
Impact des technologies de l'information et de la communication.....	73
Multiexpositions au travail .....	74

### ■ Composition de la Commission scientifique et des groupes de suivi.....77

### ■ Liste des publications 2018.....82





**Louis LAURENT**  
Directeur des études et recherche

## ➔ Éditorial

Cette dixième édition du rapport annuel *Études et Recherche 2018 - 2019* fait le point sur les études terminées en 2018 et celles qui sont en cours. Elle coïncide avec le lancement du nouveau plan stratégique 2018 - 2022 de l'INRS. Ce nouveau plan réaffirme les missions de l'INRS au service de la santé et sécurité au travail et articule l'activité autour d'un socle de quatre programmes de prévention consacrés aux risques biologiques, chimiques, physiques et mécaniques et à ceux liés à l'organisation et aux situations de travail. A cette présentation autour d'un socle d'activités, s'ajoute la mise en exergue de cinq thématiques : l'aide et le soin à la personne, l'industrie du futur, l'impact des technologies de l'information et de la communication, les multiexpositions, la reproduction et le travail.

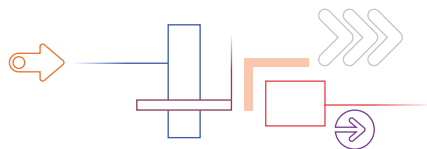
À côté des travaux en réponse aux risques dits « traditionnels », ce plan stratégique, crée les conditions d'un développement de connaissances et de méthodes en réponse à des questions de prévention plus nouvelles. Il en est ainsi de la robotique collaborative et de ses conséquences potentielles pour les salariés, des effets des nouvelles formes de travail et d'emploi, des perturbateurs endocriniens, de l'utilisation d'exosquelettes, ou plus généralement de nouvelles technologies... Autant de questions de recherche qui mobilisent les équipes de l'INRS et que vous retrouverez renouvelées et mises en valeur dans ces pages, à travers la description des travaux d'études et recherche achevés en 2018 et ceux toujours en cours.

Beaucoup d'études de l'INRS font l'objet d'échanges avec des chercheurs issus d'autres établissements académiques ou d'homologues de l'INRS et des préventeurs, directement concernés par les connaissances en cours de création. Parmi les différentes modalités d'échanges figure l'organisation de colloques sur des thèmes à l'interface recherche - prévention. J'en citerai cinq, par ordre chronologique.

Tout d'abord, la 9<sup>e</sup> conférence internationale sur la sécurité des systèmes industriels automatisés organisée par l'INRS du 10 au 12 octobre 2018 à Nancy. Pour les 160 institutionnels, industriels, normalisateurs ou experts présents, elle a fourni un cadre de réflexion sur le thème « Prévention des risques professionnels et Industrie du futur ».

Une journée technique, au niveau national, consacrée à la métrologie en temps réel dans la prévention du risque chimique s'est tenue à Paris le 12 février 2019. Devant plus de 200 préventeurs, il s'agissait d'exposer les avantages et les limites des mesures en temps réel, à partir d'un programme mêlant exposés techniques et témoignages d'utilisateurs.





En ce qui concerne les risques physiques et mécaniques, un colloque sur le bruit et les vibrations au travail s'est déroulé à Nancy du 9 au 11 avril 2019 devant un auditoire de plus de 200 médecins, préventeurs, fabricants d'équipements, consultants... Les discussions ont porté sur les nouveaux enjeux de la prévention de ces nuisances - qui restent une réalité dans les entreprises - et les progrès récents pour parvenir à proposer des équipements moins vibrants ou des aménagements moins bruyants.

La 5<sup>e</sup> édition de la conférence internationale sur le bien-être au travail, organisée à Issy-les-Moulineaux du 22 au 24 mai 2019 dans le cadre d'un programme du réseau européen Perosh, a accueilli 330 participants originaires de 39 pays et avait pour thème le bien-être au travail dans un monde qui change. Cinq conférences ont donné une vision élargie et contrastée des problématiques en jeu, 98 communications, 4 symposiums et 39 posters ont permis de croiser les approches et de partager les connaissances entre psychologues, spécialistes des organisations et du management, sociologues, physiologistes, ergonomes, etc.

Enfin, je terminerai avec l'organisation d'une conférence « Risques biologiques » à Nancy du 5 au 7 juin 2019. Elle a rassemblé la plupart des experts mondiaux sur ce sujet, soit près de 200 personnes, pour faire le point sur les progrès récents, en particulier dans le domaine des mesures d'exposition aux agents pathogènes, aux toxines et aux allergènes et celui de l'évaluation de risque.

Ces événements illustrent s'il en est besoin, la capacité de transfert des équipes en charge de conduire les travaux d'études et recherche et le potentiel pluridisciplinaire mis en œuvre, avec pour seule finalité, de prévenir les risques professionnels.

Je vous souhaite une agréable lecture.

## »» Direction des études et recherche

Elle a pour mission d'assurer l'orientation, l'animation et la coordination des activités d'études et recherche de l'INRS ainsi que l'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.

## ➔ Introduction

### »» La recherche à l'INRS

L'INRS développe différentes activités pour contribuer à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles. Il agit selon quatre modalités d'action complémentaires :

- études et recherche,
- assistance,
- formation,
- information.

Les études et recherche de l'INRS représentent environ 45 % de l'activité. Elles ont vocation à apporter des connaissances visant à améliorer la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles, pour les 18,4 millions de salariés du régime général de la Sécurité sociale. Cela passe d'abord par l'identification des dangers et par l'évaluation des risques encourus par les salariés, qui débouchent sur des solutions de prévention.

Les études et recherche sont développées principalement au sein de six départements localisés au centre de Lorraine de l'INRS, qui abritent 20 laboratoires spécialisés (voir page 13).

Les effectifs de ces six départements et de la direction des études et recherche sont d'environ 270 personnes (sur un effectif total de l'INRS de 579 personnels permanents, dont 60 % au centre de Lorraine). Parmi elles, 59 % sont des chercheurs ou ingénieurs, 27 % sont impliquées dans des activités de support technique, 7 % sont des doctorants. Les 7 % restants recouvrent diverses activités (coordination, support administratif...). Il est important de noter qu'une partie du temps, les personnels de ces départements sont également impliqués dans des actions d'assistance aux entreprises, de formation, d'information.

Dans la période 2018 - 2022, l'activité de l'INRS se répartit en quatre programmes de prévention, complétés de cinq thématiques focus.



*Descriptif des activités selon le plan stratégique 2018 - 2022 de l'INRS*

## » Particularités de la recherche en santé et sécurité au travail

La complexité des situations de travail à étudier et aussi la nécessité d'implémenter des méthodologies menant à des résultats fiables font que cette activité a des caractéristiques proches de celles du monde académique, notamment la recherche d'excellence. Les études de l'INRS présentent aussi des spécificités.

### Une finalité : l'amélioration de la prévention des risques professionnels

Les études visent toutes à apporter des **connaissances utiles** à court ou moyen terme en matière de **prévention**.

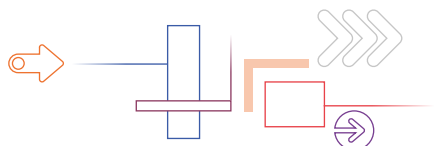
Ces connaissances peuvent porter sur des sujets variés :

- les expositions de salariés, la mise au point de procédés permettant de les caractériser ;
- l'évaluation d'équipements de protection collectifs ou individuels ;
- les dangers, notamment par une approche toxicologique ;
- les risques, par exemple par une approche épidémiologique ;
- l'impact des modes d'organisation sur les accidents du travail et les maladies professionnelles ;
- des informations utiles pour des activités de normalisation ;
- l'élaboration de solutions de prévention.

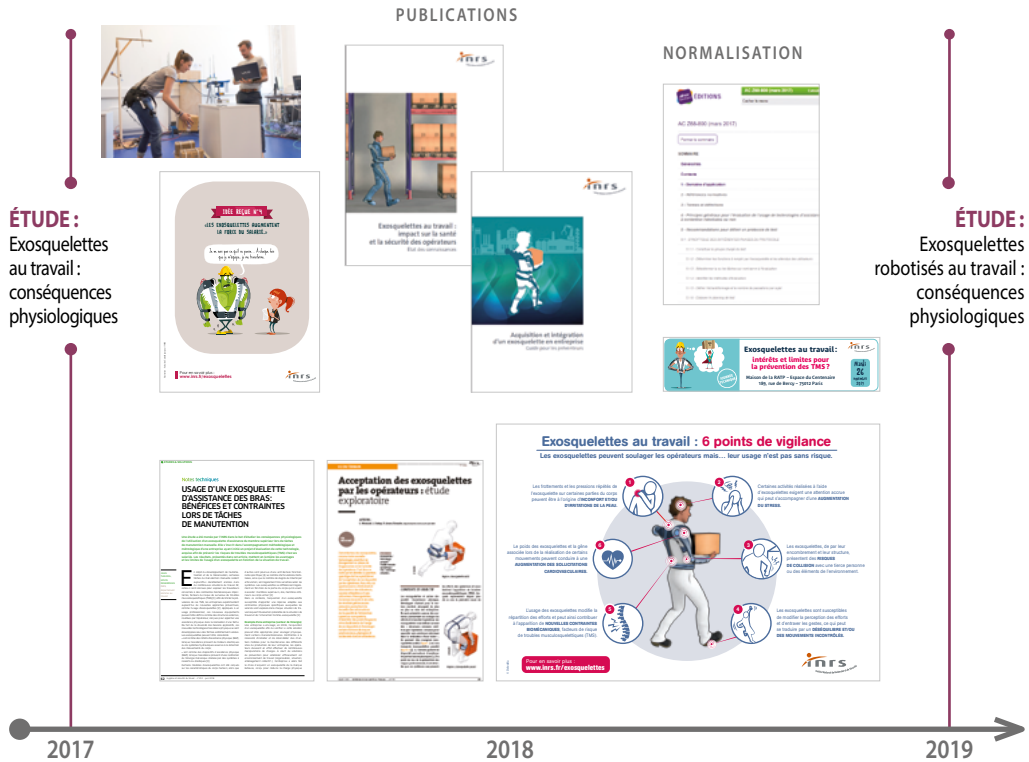
Les études se font en cohérence avec les **évolutions du monde du travail** et visent à prévenir des risques connus ou prévisibles, ou à les anticiper. L'INRS doit traiter des sujets dits émergents, associés à de nouvelles organisations du travail ou à de nouvelles technologies, ce qui fait qu'une partie des travaux est inspirée par la veille et la prospective menées à l'INRS. Certaines de ces évolutions ouvrent de nouveaux domaines de recherche pour lesquels il n'existe que peu de connaissances stabilisées. Pour citer quelques exemples de ces sujets non discutés il y a quelques années, la robotique collaborative, l'impact de l'économie circulaire sur les travailleurs, la fabrication additive (les imprimantes 3D), l'intelligence artificielle. En même temps, il subsiste une forte demande liée à la prévention de risques répertoriés depuis longtemps mais toujours présents, comme les agents chimiques, les nuisances physiques, ou de risques plus récents apparus avec l'émergence des nanomatériaux et pas encore parfaitement maîtrisés.

Une caractéristique de ces études, qui constitue aussi leur plus-value, est qu'une bonne partie d'entre-elles associe des entreprises et des **données du terrain**, en particulier lorsqu'il s'agit de mesurer des expositions, leurs effets sur la santé, d'analyser des situations de travail, de tester des méthodes de mesure ou des solutions de prévention en conditions réelles. Une analyse des 89 études actives en 2018 montre qu'environ 40 % d'entre-elles comportent des interventions sur le terrain.

Enfin, l'activité se prolonge par le **transfert des connaissances** obtenues lors des études vers leurs utilisateurs, notamment les entreprises, les préventeurs et les services de santé au travail, en traduisant les résultats en actions de formation, d'information en lien avec les autres départements de l'INRS.



## CONTINUUM RECHERCHE - TRANSFERT DE CONNAISSANCES



**Exemple de transfert de connaissances :** Le sujet « exosquelettes » est né à l'INRS à la suite d'un exercice de prospective sur l'utilisation des robots d'assistance physique initié en 2012. Il s'organise ensuite en études et transfert de connaissances vers les préventeurs.

Ce **transfert** peut revêtir des formes variées : articles dans des revues nationales pour les préventeurs, organisation de journées techniques, participation à des congrès régionaux ou nationaux, fiches décrivant des méthodes d'analyse, contribution à la normalisation, logiciels, données d'entrée pour une brochure, vidéos explicatives...

Une composante importante de ce transfert est la publication des résultats en français dans des revues destinées aux préventeurs.

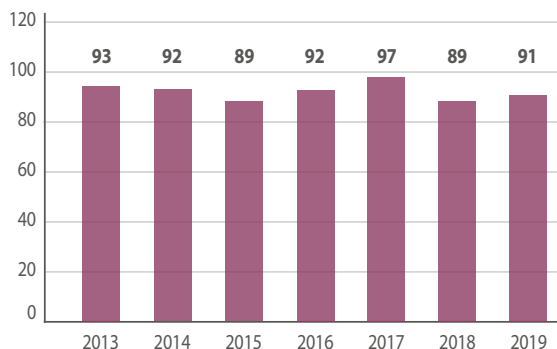
Environ une étude sur deux donne lieu à au moins un article de ce type. Les deux revues de l'INRS : *Hygiène et sécurité du travail* et *Références en santé au travail* jouent un rôle privilégié.

Sur la période 2015-2018, 167 articles ont été publiés dans des revues nationales, dont 80 % concernent l'une ou l'autre de ces deux revues.

## » Une organisation par étude

Les travaux de recherche sont structurés en études. Chacune d'entre elles représente en moyenne 7 000 heures de travail réparties sur trois ans et est suivie par une période de valorisation des résultats. Il existe quelques études de plus grande ampleur associant plusieurs départements.

L'activité est organisée selon une procédure définie, faisant intervenir, d'une part, des scientifiques et experts extérieurs à l'INRS qui suivent les études en cours et qui évaluent les résultats obtenus, et, d'autre part, le conseil d'administration de l'INRS qui valide les travaux.



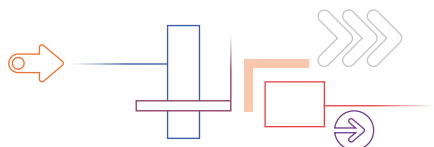
Évolution du nombre d'études en cours

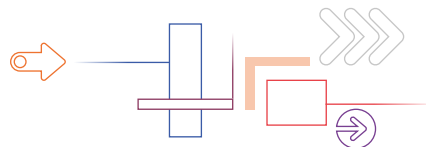
D'une part, des scientifiques extérieurs à l'INRS analysent les projets d'études des départements, de l'intention jusqu'aux résultats, selon des critères tels que l'apport de connaissances, la méthode, l'impact des travaux.

- À chaque département de l'INRS est associé un groupe de suivi, composé de personnalités externes reconnues, qui donne un avis sur les projets d'études, voire propose des améliorations. Il se prononce également sur les rapports finaux. L'ensemble des groupes de suivi des six départements mobilise environ 60 personnes.
- Ces avis sont ensuite traités par la commission scientifique de l'INRS qui émet une évaluation sur chaque proposition ou rapport final. Cette commission est composée de 20 membres issus des groupes de suivi des départements qui représentent l'ensemble des disciplines des laboratoires de l'INRS (voir la composition de la commission et des groupes de suivi page 77).

D'autre part, le conseil d'administration de l'INRS s'attache à évaluer l'impact des projets terminés ou celui attendu pour les nouveaux projets, en matière de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

Les laboratoires des six départements mènent également des études dites courtes pour des travaux de moins de 500 heures, visant à tester une faisabilité (par exemple, la mise au point d'une méthode de dosage) ou à instruire une étude complète. La part du temps associé à ces études courtes représente 10 % du total des études.





## L'ouverture vers l'extérieur

Beaucoup d'études de l'INRS conduites à ce jour le sont dans le cadre de partenariats nationaux avec des universités ou organismes de recherche (CNRS, Inserm, Inra...), des agences (Anact, Anses, Santé publique France, Ineris, IRSN...), le réseau des Carsat/Cramif/CGSS. De même, l'INRS s'associe à des établissements étrangers, ses homologues qui sont des partenaires privilégiés et des universités. Parmi les partenaires les plus fréquents, l'IFA en Allemagne, Unisanté en Suisse et les 11 autres membres du réseau européen Perosh, sans oublier l'IRSST au Canada et le Niosh aux USA. L'enjeu est de partager les connaissances produites au sein de l'INRS et de bénéficier de celles développées par les partenaires, de faire le lien entre des recherches pratiquées dans divers laboratoires et les applications en matière de prévention, d'attirer des équipes extérieures sur la thématique santé - travail.

Ces échanges se matérialisent par des collaborations à l'occasion de projets de recherche. C'est ainsi que, sur les 167 études lancées ou en projet depuis 2013, 110 soit 66 % impliquent des collaborations. Pour 20 % de ces 167 études ces collaborations sont internationales. On retrouve un pourcentage similaire de collaborations sur les publications.

Ces collaborations sont de plusieurs types :

- **Liées à des équipes-projets mixtes.** Il s'agit de rapprochements durables d'équipes de l'INRS avec des équipes extérieures liées par un intérêt mutuel et géographiquement proches, ce qui facilite les échanges. Il existait, en 2017, quatre équipes mixtes entre l'INRS et un établissement de recherche et d'enseignement supérieur.
- **Liées à des projets de recherche.** L'INRS s'associe à des établissements extérieurs qui apportent des compétences particulières.
- **L'accueil des doctorants** co-encadrés par les responsables d'études de l'INRS et des universitaires. Environ 25 doctorants sont impliqués dans des études de l'INRS. Ce co-encadrement est également propice à l'établissement de liens avec les partenaires universitaires, permettant un enrichissement scientifique réciproque et une mutualisation de moyens au service de l'amélioration des connaissances.

Cnam / Carsat / Cramif / CGSS	26
Services de santé au travail, Médecin du travail	8
Ministères	4
Écoles, universités françaises	76
Institut – Agence - Centre de recherche français	44
Centre technique	7
Entreprises	8
Syndicat (professionnel, patronal, de salariés)	2
Autres organismes	10
Partenaires Étrangers <i>Allemagne, Canada, Danemark, Espagne, Finlande, Irlande, Italie, Pays Bas, Pologne, Slovaquie, Suède, Suisse, UK, USA</i>	48
<b>TOTAL</b>	<b>233</b>

*Les 233 partenaires mobilisés dans les 110 études impliquant des collaborations*

Les appels à projets collaboratifs, notamment ceux de l'Union européenne, de l'ANR et de l'Anses, sont également un moyen de favoriser les collaborations sur des thèmes que traite l'INRS, mais aussi l'intégration des équipes de l'INRS dans la communauté scientifique. Il y avait, en 2018, 10 actions collaboratives financées par des agences externes (3 financements européens, 2 ANR, 5 Anses).

## » Équipes projets INRS-CNRS/Université/Écoles

- Laboratoire de filtration et adsorption (LFA), entre le laboratoire réactions et génie des procédés (LRGP), UMR 7274 CNRS-Université de Lorraine, et le laboratoire procédé et épuration des polluants (Procep) du département ingénierie des procédés de l'INRS. Le LFA a été créé il y a plus de 15 ans sur la base d'une collaboration principalement axée sur la filtration des aérosols. Cette collaboration s'est progressivement étendue aux procédés de séparation incluant la filtration, la séparation membranaire et l'adsorption, qui sont la base de nombreux procédés d'épuration assurant la prévention des risques chimiques. L'ensemble des travaux réalisés en commun a déjà débouché sur plus de cinquante publications internationales et permis le transfert de nombreux outils et documentations visant à améliorer la prévention. Aujourd'hui encore, le périmètre des collaborations s'étend avec, en particulier, l'intégration de la modélisation indispensable dans les études conduites au sein du laboratoire Procep.
- Laboratoire mixte de prévention de la pollution (LMPP), entre le laboratoire d'énergétique et de mécanique théorique et appliquée (Lemta), UMR 7563 CNRS-Université de Lorraine, et le laboratoire ingénierie aéraulique (IA) de l'INRS. Les activités du LMPP ont conduit au développement de techniques de pointe dans le domaine de la mécanique des fluides numériques, de la caractérisation des panaches thermiques, de la modélisation du transport et de l'agglomération d'aérosols et des techniques d'inversion pour l'identification des sources de polluants. Ces travaux ont été concrétisés par de nombreuses thèses et articles dans des revues internationales de haut niveau. Une réflexion est menée sur de nouveaux axes de recherche avec en particulier le transport de fibres, sujet très important en prévention.
- Équipe projet acoustique des parois dans les locaux industriels (APLI), entre le Lemta et le laboratoire acoustique au travail de l'INRS. Cette collaboration de longue date concerne la réduction des nuisances sonores dans les locaux industriels. Elle implique des chercheurs de l'Université de Lorraine et des acousticiens de l'INRS. Elle s'appuie aussi sur des doctorants et des stagiaires. Elle a permis de développer des outils de diagnostic acoustique et des méthodes de modélisation de la propagation acoustique sur des parois complexes.
- Laboratoire conception sûre des situations de travail (LC2S), entre le laboratoire conception-fabrication-commande de l'Ensam Paris Tech de Metz et le laboratoire conception, équipements de protection, interfaces homme-machine de l'INRS. Cette collaboration date de 2012 et se concrétise, elle aussi, à travers l'accueil de stagiaires et de doctorants. Elle a pour objet de développer des méthodes pour outiller les concepteurs d'équipements de travail afin qu'ils pensent des équipements intégrant la sécurité dès la conception. C'est la «prévention primaire» qui est très efficace, dès qu'elle est mise en œuvre, puisqu'elle permet de mettre des machines ou des lignes de production en sécurité sans prendre de mesures correctives.



Groupe des doctorants - Journée de présentation des travaux - 27 mars 2018

## » Perosh

L'INRS est engagé au sein du réseau Perosh, qui rassemble la plupart des acteurs européens de recherche en santé et sécurité au travail. Il regroupe 13 organismes de 12 pays. Ce réseau sert de support à des activités communes. C'est notamment un réseau utile pour partager des informations, voire mener des activités sur des sujets de préoccupation communs.

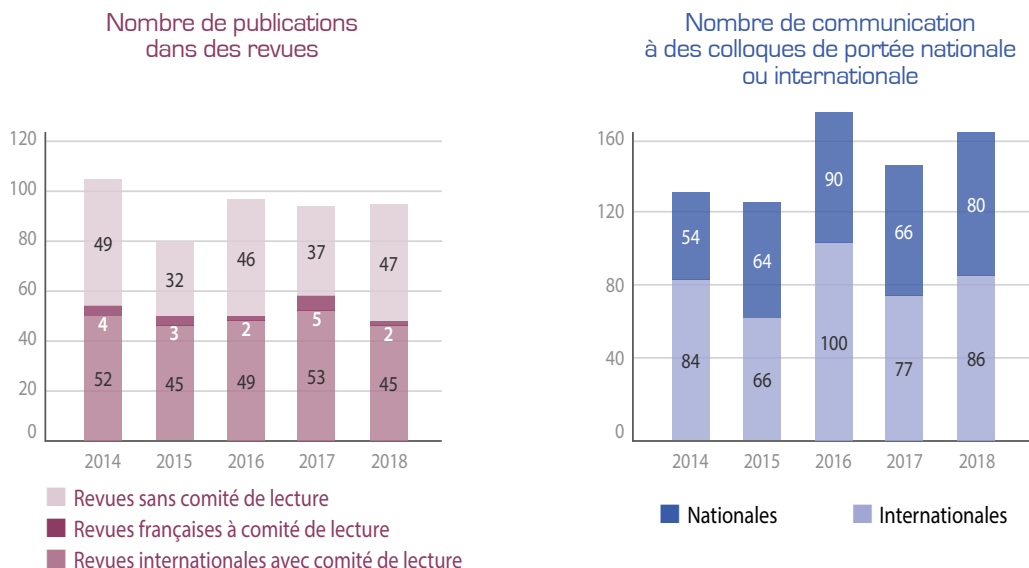
Parmi les exemples :

- Le groupe « Bien-être au travail » contribue à l'organisation d'un cycle de conférences. Cela s'est concrétisé, en 2019, par une conférence internationale organisée par l'INRS à Issy-les-Moulineaux qui a accueilli 330 personnes originaires de 39 pays.
- Des échanges à venir portent sur les déchets et micro-organismes ou le vieillissement au travail ainsi que sur les risques liés à l'exposition aux huiles de coupe.

### La validation des projets et des résultats

Il s'agit pour l'INRS de produire des résultats robustes et non discutables.

Une évaluation externe par les pairs au niveau de la publication des résultats : lorsque le sujet de l'étude s'y prête (il faut exclure les travaux à caractère trop exploratoire ou à caractère purement applicatif), les équipes publient leurs résultats dans des revues internationales à comité de lecture, ce qui revient à organiser une mise en débat des résultats. Si on analyse les études terminées depuis quelques années, on note qu'environ 70 % ont donné lieu à une publication internationale dans une revue à comité de lecture (et 40 % au moins deux). De même, la présentation des résultats à des colloques internationaux constitue une confrontation avec les travaux des autres équipes.



Les publications dans des revues internationales à comité de lecture sur la période 2015 à 2018 sont au nombre de 192 (voir la liste des publications en page 82).

63 % de ces publications de l'INRS s'inscrivent dans le cadre de collaborations, avec au moins un auteur extérieur à l'INRS. On note également que 137 de ces publications sont explicitement liées à des études, 19 sont liées à des études courtes et 36 sont à caractère plus générique.



## ➔ Présentation des laboratoires de l'INRS

En 2018, les actions d'études et de recherche ont représenté 45 % des activités de l'INRS. Menées dans six départements et 20 laboratoires du centre de Lorraine, ces activités sont conduites par des ingénieurs, chimistes, toxicologues, ergonomes, techniciens... Ces départements représentent environ 270 personnes.



© Serge MORILLON / INRS

### » Métrologie des polluants

Le département développe, d'une part, des méthodes d'établissement des stratégies de prélèvement et d'évaluation *a priori* des expositions, et, d'autre part, des méthodes d'évaluation et de caractérisation des expositions professionnelles par inhalation et par contact cutané. Il propose des méthodes de prélèvement et d'analyse des polluants gazeux et des aérosols semi-volatils, des aérosols particulaires y compris de taille nanométrique et des aérosols microbiologiques. Il identifie les secteurs d'activité et/ou les métiers dans lesquels il est nécessaire d'engager des actions de prévention du risque chimique et biologique. Il capitalise et exploite les données collectées dans les bases de données Colchic et Scola.

#### Laboratoires

Evaluation  
du risque et  
des expositions

Métrologie  
des aérosols

Métrologie  
des expositions aux  
polluants organiques

Laboratoire d'analyse  
inorganique et de  
caractérisation des  
aérosols



© Serge MORILLON / INRS

### » Ingénierie des procédés

Le département a pour mission de rechercher, d'étudier et de promouvoir des solutions de prévention en réponse aux problèmes d'exposition aux agents toxiques sous leurs diverses formes (gaz, liquide, solide ou aérosol). Après identification et évaluation des expositions dans les secteurs professionnels à prendre en charge, le département recherche les solutions techniques de prévention amont qui conduiront à une maîtrise de la source de pollution. Ce qui se traduit par ordre de priorité par : l'amélioration du procédé existant ou la mise au point d'un procédé de substitution moins émissif, la mise en œuvre de protections collectives par le confinement, le captage des polluants au plus près de la source, la ventilation des locaux et l'épuration des atmosphères, et enfin le développement ou la validation d'équipements de protection individuelle.

#### Laboratoires

Analyses spatiales  
et temporelles des  
expositions chimiques

Ingénierie aéraulique

Procédé et épuration  
des polluants



© Serge MORILLON / INRS

## » Toxicologie et biométrie

Le 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

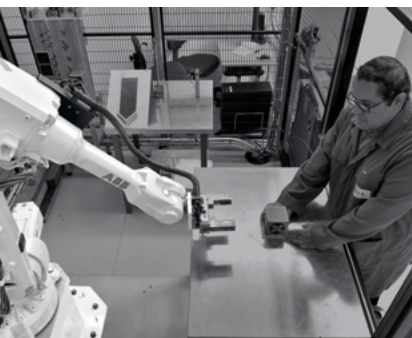
Biométrie

Cancérogénèse,  
mutagénèse  
et reprotoxicité

Ototoxicité  
et neurotoxicité

Sensibilisations,  
allergies et biologie clinique

Toxicocinétique, inhalation  
et passage cutané



© Serge MORILLON / INRS

## » Ingénierie des équipements de travail

Le département développe de l'ingénierie de prévention des risques mécaniques et physiques liés aux équipements de travail. Les machines fixes ou mobiles, engins, véhicules, machines portatives, outils... entrent dans le champ d'action du département ainsi que les composants de sécurité, les locaux (ateliers, bureaux...) et les équipements de protection individuelle ou collective.

En plus des risques d'accident, les équipements de travail sont sources de bruit, vibrations, rayonnements optiques ou électromagnétiques qui provoquent des maladies professionnelles. Le département vise l'amélioration, si possible dès la conception, de tous ces équipements et dispositifs de protection utilisés par l'homme au travail.

### Laboratoires

Acoustique  
au travail

Conception - équipements  
de protection - interfaces  
homme-machine

Électromagnétisme,  
vibrations, optique

Sécurité des équipements  
de travail  
et des automatismes



© Serge MORILLON / INRS

## » Homme au travail

Le département mène des activités scientifiques visant à améliorer les conditions de travail par la production et le transfert de connaissances, de démarches, de méthodes et d'outils issus de la recherche, à destination des acteurs de la prévention des risques professionnels. Centrées sur l'analyse de l'activité réelle de l'homme au travail, des pratiques d'entreprises et sur des expérimentations simulant des situations de travail, les questions traitées portent sur l'évaluation des risques et les moyens de les prévenir, en lien avec les aspects physiques, physiologiques, psychosociaux, organisationnels, technologiques et démographiques.

### Laboratoires

Ergonomie et psychologie appliquée à la prévention

Gestion et organisation pour la santé et sécurité au travail

Physiologie mouvement - travail

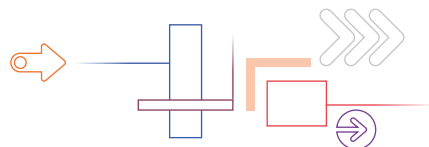


© Jean-Pierre DALENS / INRS

## » 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 à des produits, des environnements de travail ou des facteurs psychosociaux. Les études conduites s'intéressent aux pathologies respiratoires, cardiovasculaires, aux allergies, aux cancers, aux troubles musculosquelettiques, aux troubles de la reproduction et aux troubles liés à des facteurs psychosociaux.

Le département conduit également des études d'évaluation d'impact sur la prévention d'interventions ou de formations. Ces différentes études peuvent nécessiter le développement, en interne, de méthodes statistiques adaptées.





**Professeur Benoît IUNG**  
Université de Lorraine -  
Cran CNRS UMR 7039  
Co-animateur scientifique du département  
« ingénierie des systèmes éco-techniques »  
du Cran  
Membre de la commission scientifique  
de l'INRS

## ➔ Entretien avec le Professeur Benoît IUNG

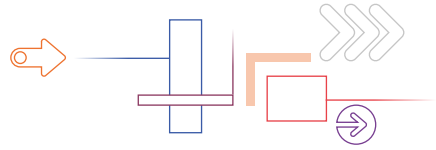
**Depuis plusieurs années, le Centre de recherche en automatique de Nancy (UMR CNRS 7039) développe des activités de recherche dédiées à la santé et à la sûreté de fonctionnement des systèmes. Il s'intéresse, tout comme l'INRS, au concept d'industrie du futur. Pouvez-vous, en tant que membre de la commission scientifique de l'INRS, nous éclairer sur les enjeux dans ce domaine ?**

Le concept de l'industrie du futur a émergé en France, en réponse au constat d'une baisse régulière de la part de l'industrie manufacturière dans le PIB national. Ce constat, d'autres pays l'ont fait aussi, ce qui a donné naissance à des déclinaisons du concept, comme « Industrie 4.0 » (Allemagne) ou « Japan's Society 5.0 ». Ces déclinaisons introduisent un positionnement de ce concept, pour les entreprises, sur de nombreux enjeux a priori différents (ex. technologies, commerce, organisations) mais au final totalement interdépendants. En effet, ces entreprises sont amenées à se transformer en profondeur, afin de s'adapter aussi bien aux besoins récents des consommateurs, exigeant des produits plus personnalisés, qu'aux considérations du développement durable. Ceci place l'entreprise de

demain dans un écosystème à dynamique interne forte, plus propice à l'adaptation, et en oriente la survie non plus uniquement sur une pérennité économique, mais aussi sociétale et environnementale. Les transformations attendues reposent donc sur l'introduction d'un nouveau paradigme industriel prônant une digitalisation des processus, permettant de coupler la vision « donnée » à la vision physique de l'entreprise (concept de système cyber-physique). En ce sens, l'exploitation de ces données, leurs échanges entre les fonctions de l'entreprise établissent une nouvelle chaîne de valeur où l'homme a toute sa place. En effet l'avenir de l'entreprise du futur ne doit pas s'envisager comme un empilement de solutions digitales, mais bien comme une fusion de l'humain et du digital au sein d'une organisation et d'un écosystème pertinents.

**Quels sont, à votre avis, les prochains défis scientifiques à relever pour faire encore progresser la prévention des risques professionnels en France ?**

Par rapport aux enjeux de l'industrie du futur et aux technologies digitales actuelles qui s'y réfèrent, de nombreuses problématiques de risque émergent, soulevant de vrais défis scientifiques pour y apporter les moyens de prévention adéquats. En effet, autant l'humain peut se protéger physiquement des risques



liés à la libération d'énergie, autant il lui est difficile de se protéger du numérique, qui en soit n'est pas dangereux. Ces problématiques sont, à mon avis, à structurer autour de trois types de situations (complexes) dangereuses où se combinent facteurs humains et facteurs technologiques : des situations issues d'un usage normal par l'humain de ces technologies ; des situations issues d'une ingénierie (mal maîtrisée ?) de ces technologies ; et des situations issues d'un comportement « anormal » de ces technologies. Chacune de ces situations, pour lesquelles sont à considérer l'organisation, le collectif et les activités, peut engendrer soit la création d'un nouveau risque, soit l'aggravation d'un risque existant ou encore le déplacement d'un risque existant. Pour citer trois exemples liés à ces trois situations, la robotique collaborative peut amener un nouveau risque de collision, le port d'un casque de réalité augmentée aggrave le risque de charge cognitive et l'exosquelette peut amener un déplacement du risque de TMS sur une autre partie du corps. Sur l'ingénierie, la prise en compte de la dimension « donnée » doit amener une véritable réflexion sur une ingénierie (système) 4.0 de la prévention, pour mieux maîtriser la fonctionnalité de la donnée, en interaction avec le phénomène physique auquel elle se rapporte. Sur le dernier cas, des problématiques sont à étudier en lien avec la cybersécurité, l'incohérence entre représentation numérique et représentation physique...

### **L'INRS a le privilège de vous compter parmi les membres de sa commission scientifique chargée d'évaluer ses travaux. Quel regard portez-vous sur ses activités d'études et recherche et leur rôle au bénéfice de la prévention ?**

Les activités d'études/recherche menées à l'INRS sont à mon sens, des activités incontournables en support à la veille et à l'innovation dans le domaine de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles. En effet, aussi bien sur les thématiques actuelles de l'INRS que sur des thèmes novateurs, il faut de façon continue, renforcer les connaissances, voire en développer de nouvelles pour proposer des solutions de prévention toujours plus efficaces face à des risques connus ou émergents (ex. introduction de l'IA dans les machines). Cette production de connaissances ne peut résulter que d'un travail amont d'investigation, de recherche, construit sur une synergie de compétences complémentaires comme c'est le cas aujourd'hui à l'INRS. En ce sens, l'INRS par cette production de savoir se doit d'être force de proposition et de jouer un rôle précurseur dans les différentes instances techniques et scientifiques du domaine de la sécurité. Ce rôle est d'autant plus crédible que ces études/recherches sont menées pour la plupart en partenariat avec le monde académique, permettant aussi un transfert vers de la formation, de l'information.

# PROGRAMMES DE PRÉVENTION 2018 - 2022

Les pages qui suivent proposent une présentation détaillée des études qui se sont achevées fin 2018, ainsi qu'un résumé des études en cours en 2019.

Ces études sont classées selon la thématique principale à laquelle elles sont rattachées au sein du plan stratégique de l'INRS pour les années 2018 - 2022.

## ➔ Prévention des risques biologiques

De nombreux secteurs d'activité (milieux de soins, agroalimentaire, déchets/recyclage...) sont exposés à des agents biologiques (bactéries, champignons, virus...) qui peuvent être à l'origine de pathologies professionnelles : infections, intoxications, allergies, voire cancers, qu'il est essentiel de circonscrire.

### »» Objectifs généraux d'études et recherche

- **Concevoir des méthodes d'évaluation et de mesure des expositions biologiques pour identifier plus finement les agents exposant les salariés**, dans le but de proposer des indicateurs et de contribuer à l'élaboration de valeurs guides, voire de valeurs limites d'exposition professionnelle.
- **Identifier les agents biologiques présents dans de nouveaux procédés ou de nouveaux secteurs, pour définir l'émissivité et l'impact sur la santé des salariés.**
- **Réaliser des tests de performance et d'efficacité des systèmes de protection collective et individuelle**, si besoin explorer des pistes d'amélioration.
- **Mettre en œuvre des méthodes de détermination du potentiel sensibilisant de certains agents biologiques.**

### »» Objectifs spécifiques d'études et recherche

Des stratégies complémentaires sont conduites pour **cartographier au plus près les expositions et établir des préconisations** adaptées aux besoins de prévention.

Les travaux dans le thème des risques biologiques portent principalement sur le développement de méthodes de mesure des expositions des travailleurs à des microorganismes ou à des molécules qui en sont issues, comme les (1,3)- $\beta$ -D-glucanes ou des toxines.

La démarche générale consiste à mettre au point des méthodes d'analyse et à les tester sur le terrain. C'est l'objet des quatre premières études qui sont présentées. La cinquième vise à établir une relation entre exposition et risque.



## ► EXPOSITIONS AUX AGENTS PATHOGÈNES

2013 → 2018

### Développement et évaluation d'une méthode de mesure des (1,3)- $\beta$ -D-glucanes dans l'air des lieux de travail



© Serge MORILLON / INRS

■ Philippe DUQUENNE et Xavier SIMON  
Département métrologie des polluants

#### Exposé des motifs et objectifs

Les (1,3)- $\beta$ -D-glucanes sont des composés qui entrent dans la composition de la plupart des moisissures, des champignons supérieurs, des levures, et de nombreux végétaux par exemple. Ils sont présents dans des secteurs d'activités tels que la papeterie, le recyclage des matériaux à base de cellulose, le tri et le compostage des déchets, l'horticulture, la production agro-alimentaire, la récolte des cultures et l'élevage. L'exposition aux (1,3)- $\beta$ -D-glucanes aéroportés est associée à des irritations et des symptômes inflammatoires au niveau des voies supérieures respiratoires et à de la fatigue.

Aucune méthode n'était jusqu'alors disponible en France pour la mesure de ces composés dans l'air, si bien que les expositions des travailleurs sur le territoire français ne sont pas documentées. Les objectifs de cette étude étaient de développer et qualifier une méthode pour la mesure des (1,3)- $\beta$ -D-glucanes dans l'air des lieux de travail, d'évaluer la possibilité de la mettre à la disposition des Carsat et d'en faire une première application en conditions réelles d'exposition.

#### Démarche

L'étude a débuté par la mise en place et la qualification du banc d'analyse. Les caractéristiques de la méthode de dosage ont été étudiées (analyse du processus de mesure, qualification des consommables, vérification de la linéarité, détermination des limites de détection et de quantification, gestion des interférences, etc.). Des essais de laboratoire (suspensions microbiennes, solutions de glucanes) et de terrain (centres de tri de déchets ménagers recyclables) ont ensuite permis d'étudier l'influence de plusieurs protocoles de traitement des échantillons sur les résultats d'analyse. Un traitement adapté est en effet indispensable pour libérer les (1,3)- $\beta$ -D-glucanes des structures cellulaires et augmenter leur solubilité, pour améliorer leur accessibilité aux composants réactionnels lors du dosage. L'influence d'une conservation des échantillons par congélation à -20°C a également été investiguée. Enfin, la méthode a été déployée dans des centres de tri des déchets ménagers recyclables afin de mesurer et documenter les concentrations en (1,3)- $\beta$ -D-glucanes aux postes de travail.

#### Résultats principaux

L'étude a permis de proposer une méthode de mesure des expositions aux (1,3)- $\beta$ -D-glucanes dans l'air des lieux de travail. Elle repose sur un prélèvement par cassette fermée, une conservation possible de l'échantillon à -20°C pendant 15 jours, une extraction et un traitement combiné de l'échantillon par broyage en présence d'un détergent, en vue de son analyse par suivi d'une réaction enzymatique par spectrophotométrie. Le déploiement de cette méthode dans des centres de tri des déchets ménagers recyclables a permis de documenter les premiers résultats de concentrations ambiantes en (1,3)- $\beta$ -D-glucanes sur le territoire français. Les niveaux de concentrations mesurés (entre ~10 et ~1000 ng/m<sup>3</sup>), variables en fonction de la tâche professionnelle, sont en bonne adéquation avec les résultats de précédentes études internationales dans le même secteur d'activité.

#### Discussion

Cette étude souligne le caractère complexe de l'analyse des (1,3)- $\beta$ -D-glucanes et la nécessité de procéder au traitement des échantillons de bioaérosols de manière à libérer et solubiliser ces composés pour rendre le dosage plus efficace et pertinent. Le protocole sera transféré sous la forme d'une méthode Metropol qui précisera certaines limites telles que la répétabilité du dosage (~35 %), le caractère fastidieux du processus global de mesure (décontamination, prélèvement, extraction, traitement et dosage) ou le fait que la mesure peut ne pas être représentative de l'ensemble des (1,3)- $\beta$ -D-glucanes présents dans l'air des lieux de travail.

2015 → 2018

## Caractérisation microbiologique et physique des aérosols fongiques émis au poste de travail lors du tri et du recyclage des déchets



© Département MP / INRS

■ Philippe DUQUENNE et Xavier SIMON

*Département métrologie des polluants*

■ Thèse de doctorat : Jodelle DEGOIS

*Université de Lorraine : Pr Pierre LEBLOND et Dr Cyril BONTEMPS*

### Exposé des motifs et objectifs

L'exposition à des bioaérosols lors des opérations de tri des déchets recyclables a été mise en évidence dans plusieurs pays et, dans plusieurs études, des effets sur la santé ont été identifiés parmi les travailleurs concernés. La caractérisation des expositions aux bioaérosols reste cependant incomplète dans ce secteur d'activité. Pourtant, une meilleure connaissance de la distribution de la taille et la biodiversité des bioaérosols dans les centres de tri des déchets ménagers recyclables compléterait les mesures d'exposition existantes et permettrait de mieux appréhender les risques biologiques rencontrés dans cet environnement professionnel. Elle permettrait, à terme, une meilleure prise en charge de ces risques. Les objectifs de l'étude étaient de déterminer la composition, notamment la biodiversité et la distribution granulométrique, des aérosols fongiques émis dans le secteur du tri et du recyclage des déchets et de rechercher un (des) indicateur(s) caractéristique(s) des bioaérosols émis dans l'air au poste de travail.

### Démarche

L'étude a débuté par la définition des paramètres microbiens à mesurer et par l'adaptation des méthodes correspondantes. Ensuite, une stratégie de mesure a été élaborée dans le but de réaliser une caractérisation approfondie (concentration ; biodiversité microbienne ; distribution granulométrique) des bioaérosols au poste de travail. Enfin, cette stratégie a été déployée pour étudier la variation des bioaérosols pendant une année dans un centre de tri des déchets recyclables.

### Résultats principaux

Les travaux d'adaptation et de développement réalisés ont abouti à des progrès significatifs sur la mesure de l'ergostérol, de la distribution granulométrique des bioaérosols et de la biodiversité dans les bioaérosols. Sur ce dernier point, l'étude a permis d'aboutir à un protocole de mesure et de connaître précisément les avantages et les limites des techniques de la biologie moléculaire et, par comparaison, de celles des techniques fondées sur la culture. L'étude a permis de documenter les concentrations, la distribution granulométrique et la biodiversité microbienne dans les bioaérosols émis dans un centre de tri des déchets ménagers recyclables. En général, les bioaérosols sont apparus complexes en termes de composition et de distribution granulométrique. La biodiversité microbienne s'est avérée plus importante et différente par rapport à celle rencontrée dans une référence en intérieur. L'étude des déterminants de cette biodiversité révèle un effet de la saison pour les moisissures mais pas pour les bactéries. Dans le centre de tri investigué, les bioaérosols sont dominés par des particules de tailles supérieures à 10 µm pour les poussières inhalables et par les entités bactériennes cultivables. Au contraire, les particules portant des entités fongiques cultivables sont majoritairement de tailles inférieures à 5 µm.

### Discussion

En matière de stratégie de mesure, les résultats montrent qu'il est nécessaire de collecter plusieurs échantillons pour rendre compte de la biodiversité microbienne et de la distribution granulométrique de manière représentative. Les données obtenues sont utiles pour la conception de mesures techniques de prévention et pour la prévision du dépôt de particules microbiennes dans les voies respiratoires. Une meilleure connaissance sur la biodiversité dans les bioaérosols auxquels sont exposés les travailleurs est nécessaire afin de pouvoir identifier, à terme, les agents microbiens spécifiques responsables des effets sur la santé, ainsi que leur rôle précis dans les symptômes, ce qui nécessitera une identification au niveau de l'espèce. L'étude indique aussi que les caractéristiques des bioaérosols sont déterminées par des facteurs multiples dont l'étude est complexe.



## ► MYCOTOXINES ET ENDOTOXINES

2014 → 2018

### Exposition professionnelle aux mycotoxines : biométrie et évaluation atmosphérique

■ Sophie NDAW et Alain ROBERT

*Département toxicologie et biométrie*

#### Exposé des motifs et objectifs

Les mycotoxines sont des métabolites toxiques produits par des moisissures se développant sur des plantes en plein champ ou au cours de leur stockage. Leur présence fréquente dans les denrées alimentaires implique des risques potentiels pour la santé, en raison de leurs sévères propriétés toxiques. Il est également admis que l'homme puisse être exposé aux mycotoxines par les voies cutanée et respiratoire lors de la manipulation de produits agricoles contaminés (récolte, transport, stockage, transformation...). Bien que les expositions d'origine professionnelle soient peu documentées, la présence de mycotoxines dans les atmosphères de travail laisse supposer que le salarié puisse être exposé pendant son travail. De plus, la co-contamination des denrées alimentaires par plusieurs mycotoxines est fréquente de telle sorte que des co-expositions à plusieurs mycotoxines sont à craindre. L'objectif principal de cette étude était la mise au point et la validation de méthodes de dosage des mycotoxines à la fois dans l'air et dans les urines de façon à pouvoir évaluer les niveaux auxquels sont exposés les salariés et leur contamination effective.

#### Démarche

Les mycotoxines suivantes, ainsi que leurs principaux métabolites urinaires, ont été inclus dans l'étude : aflatoxine B1 et M1, fumonisine B1, ochratoxine A, ochratoxine  $\alpha$ , déoxynivalénol, zéaralénone,  $\alpha$  et  $\beta$ -zéaralénol, T2 toxine et HT2-toxine.

Les méthodes de dosage des biomarqueurs urinaires ont été mises au point en utilisant des techniques de chromatographie liquide couplée à de la spectrométrie de masse haute résolution, après optimisation des différentes étapes. Quant à la méthode de dosage des mycotoxines dans l'air, elle

s'appuie sur une extraction des mycotoxines présentes dans les poussières avant d'effectuer une quantification par chromatographie liquide couplée à une détection par fluorimétrie ou ultraviolet.

Les méthodes ont été appliquées à des échantillons urinaires et atmosphériques provenant d'une entreprise de stockage de céréales et d'une entreprise de nutrition animale afin d'en évaluer leur pertinence.

#### Résultats principaux

Les méthodes mises au point ont des performances acceptables selon les critères de validation retenus. Elles permettent de quantifier jusqu'à 10 mycotoxines dans un seul prélèvement.

Près de 30 personnes ont été suivies dans les deux entreprises. A l'exception de l'ochratoxine  $\alpha$ , tous les biomarqueurs recherchés ont été quantifiés au moins une fois dans les échantillons d'urine collectés. Le déoxynivalénol, la zéaralénone et l'ochratoxine A étaient les mycotoxines les plus fréquemment quantifiées dans les urines des salariés. Cependant, des différences dans la fréquence et les niveaux d'exposition ont été décelées entre les entreprises ou selon la période de prélèvement. Ainsi, les contaminations ont été plus fréquentes et multiples dans l'entreprise de stockage de céréales que dans l'entreprise de nutrition animale. Une contamination par 2 à 5 mycotoxines des échantillons atmosphériques prélevés a également été mesurée dans l'entreprise de stockage. La stratégie de prélèvement retenue s'est donc avérée pertinente pour collecter des données d'expositions en entreprises.



© Serge MORILLON / INRS

## Discussion

Cette étude a permis la mise au point de méthodes de dosage de plusieurs mycotoxines dans les urines et les atmosphères de travail. Ces méthodes constituent les outils nécessaires pour caractériser les expositions aux mycotoxines dans différents secteurs professionnels. Certains éléments seront néanmoins à considérer : la variabilité des expositions en fonction des secteurs, la distinction entre les expositions professionnelles et extraprofessionnelles, l'exploration de la relation entre les données atmosphériques et les données biologiques.

2019 → 2021

### Optimisation de la méthode de mesure des endotoxines dans l'air des lieux de travail

■ Xavier SIMON, Catherine COULAIS, Pauline LOISON

*Département métrologie des polluants*

Les endotoxines sont émises à partir de réservoirs solides ou liquides contenant ou ayant contenu de la matière organique. Présentes dans de nombreuses atmosphères de travail elles sont susceptibles d'engendrer des effets délétères pour la santé. L'objectif de cette étude est de proposer une méthode de prélèvement et d'analyse des endotoxines aux postes de travail pour caractériser les expositions et permettre la mise en place de mesures de prévention adaptées. Les connaissances acquises seront publiées et intégrées aux stages de formation de l'INRS destinés aux fonctionnels de sécurité.

2017 → 2019

### Méthodologie d'aide à l'évaluation du risque biologique

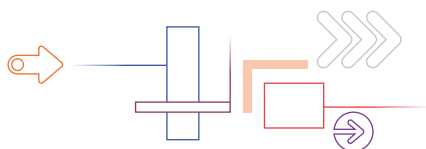
■ Sarah BURZONI

*Département métrologie des polluants*

■ Thèse de doctorat : Sarah BURZONI

*Université de Lorraine - Luc FERRARI*

Afin d'accompagner les entreprises dans leur démarche d'évaluation du risque biologique et de définir des mesures préventives adaptées, l'étude a pour objectif de proposer une méthodologie d'évaluation qualitative du risque répondant à l'ensemble des situations de travail. La validation de la démarche s'effectuera en interne et en externe auprès d'un échantillon d'établissements concernés par le risque biologique, avant d'être mise à la disposition des préventeurs.



## ➔ Prévention des risques chimiques

Les travaux conduits ces dernières années par l'INRS ont amélioré la prise en compte des risques chimiques dans les lieux de travail.

Pour autant, même si les niveaux d'exposition ont baissé et la sensibilisation aux dangers a fortement progressé, les substances chimiques restent très présentes et passent encore parfois inaperçues en milieu professionnel. Différents objectifs seront poursuivis pour approfondir les connaissances.

### »» OBJECTIFS GÉNÉRAUX D'ÉTUDES ET RECHERCHE

- **Développer des méthodes pour identifier les substances dangereuses pour la santé des salariés et agir en amont.**
- **Contribuer à faire progresser la conception des machines et des procédés** en améliorant l'intégration, à la source, de la limitation ou de l'épuration des émissions de polluants.
- **Renforcer la prise en compte des multiexpositions** (voir thématique focus).
- **Veiller à l'adéquation des dispositifs de protection collective et des équipements de protection individuelle face au risque chimique, et au maintien de leur efficacité dans le temps.**

Dans cette rubrique, 30 études liées à ces objectifs généraux sont présentées.

Les douze premières s'inscrivent dans l'axe **développement de méthodes** :

- Six études portent sur l'évaluation des expositions, qu'il s'agisse d'optimiser les méthodes de prélèvement destinés à des analyses, de pratiquer des analogies avec des situations de travail connues, de développer des dispositifs spécifiques de prélèvement (atmosphère, surface, aérosols semi volatils). Ces travaux visent principalement à mettre des outils validés à disposition des préventeurs.
- Les autres études portent sur des développements variés tels que techniques d'analyse, méthode de criblage de substance pour détecter des dangers, mise au point de méthodes statistiques.

Neuf études portent sur la **connaissance des expositions**. Il s'agit d'acquérir des données sur l'exposition de travailleurs à des postes divers tels les locaux de stockage, conteneurs, unités de méthanisation. On note en particulier deux études sur l'exposition aux métaux dans des activités appelées à s'intensifier : le stockage de l'énergie et la fabrication additive.

Neuf études traitent enfin de **protection collective et individuelle** :

- Cinq portent sur l'efficacité de systèmes associés à la protection collective par des procédés tels qu'abattage humide, ventilation, filtration.
- Deux études sont liées au test d'équipements de protection individuels (masques et gants).
- Deux portent sur la réduction à la source des émissions d'oxyde d'azote émis par des moteurs diesel de chantiers.

## ► DÉVELOPPEMENT DE MÉTHODES

2015 → 2018

### Mise à jour des bonnes pratiques pour l'élaboration d'une stratégie de prélèvement



© Serge MORILLON / INRS

■ Frédéric CLERC

*Département métrologie des polluants*

#### Exposé des motifs et objectifs

L'évaluation du risque chimique sur les lieux de travail peut comporter une étape de mesurage des substances chimiques. Afin de réaliser un diagnostic d'exposition représentatif, les mesures doivent être réalisées en suivant une stratégie. Le contexte français a évolué : le décret du 15 décembre 2009 est en cours de révision, une norme (EN-689) a été révisée. La notion de groupe d'exposition similaire, bien que présente dans la réglementation, est floue et le développement des connaissances autour des multiexpositions peut remettre en cause les pratiques. L'étude consiste à proposer une méthode d'élaboration de la stratégie de prélèvement commune pour les agents chimiques dangereux, les bio-aérosols et les nano-aérosols, tenant compte de l'environnement et du contexte actuel.

#### Démarche

Les méthodologies utilisées actuellement pour la mesure et l'analyse des données ont été réévaluées par des experts de l'INRS. En particulier, une méthodologie d'élaboration des « groupes d'exposition similaire » a été élaborée à travers un ensemble de réunions avec un groupe d'experts incluant des personnes extérieures à l'INRS. De plus, les données issues des bases Colchic et Scola ont été utilisées : premièrement pour l'aide à la conception des groupes d'exposition similaire et deuxièmement pour évaluer l'impact des multiexpositions.

#### Résultats principaux

Les différentes réunions entre experts ont conduit tout d'abord à une mise à jour majeure des bonnes pratiques de stratégie et d'analyse préconisées par l'INRS. En particulier, l'accent a été mis sur le renforcement de l'évaluation des risques, avec pour finalité une identification aussi fiable que possible des situations pour lesquelles le mesurage est réellement indispensable. Cette mise à jour a été matérialisée par deux fiches Metropol « Stratégie de prélèvement » et « Interprétation statistique des résultats de mesure ». D'autre part, la méthodologie d'élaboration des « groupes d'exposition similaire » a été implémentée dans la mise à jour du logiciel Altrex, dont la sortie est prévue pour fin 2019. En particulier, des liens avec le logiciel Seirich ont été créés pour plus de cohérence entre l'étape d'évaluation du risque et l'étape de mesurage. Concernant les multiexpositions, un article scientifique publié dans une revue internationale montre que 35 % des situations de travail de la base de données Colchic conduisent à des multiexpositions et que 16 % des situations potentiellement à risque ne sont pas identifiées comme telles.

#### Discussion

Outre leur impact sur la diffusion de bonnes pratiques par les fiches Metropol, les travaux réalisés sur l'analyse de données de multiexpositions constituent une grande avancée car ils contribuent à démontrer que cet enjeu doit être pris en compte dès les premières étapes de l'évaluation des risques. La nouvelle norme EN-689 mise à jour en 2018 fait d'ailleurs cette recommandation. Des éléments restent à approfondir en ce qui concerne les stratégies à appliquer en l'absence de valeur limite et pour la mesure en temps réel. La faisabilité de la constitution de groupes d'exposition similaire inter-établissements et la prise en compte des mesures en situation de multiexposition fait l'objet d'une étude en cours (voir ci-après).

2019 → 2022

## Développement d'une méthodologie pour la constitution de groupes d'exposition similaire inter-établissements à partir de l'exploitation des bases Colchic et Scola

■ **Andréa EMILI et Gautier MATER**

*Département métrologie des polluants*

Ce travail consiste à compléter, avec des partenaires internationaux, la méthodologie existante d'élaboration d'une stratégie de prélèvement, par la constitution de groupes d'exposition inter-établissements. Cette approche offrira la possibilité pour les petits établissements de se regrouper pour conduire leur démarche d'évaluation de l'exposition. Cette méthodologie sera intégrée dans le guide Metropol. Les résultats obtenus permettront aussi la création d'un outil web d'aide à l'évaluation quantitative du risque chimique qui permettra l'évolution des bases de données Solvex et Fibrex.

2019 → 2021

## Amélioration des algorithmes du Système d'évaluation et d'information sur les risques chimiques en milieu professionnel (Seirich)

■ **Frédéric CLERC**

*Département métrologie des polluants*

■ **Nicolas BERTRAND**

*Département expertise et conseil technique*

Cette étude vise à l'amélioration de la méthodologie de Seirich, utilisée pour l'évaluation du risque chimique en France. Il s'agira d'établir une démarche pour objectiver les niveaux de risque, de la mettre en œuvre pour créer des évaluations de référence, à confronter aux résultats fournis par Seirich. Des propositions d'amélioration des algorithmes seront initiées et une mise en perspective des évaluations de Seirich avec celles d'autres outils de référence européens sera réalisée.

2017 → 2019

## Étude des performances des pompes de prélèvement individuel au regard des besoins des préventeurs

■ **Eddy LANGLOIS et Alain BOULET**

*Département métrologie des polluants*

La pompe de prélèvement individuel est un organe essentiel dans le processus d'évaluation des expositions professionnelles aux agents chimiques et biologiques. Cette étude a pour objectif d'évaluer les performances des pompes disponibles sur le marché français en les soumettant aux essais de la norme NF EN ISO 13137, qui fixent les exigences à satisfaire pour ces équipements. Des essais complémentaires seront menés pour caractériser des utilisations dans des conditions particulières.

2018 → 2020

## Prélèvements surfaciques en situation de travail

■ **Williams Estève et Virginie MATERA**

*Département métrologie des polluants*

L'exposition directe ou indirecte par contact avec des surfaces contaminées peut représenter une voie d'entrée non négligeable de substances toxiques dans l'organisme. Cette étude a pour objectif d'élargir à un plus grand nombre de cas le champ d'application d'une précédente étude, afin de conforter les méthodologies proposées. Cette validation permettra ainsi d'améliorer les guides méthodologiques, de développer la pratique des prélèvements surfaciques et d'homogénéiser les méthodologies facilitant la comparaison de données.

2018 → 2021

### Analyse, optimisation par simulation numérique et prototypage d'un dispositif de prélèvement d'aérosols semi-volatils dichotomique

■ Benjamin SUTTER

*Département métrologie des polluants*

■ Thèse de doctorat : Noredine REKEB

*Université Paris Est Créteil – Evelyne GEHIN*

■ Emmanuel BELUT

*Département ingénierie des procédés*

Les aérosols semi-volatils sont fréquemment présents dans l'environnement de travail. Les substances semi-volatiles les plus connues sont les huiles de coupe, les fumées de bitume, les pesticides et l'acrylamide, substances auxquelles plus d'un million de salariés sont exposés. Cette étude a pour objectif de collecter des aérosols semi-volatils en respectant les contraintes actuelles du prélèvement individuel, tout en maîtrisant les biais liés aux capacités de volatilisation et de condensation de ce type de polluant. Un prototype de SADS (Semivolatile aerosol dichotomous sampler) sera évalué et optimisé avant fabrication et test sur des aérosols semi-volatils.

2013 → 2019

### Étude du couplage de la désorption de support par CO<sub>2</sub> supercritique et des techniques d'analyse par chromatographie

■ Eddy LANGLOIS

*Département métrologie des polluants*

L'objectif de cette étude est le développement d'une technique d'analyse de prélèvements atmosphériques de composés organiques volatils, ne faisant pas appel à l'utilisation de solvant. Cette technique basée sur l'extraction au dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) à l'état supercritique, couplée à l'analyse par chromatographie en phase gazeuse ou liquide, présente un double avantage : personnel de laboratoire soustrait au risque chimique et simplification du processus analytique.

2015 → 2019

### Développement de capteurs chimiques de gaz pour la mesure en temps réel des expositions professionnelles aux agents chimiques organiques

■ Marianne GUILLEMOT

*Département métrologie des polluants*

■ Thèse de doctorat : Christelle GHAZALY

*Université de Lorraine - Marc HEBRANT*

Plusieurs pistes sont étudiées en vue de développer une méthode d'évaluation de la concentration d'ozone dans l'air, basée sur l'interaction entre un capteur chimique de gaz et le composé cible. Ce système de mesure permettra d'identifier les phases exposantes au cours d'une mesure d'exposition classique sur 8 heures. Cette étude pourrait aboutir à un prototype de mesure en temps réel des expositions professionnelles à l'ozone.

2017 → 2020

### Étude des variations de la concentration potassique d'explants d'utricule exposés à des solvants

■ Monique CHALANSONNET et Pierre CAMPO

*Département toxicologie et biométrie*

■ Thèse de doctorat : Valentin TALLENDIER

*Université de Lorraine - Gérôme GAUCHARD et Pierre CAMPO*

L'objectif de cette étude est d'une part de savoir si les solvants peuvent provoquer des dysfonctionnements au niveau des récepteurs périphériques de l'équilibre, en particulier du vestibule, et d'autre part de comprendre les mécanismes qui provoquent ces perturbations. Cette approche *in vitro* permettra de mieux comprendre les mécanismes physiopathologiques des vertiges dus au dysfonctionnement des récepteurs périphériques de l'équilibre et de disposer d'un test rapide pour prioriser les molécules nécessitant une exposition chronique de type corps entier dans les études *in vivo*.

2019 → 2021

## Mise en place d'une méthode de suivi électroencéphalographique en temps réel de l'action neuropharmacologique des solvants

■ Ludivine WATHIER et Benoît POUYATOS

*Département toxicologie et biométrie*

Les intoxications aiguës aux solvants se manifestent généralement par des signes de dépression du système nerveux central qui, bien que réversibles, peuvent générer des risques pour les salariés. La méthode la plus pertinente pour mesurer *in vivo* ces dysfonctions est l'électroencéphalographie. Il est proposé d'en explorer les avantages, à savoir, la possibilité d'évaluer la cinétique de pénétration cérébrale du solvant, mettre en évidence des marqueurs neurophysiologiques précoces d'exposition aiguë et améliorer la sensibilité des méthodes en s'affranchissant des délais incompressibles entre la fin de l'exposition et des mesures sensorielles. Ce protocole permettra de déterminer si un contact court avec un solvant génère un risque de perturbation cérébrale qui peut se traduire par des chutes, un manque d'attention ou des mauvaises manipulations du salarié.

2015 → 2018

## Adaptation, à l'épidémiologie professionnelle, des nouvelles méthodes d'estimation de l'excès de risque développées dans le cadre du projet Censur (projet ANR)

■ Michel GRZEBYK et Guy HEDELIN

*Département épidémiologie en entreprise*

### Exposé des motifs et objectifs

Cette étude représente la contribution du département épidémiologie en entreprise au projet Censur, financé par l'ANR, réalisé en collaboration avec sept partenaires externes de recherche (dont quatre internationaux). Elle a pour but d'améliorer les méthodes utilisées en épidémiologie dans le domaine santé au travail. En épidémiologie, on compare la fréquence d'événements de santé dans une cohorte de travailleurs exposés à celle constatée dans une population de référence, pour laquelle des données en fonction de l'âge existent. Cependant, cette population de référence n'est pas nécessairement représentative des travailleurs qui ne seraient pas exposés.

Des biais de sélection peuvent intervenir tel que « l'effet du travailleur sain » pouvant mener à une sous-estimation du risque. L'objectif de cette étude était de proposer des solutions pour corriger ces biais.

### Démarche

Les biais mentionnés proviennent de l'inadéquation aux cohortes de travailleurs des tables de référence utilisées (tables définies pour la population générale) dans les analyses de survie relative. Un modèle incluant un terme de correction des tables de référence a été considéré pour éliminer ces biais. La démarche entreprise s'articule en trois actions : développement d'un modèle théorique de correction de table de référence, développement d'un logiciel de calcul permettant d'appliquer ce modèle, validation du modèle par des simulations.

### Résultats principaux

Un nouveau modèle de correction basé sur une transformation semi-paramétrique de la table de référence a été proposé. Un logiciel de calcul permettant d'appliquer ce modèle a été développé. Il a d'abord été testé sur des données épidémiologiques simulées. Pour cela, une population de travailleurs virtuelle, qui suit une table de référence modifiée, a été construite. Cette population fictive a ensuite été soumise à une exposition simulée, qui déclenchait des événements de santé suivant une relation exposition-santé bien précise. On simule ainsi un jeu de données issu d'une étude de cohorte, à ceci près que la relation exposition-santé est connue. Le modèle a ensuite été appliqué sur cette cohorte virtuelle pour comparer la relation exposition-santé trouvée par le modèle à celle de départ. Il apparaît que l'estimation de la relation exposition-santé est biaisée si on n'applique pas le modèle de correction de table de référence. Le biais disparaît lorsqu'on applique un modèle de correction de la table de référence. D'autre part, le modèle a été testé sur une cohorte d'égoutiers qui avait fait l'objet d'une étude de l'INRS. On constate que la prise en compte de la correction de la table de référence mène à une estimation plus élevée des risques professionnels sur la santé.



© Serge MORILLON / INRS



## Discussion

La validation de ce modèle par simulation montre que la méthode de correction de la table de référence semble viable. Elle explicite dans quelles circonstances elle mène à des corrections significatives des résultats d'études épidémiologiques. Son implémentation logicielle dans un environnement de calculs scientifiques couramment utilisé dans la communauté scientifique permet l'utilisation des méthodes de survie relative à l'épidémiologie en santé au travail, conduisant à une évaluation plus pertinente de la relation exposition-santé.

2016 → 2019

### Amélioration de l'analyse statistique de données biométriologiques : application au béryllium et au chrome

■ Aurélie REMY

*Département toxicologie et biométriologie*

■ Thèse de doctorat : Aurélie REMY

*Université de Lorraine - Pascal WILD*

Il est courant de relever des niveaux d'exposition atmosphériques et biologiques en dessous des seuils de quantification. L'étude porte sur l'optimisation d'une méthode de traitement statistique pour répondre à cette problématique. Elle est appliquée pour exploiter les données inorganiques qui n'ont pas pu l'être, particulièrement les données d'exposition professionnelle au béryllium et au chrome. Les expositions biologiques recueillies (substances organiques et inorganiques) alimenteront la constitution d'une base de données biométriologiques.

## ► CONNAISSANCE DES EXPOSITIONS

2013 → 2019

### Prévention des risques chimiques et biologiques dans les unités de méthanisation (projet Mambo / Ademe)

■ Patricia DIRRENERBERGER

*Département ingénierie des procédés*

Ces travaux visent à renforcer la connaissance des nuisances chimiques et biologiques liées aux paramètres influents des procédés de méthanisation. Une cartographie des secteurs d'activité et des procédés mis en œuvre est réalisée. Des campagnes métrologiques des composés gazeux, des poussières et bio-contaminants sont conduites, et des corrélations entre émissions et procédés de méthanisation sont recherchées en vue de proposer des solutions pour la réduction des risques.

2017 → 2020

### Qualité de l'air intérieur dans les espaces de stockage

■ Laurence ROBERT et Romain GUICHARD

*Département ingénierie des procédés*

■ Thèse de doctorat : Florent CARON

*Institut Mines-Télécom Lille Douai - Frédéric THEVENET*

Cette étude traite de la qualité de l'air intérieur dans les espaces de stockage tels les halls, commerces ou zones tertiaires adjacentes, dans lesquels sont entreposés des produits manufacturés ayant un fort pouvoir d'émission de composés organiques volatils. L'objectif est d'évaluer la qualité de l'air dans ces espaces, d'en déduire l'exposition chronique des salariés qui y évoluent et de mettre en place un outil prévisionnel des expositions. Cet outil permettra d'élaborer des solutions relatives aux stratégies de ventilation, aux paramètres environnementaux ou à l'agencement des lieux, applicables dès la conception de ces espaces.



2016 → 2019

## Évaluation des risques chimiques et biologiques liés aux émanations de brouillards d'huile en milieu industriel

■ Ronan LEVILLY

*Département ingénierie des procédés*

L'étude proposée vise à identifier les substances chimiques et biologiques pouvant être présentes dans les familles de fluides de coupe. Les connaissances obtenues doivent permettre d'évaluer plus finement les expositions des salariés et d'alimenter la réflexion des épidémiologistes, des toxicologues, des métrologues et des préventeurs sur la problématique des brouillards d'huile. Les résultats obtenus permettront également aux entreprises d'ajuster leur évaluation du risque et d'adapter leur démarche de prévention.

2017 → 2021

## Exposition aux fluides de coupe et biomarqueurs d'effets précoces : stress oxydant, inflammation et génotoxicité (projet Oxigenocom / Anses)

■ Ève BOURGKARD et Valérie DEMANGE

*Département épidémiologie en entreprise*

■ Fanny JEANDEL

*Département toxicologie et biométrie*

L'absence de données concernant les polluants présents dans les brouillards d'huile, issus de l'utilisation des fluides de coupe, empêche l'identification d'effets sur la santé. L'objectif de cette étude est d'analyser les relations entre différents paramètres détaillant l'exposition professionnelle aux brouillards d'huile et des biomarqueurs d'exposition et d'effet à différents niveaux physiopathologiques (stress oxydant, inflammation, génotoxicité). La connaissance des déterminants de l'exposition ainsi que des conséquences en matière d'effets précoces permettra d'optimiser les actions de prévention des risques professionnels en entreprise.

2017 → 2021

## Contribution à l'initiative européenne de biosurveillance (programme HBM4EU / Commission européenne)

■ Alain ROBERT et Sophie NDAW

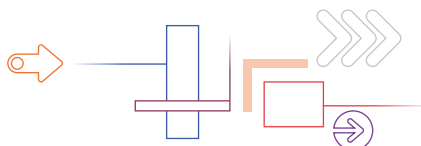
*Département toxicologie et biométrie*

La Direction générale de la recherche a lancé une initiative européenne dont l'objectif est la construction d'un dispositif de biosurveillance européen pérenne. L'action de l'INRS dans ce cadre portera sur la collecte de données d'exposition professionnelle à l'aide de méthodes harmonisées.

L'INRS mettra à la disposition de la plateforme européenne les données dont il dispose sur les groupes de substances prioritaires fixés par la Commission. L'INRS participera également à la construction d'une base de connaissances sur les liens de cause à effet entre exposition et pathologies associées, en se servant, dans un premier temps, du groupe des bisphénols comme modèle.



© Serge MORILLON / INRS



2016 → 2020

### Projection thermique et soudage : évaluation biologique et atmosphérique des expositions au chrome et au nickel

■ Nadège JACOBY et Ogier HANSER

*Département toxicologie et biométrie*

Les objectifs de cette étude consistent à évaluer les expositions professionnelles au Cr et au Ni et leurs effets sur la santé lors des opérations de projection thermique et de soudage (moins exposantes aux particules ultra-fines), par des mesures atmosphériques et des dosages urinaires de biomarqueurs d'exposition et d'effets précoces. Ces travaux visent à proposer une stratégie de surveillance biologique adaptée aux opérateurs exposés à ces deux métaux, utilisable par la médecine du travail.

2017 → 2021

### Recyclage des piles, batteries, accumulateurs : évaluation biologique des expositions aux métaux

■ Ogier HANSER et Nadège JACOBY

*Département toxicologie et biométrie*

Cette étude vise à caractériser les expositions aux métaux des salariés des entreprises faisant de la pyrometallurgie et de l'hydrometallurgie, en fonction des tâches réalisées, de leurs caractéristiques individuelles et des postes de travail concernés. Les expositions associées à différentes opérations (broyage, hydrometallurgie, pyrometallurgie...) seront caractérisées par les concentrations urinaires mesurées des indices biologiques d'expositions, et d'éventuels effets précoces seront recherchés pour compléter cet objectif. L'étude vise, à terme, à fournir aux hygiénistes du travail une liste de biomarqueurs les plus sensibles pour une surveillance biologique adaptée à ces opérations de recyclage.

2018 → 2021

### Etude des émissions de substances dangereuses générées par les procédés de fabrication additive

■ François-Xavier KELLER

*Département ingénierie des procédés*

■ Thèse de doctorat : Mohamed Nour AZZOUAGH

*Mines de Saint-Etienne - Jérémie POURCHEZ*

L'objectif de cette étude est de caractériser les émissions de substances dangereuses générées lors des procédés de fabrication additive. Ces types de fabrication sont en forte expansion dans de multiples secteurs industriels et au sein de TPE. L'étude porte principalement sur les machines à base de métaux et à base de polymères. La caractérisation de la concentration et de la distribution granulométrique des aérosols est effectuée sur sites industriels pour les machines à base de poudres métalliques, en laboratoire pour les machines utilisant des polymères. Les différentes phases d'utilisation (chargement de poudres, ouverture du capotage, récupération de pièces, parachèvement) sont analysées en termes d'émissions et priorisées en fonction de leur risque.



© Serge MORILLON / INRS

2017 → 2020

## Outils de diagnostic de l'atmosphère intérieure d'un conteneur maritime et de l'efficacité de la ventilation forcée lors de l'ouverture



© Serge MORILLON / INRS

■ Bruno GALLAND et François-Xavier KELLER

*Département ingénierie des procédés*

Plusieurs travaux ont révélé que l'atmosphère intérieure des conteneurs maritimes pouvait contenir des gaz et des vapeurs dangereux pour la santé des opérateurs amenés à ouvrir ces espaces confinés, du personnel en charge du transport et de la logistique ou des agents des services douaniers. Ces gaz sont issus soit de la fumigation des conteneurs, soit des émissions des marchandises elles-mêmes. L'étude a pour objectif d'évaluer l'exposition aux gaz et vapeurs de salariés en charge du dépotage des conteneurs, d'étudier des outils d'analyse en temps réel de la qualité de l'air et de mesurer l'efficacité de la ventilation des atmosphères polluées.

## ► PROTECTION COLLECTIVE ET INDIVIDUELLE

2014 → 2019

### Intérêt et limites de l'abattage humide en hygiène industrielle

■ Fabien GÉRARDIN et Emmanuel BELUT

*Département ingénierie des procédés*

■ Thèse de doctorat : Gaël CHERRIER

*Université de Lorraine - Anne TANIÈRE*

L'étude consiste à proposer le laveur humide le mieux adapté au traitement d'émissions de particules et de gaz dans les filières de valorisation des déchets électriques et électroniques, du compostage ou de la transformation du bois, et à valider un modèle numérique dédié à la prédiction de l'efficacité de collecte par des gouttes liquides. Cette étude devrait permettre de définir les intérêts et limites de l'abattage humide et d'élargir l'application à d'autres situations de travail.

2016 → 2019

### Impact du vent sur la robustesse des installations de ventilation

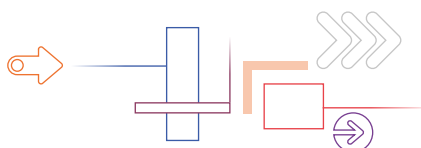
■ Romain GUICHARD

*Département ingénierie des procédés*

■ Thèse de doctorat : Anjali KRISHNAN

*Université Technique d'Eindhoven - Bert BLOCKEN*

L'objectif de l'étude est le développement d'une méthodologie de prédiction de l'impact du vent sur l'efficacité d'un système aéralique (exemples : maintien du confinement de polluants quelle que soit l'intensité de vent sur un chantier BTP, rejet de polluants d'une hotte aspirante soumis à des rafales de vent). L'acquisition de nouvelles connaissances sur le sujet permettra de faire des recommandations à destination des préventeurs et des concepteurs d'installations de ventilation.



2017 → 2020

### Impact des perturbations aérauliques fugitives sur le confinement des enceintes ventilées

■ Sullivan LECHENE et Emmanuel BELUT  
Département ingénierie des procédés

■ Thèse de doctorat : Georges HALIM-ATALLAH  
Université Paris-Est - Stéphane VINCENT

Cette étude repose sur deux approches. D'un point de vue expérimental, la méthode d'essai développée devra mettre en évidence les ruptures du confinement de l'enceinte ventilée soumise à une perturbation aéraulique en régime instationnaire. En parallèle, une approche numérique de type simulation des grandes échelles associée à une description type « frontières immergées » permettra de simuler le mouvement d'une perturbation et de connaître ses effets sur l'enceinte ventilée. L'objectif est de définir des recommandations permettant aux enceintes de rester performantes face aux perturbations aérauliques fugitives rencontrées au sein de l'espace de travail.

2017 → 2021

### Épurateurs d'engins de chantier pour la protection des opérateurs contre les gaz et vapeurs : performances et durée de vie

■ Stéphanie MARSTEAU et Bruno GALLAND  
Département ingénierie des procédés

■ Thèse de doctorat : Cristian CARDENAS SARABIA  
Université de Lorraine - Abderrazak LATIFI

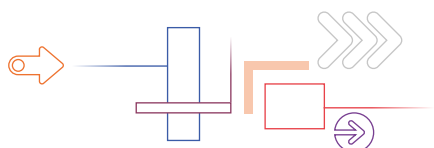
L'étude vise à qualifier les performances des caissons d'épuration des gaz et vapeurs et à proposer une solution technique de détection, en temps réel, de la qualité de l'air intérieur de la cabine d'un engin. Il s'agit d'apporter des éléments de réponse à la question de l'efficacité d'épuration de l'atmosphère toxique par le caisson, et par conséquent de déterminer sa durée de vie.

2018 → 2021

### Procédé de séparation membranaire et procédé d'oxydation : une association pertinente pour le traitement de composés organiques volatils dans les atmosphères de travail ?

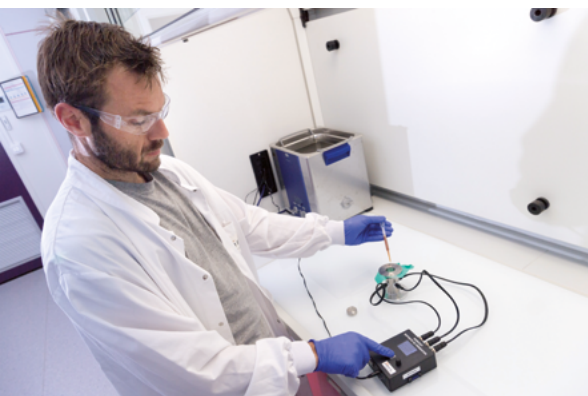
■ Fabien GÉRARDIN  
Département ingénierie des procédés

L'objectif de cette étude est d'évaluer la pertinence de l'association d'une technique séparative telle que la perméation gazeuse et d'un procédé d'oxydation avancée pour le traitement d'un effluent de ventilation contenant des composés organiques volatils (COV). Cette étude devrait également permettre de définir la nature des matériaux et les paramètres de fonctionnement. Le but de cette approche scientifique et technologique est de proposer une solution répondant à la problématique de la réduction de l'exposition professionnelle aux COV employés encore massivement dans l'industrie.



2015 ⇄ 2018

## Développement d'outils d'aide à la protection cutanée



© Serge MORILLON / INRS

■ François ZIMMERMANN

*Département ingénierie des procédés*

### Exposé des motifs et objectifs

Du fait d'un mésusage des protections cutanées face aux risques chimiques, voire d'une absence de port d'équipements de protection lorsqu'il le faudrait, l'utilisation juste et efficace des équipements de protection individuelle constitue un problème récurrent : quels types de matériaux choisir ? Combien de temps sont-ils efficaces ? Et que dire des effets de mélange de produits chimiques ? L'objectif de cette étude est donc d'apporter des éléments méthodologiques de prévention, dans un premier temps par une compréhension des besoins et des freins en entreprise au travers d'une enquête nationale, puis par le développement d'outils pragmatiques d'aide au choix des protections.

### Démarche

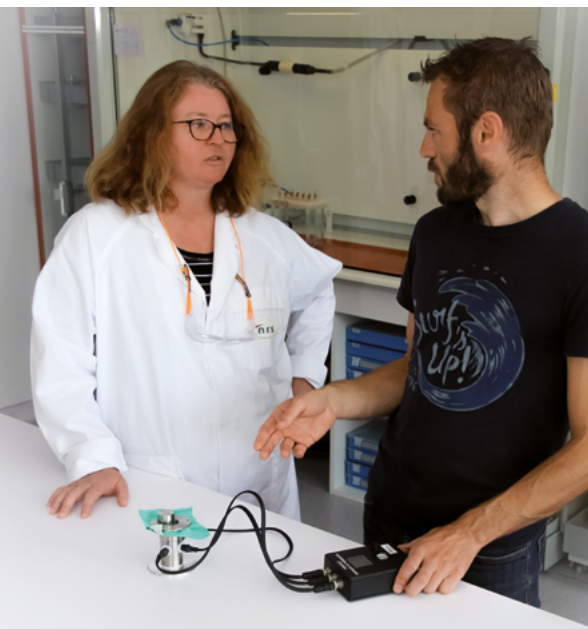
Cette étude comprend trois parties distinctes.

Compte tenu du faible niveau de connaissance sur les pratiques en entreprises entourant les équipements de protection cutanés, une **enquête** a été menée au niveau national pour comprendre le fonctionnement, les besoins et les freins des entreprises en termes de prévention du risque cutané.

En s'appuyant sur les constats et conclusions de cette enquête ainsi que sur les retours d'expériences de la première version du logiciel web Protecpo, deux outils d'aide au choix des protections cutanées ont été développés : **Protecpo** qui présélectionne des matériaux de protection sur la base d'une modélisation à évolué pour mieux répondre aux besoins des utilisateurs et le dispositif expérimental **Permtest** qui renseigne sur les durées de résistance des protections aux produits chimiques.

### Résultats principaux

L'enquête sur la protection cutanée montre une méconnaissance des durées de résistance des protections portées, voire une absence de connaissance sur l'existence même du passage des produits chimiques au travers des protections cutanées. L'enquête montre également qu'au regard de la diversité des situations de travail, les préventeurs et utilisateurs de produits chimiques ne disposent pas d'une méthodologie claire pour une prévention efficace du risque d'exposition cutanée. Pour



© Serge MORILLON / INRS

compléter par des éléments méthodologiques répondant plus concrètement aux besoins des acteurs de la prévention en entreprise, l'INRS a développé au cours de cette étude deux outils d'aide au choix des protections cutanées : le logiciel Protecpo en partenariat avec l'IRSST (Institut québécois de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail) et le dispositif expérimental Permtest. Ces deux outils sont complémentaires pour choisir des EPI cutanés adaptés aux situations de travail. Protecpo a été développé en 2011. Il s'agit d'un outil\* qui présélectionne des matériaux de protection adaptés, sur la base d'une simulation en ligne de la composition des produits chimiques utilisés. Il a évolué de manière conséquente dans le cadre de la présente étude, pour permettre de répondre plus spécifiquement aux besoins des utilisateurs.

\* <https://protecpo.inrs.fr>

Les trois mises à jour principales sont :

- un élargissement de sa base de données substances (passage de 1 200 à 10 000 substances) ;
- une graduation plus affinée des recommandations pour choisir la protection en fonction des tâches (temps de contact potentiel avec le produit chimique et besoins de dextérité) ;
- une flexibilité de l'outil par la création d'une base de données expérimentales complémentaire aux données issues de la modélisation, rendant possible une amélioration continue de la pertinence des recommandations.

Permtest est un dispositif expérimental pour tester la résistance des protections aux produits. Cela suppose de tester physiquement la protection et le produit qui sont ou seront utilisés. Ce dispositif donne un temps de perméation (temps de passage du produit au travers de la protection) qui n'est toutefois pas à considérer comme un temps de port effectif en situation de travail mais davantage comme un indicateur de résistance. Permtest est actuellement à l'état de prototype pré-industriel et en cours de test dans le réseau prévention (Carsat, Services de santé au travail, Centre de consultations de pathologies professionnelles). Ce dispositif est destiné à être commercialisé via un transfert technologique.

### Discussion

Utilisés conjointement, Protecpo et Permtest peuvent jouer le rôle d'un kit d'outils simples permettant de choisir judicieusement les protections de la peau les mieux adaptées. Cependant, l'enquête a mis en évidence que les déficiences de prévention du risque cutané ne concernent pas seulement la question du choix des équipements de protection. La prévention du risque cutané souffre du manque de méthodologie à la fois globale et ajustée, tant la nature et les quantités de produits utilisés, leurs fréquences et leurs temps d'utilisation, les procédés et opérations employés, les besoins en confort et dextérité, ainsi que les connaissances et les attentes sont variables d'une entreprise à l'autre. Les deux outils d'aide au choix des protections cutanées, Protecpo et Permtest, peuvent être vus comme une étape vers une réflexion plus globale sur les besoins et moyens développés pour protéger la peau au travail vis-à-vis des produits chimiques.

2018 ↔ 2021

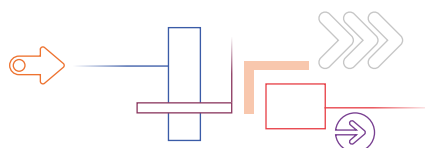
## Impact de l'exposition aux mélanges multiphasiques gaz-particules sur l'efficacité des appareils de protection respiratoire (APR)

■ Sandrine CHAZELET et Stéphanie MARSTEAU

*Département ingénierie des procédés*

Cette étude a pour objectifs :

- la mesure des performances de différents appareils de protection respiratoire filtrants vis-à-vis d'un mélange gaz / particules de natures chimiques et granulométrie choisies,
- l'analyse les interactions entre ces polluants et l'appareil et
- l'évaluation de l'incidence de l'utilisation de différentes cartouches combinées et de leur colmatage au cours du temps sur ces performances. Les résultats enrichiront les recommandations pour le choix des appareils de protection respiratoire lors de situations d'exposition à des mélanges de polluants diphasiques et contribueront à l'amélioration des connaissances sur la comparaison entre la pénétration d'un aérosol et celle d'un gaz à l'intérieur d'un masque respiratoire, en fonction notamment de la résistance aéraulique des cartouches filtrantes.





2015 → 2018

## Réduction des émissions de particules de carbone, d'oxydes d'azote et de monoxyde de carbone pour la santé au travail – Applications aux émissions de moteurs Diesel en espaces confinés



© Serge MORILLON / INRS

■ Hubert MONNIER, Marie-Thérèse LECLERC et Denis BEMER  
Département ingénierie des procédés

■ Thèse de doctorat : Florine DELACHAUX  
Université de Lorraine - Cécile VALLIÈRES

### Exposé des motifs et objectifs

En France, près de 800 000 salariés sont exposés aux fumées diesel, identifiées comme cancérigènes. Peu d'études ont été consacrées au fonctionnement discontinu caractéristique des moteurs que l'on retrouve en milieu professionnel. L'objectif est de réduire les émissions des particules de suie et de gaz telles que les oxydes d'azote (NOx : NO, NO<sub>2</sub>) et le monoxyde de carbone (CO) par adsorption. Les connaissances acquises dans le milieu de la filtration diesel ont orienté la recherche vers la qualification des filtres. L'étude de l'adsorption s'est développée afin de proposer un média adsorbant et régénérable.



© Serge MORILLON / INRS

### Démarche

Dans un premier temps, l'objectif a été le développement d'un moyen de mesure simplifié de la concentration en particules, permettant d'effectuer une vérification rapide de la qualité de l'air à l'émission des engins équipés d'un filtre à particules. En parallèle, une approche alternative à la solution catalytique a été développée pour traiter la phase gazeuse. Pour cela, une investigation poussée sur les matériaux de piégeage a été menée. Ensuite, l'étude de l'adsorption des composés sur des zéolithes a permis de conclure sur l'influence de leur nature sur l'adsorption de chacun des gaz considérés. Les influences de la température et de la présence d'eau dans le gaz à traiter ont été étudiées également. La capacité de régénération des zéolithes a été examinée sur plusieurs cycles d'adsorption/désorption afin de valider leur stabilité thermique, d'identifier les sous-produits éventuels formés et de déterminer les paramètres optimaux pour conserver les capacités d'adsorption initiales.

### Résultats principaux

Différents outils de diagnostic de fonctionnement de filtres à particules ont été évalués en laboratoire puis sur des engins de chantier afin d'en déterminer les limites. Le besoin exprimé d'un outil de diagnostic simple s'est traduit par le développement d'un capteur de dysfonctionnement très peu coûteux. L'étude de l'adsorption des NOx et du CO a permis de proposer un média en capacité de retenir en quantité raisonnable le NO<sub>2</sub>. La capture du CO nécessite davantage d'investigations. La zéolithe NaY a représenté le meilleur compromis. La présence de vapeur d'eau dans le flux gazeux entraîne la formation d'acide nitrique, corrosif et irritant, qui reste piégé dans la zéolithe et de NO qui est peu retenu. Cependant,

ce dernier se transforme en NO<sub>2</sub> qui est suffisamment stocké pour évaluer la quantité de zéolithe que nécessiterait un engin du BTP. La régénération de la zéolithe NaY chargée en NOx est possible par désorption thermique à une température de désorption de 200°C avec une rampe de 10°C/min. Cette zéolithe conserve de bonnes capacités d'adsorption même après trois cycles d'adsorption / désorption et un séchage préalable.

## Discussion

Cette étude a abouti au développement d'un outil de diagnostic de fonctionnement de filtres à particules quasi diffusable en l'état. Elle a par ailleurs montré que la masse de zéolithe à mettre en œuvre pour piéger l'intégralité du  $\text{NO}_2$  d'un petit engin de chantier, type tractopelle ou pelleuse (véhicule non routier du BTP de 19 kW), en fonctionnement continu pendant huit heures, était de l'ordre de 12 kg de zéolithe en présence d' $\text{O}_2$  et d'eau (1 % vol.). Par contre, les profils de désorption mettent en évidence la présence de composés inconnus. Leur identification pourrait permettre de mieux comprendre la phase d'adsorption et d'envisager un traitement post régénération afin de limiter le transfert de pollution. L'approche plus prédictive, basée sur la modélisation moléculaire, qui a été choisie dans la nouvelle étude 2019-2022 (voir ci-dessous), pourra permettre de proposer un panel de matériaux plus adsorbants et plus sélectifs. Les chaleurs isostériques calculées permettront d'évaluer l'énergie qu'il faudra apporter pour régénérer le média adsorbant. La température maximale de régénération sera alors étudiée afin de garantir l'efficacité d'adsorption du média.

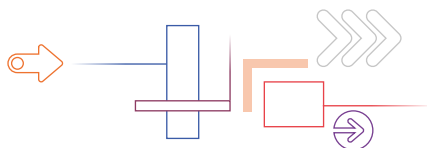
2019 → 2022

## Étude du choix de matériaux adsorbants pour le traitement des oxydes d'azote dans les atmosphères de travail confinées

■ Hubert MONNIER

*Département ingénierie des procédés*

Dans un objectif de réduction et d'épuration à la source des oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) présents dans certaines atmosphères de travail, différents matériaux adsorbants, notamment les zéolithes, sont étudiés pour déterminer leur capacité à capturer le  $\text{NO}$  et le  $\text{NO}_2$  en présence d'eau et de co-polluants. D'autres milieux adsorbants sont considérés, tels les argiles, les silices mésoporeuses et les MOF (Metal Organic Framework). Les résultats seront comparés aux données expérimentales et des mesures seront menées pour étudier la capacité de ces matériaux à être régénérés à l'aide d'une thermobalance et du banc d'essai de l'INRS. Ces données permettront d'identifier un ensemble de matériaux efficaces et pertinents selon les sources d'émissions des  $\text{NO}_x$ , et donc des activités professionnelles considérées.





## » OBJECTIFS SPÉCIFIQUES D'ÉTUDES ET RECHERCHE

Les travaux conduits sur les risques chimiques font également écho à des **préoccupations spécifiques de santé et sécurité au travail**, pour lesquelles des actions ciblées sont entreprises.

C'est ainsi que, outre les trente études liées aux objectifs généraux discutées précédemment, des travaux sont menés sur des substances présentant un danger particulier. Ils portent également sur les axes : développement de méthodes, connaissance des expositions, protection collective et individuelle, toutefois, le choix a été fait de présenter à part les travaux sur ces substances :

- Sept études traitent de substances cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (particules diesel, HAP, chrome VI) ou la mise au point de tests à caractère carcinogène de certaines substances.
- Trois portent sur des substances allergisantes (isocyanates et nickel) ou la mise au point de test générique du caractère allergisant.
- Onze ont trait aux nanoparticules.
- Cinq portent sur les perturbateurs endocriniens (dont trois sont décrites dans le chapitre consacré à la thématique focus « reproduction et travail »).

## ► AGENTS CANCÉROGÈNES, MUTAGÈNES OU TOXIQUES POUR LA REPRODUCTION

2015 ⇄ 2019

### Caractérisation chimique des fumées de bitume



■ Eddy LANGLOIS

*Département métrologie des polluants*

■ Thèse de doctorat : Marie-Astrid DUTOIT

*Université de Lorraine - Raymond MICHELS,  
Pierre FAURE*

La méthode Metropol « Fumées de bitume M-2 », récemment mise au point par l'INRS, est validée pour mesurer les expositions de travailleurs sur les chantiers routiers. Cette méthode doit être étendue à des expositions plus élevées mais également plus faibles. L'objectif de cette étude est de caractériser les émissions de différents bitumes produites en laboratoire, à l'aide d'un dispositif de génération et de condensation des fumées, afin de sélectionner les conditions de détection adaptées à tous les types d'exposition.

2015 → 2019

### Mise au point d'une nouvelle méthode d'évaluation des expositions aux émissions particulaires des moteurs diesel

■ Benoît OURY

*Département métrologie des polluants*

■ Denis BEMER

*Département ingénierie des procédés*

Cette étude vise à développer une nouvelle méthode d'évaluation de la protection des salariés vis-à-vis des particules diesel cancérigènes. La démarche consistera à adapter la méthode thermo-optique de dosage du carbone élémentaire, utilisée pour l'environnement, à l'évaluation professionnelle. Validée dans différentes situations, elle sera ensuite transférée, notamment aux Carsat, sous la forme d'une fiche Metropol et éventuellement d'une formation. Cette mise au point permettra aussi d'évaluer la pertinence d'autres méthodes telles que l'aéthalomètre portable, les compteurs de suies...

2018 → 2020

### Amélioration de la méthode de prélèvement du chrome hexavalent en vue de la détermination de la valeur limite court terme : étude d'instruction

■ Élodie PARDIEU

*Département métrologie des polluants*

L'évaluation des expositions au chrome hexavalent présent dans l'air des lieux de travail demeure complexe, compte tenu de son instabilité et des faibles concentrations qu'il est nécessaire de mesurer. Deux stratégies sont explorées au cours de ce travail qui vise *in fine* la réalisation d'un capteur. La première consiste dans l'étude de la faisabilité de la transposition aux prélèvements d'aérosols des membranes et nanomatériaux, actuellement développés dans le cadre de la dépollution des eaux. La deuxième repose sur l'amélioration de la détection du CrVI par l'utilisation de méthodes analytiques innovantes, et plus particulièrement la transduction électrochimique, gravimétrique ou optique.

2018 → 2020

### Mécanismes moléculaires de la transformation de cellules Bhas 42 induite par des nanoparticules de silice

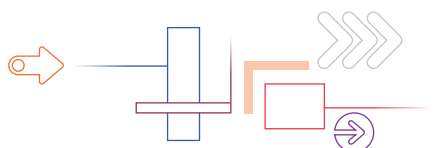
■ Yves GUICHARD et Christian DARNE

*Département toxicologie et biométrie*

■ Thèse de doctorat : Anaïs KIRSCH

*Université de Lorraine - Hervé SCHOHN*

L'objectif de cette étude est de comprendre les mécanismes moléculaires associés à la transformation des cellules Bhas 42, induite par des nanosilices. Une approche par transcriptomique est explorée sur la nanosilice identifiée la plus transformante. On s'intéresse plus particulièrement aux modifications de l'expression des gènes qui font normalement rempart aux processus de transformation, ou au contraire les favorisent. Les gènes d'intérêt qui ressortiront de cette analyse feront l'objet d'une validation biologique, à partir du niveau d'expression de leur ARN messager et des taux protéiques correspondants. L'expression de ces gènes pourrait être étudiée pour d'autres nanosilices afin d'évaluer leur capacité à prédire ces effets transformants. Ces biomarqueurs d'effets pourraient être alors proposés comme support à l'évaluation du danger d'autres nanomatériaux.



2018 → 2022

## Pertinence de tests *in vitro* et *in vivo* pour étudier le potentiel transformant et cancérigène des nanotubes de carbone

■ Carole SEIDEL, Yves GUICHARD et Laurent GATÉ

Département toxicologie et biométrie

■ Thèse de doctorat : Hélène BARTHEL

Université de Lorraine - Athanase VISVIKIS

L'utilisation de nanotubes de carbone dans des activités industrielles et médicales ne cesse de croître. Cependant, les connaissances sur leur toxicité, en particulier en termes d'induction de cancers, restent encore insuffisantes pour statuer sur le risque pour la santé des travailleurs exposés. Cette étude vise, d'une part, à déterminer la pertinence des modèles expérimentaux *in vitro* et *in vivo* pour l'étude du potentiel cancérigène de nanotubes de carbone, voire d'autres nanomatériaux, et, d'autre part, à obtenir des informations sur les propriétés physico-chimiques des nanotubes qui pourraient éventuellement être responsables du potentiel cancérigène de certains d'entre eux.

2014 → 2018

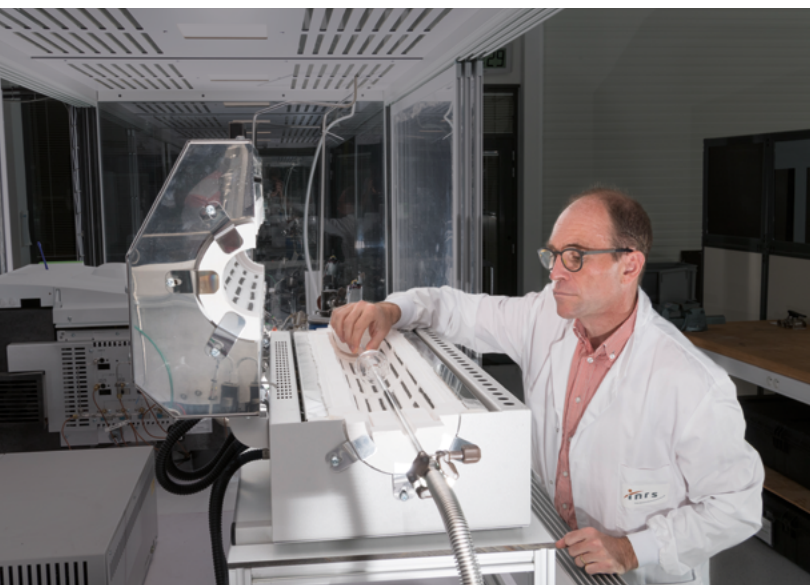
## Réduction à la source des hydrocarbures aromatiques polycycliques lors des opérations de pyrolyse

■ Hubert MONNIER

Département ingénierie des procédés

■ Catherine CHAMPMARTIN

Département toxicologie et biométrie



© Serge MORILLON / INRS

### Exposé des motifs et objectifs

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont des composés organiques qui se forment lors de réactions de pyrolyse et qui sont connus pour être cancérigènes. La cémentation est l'une des activités qui met en œuvre ces réactions de pyrolyse. Elle s'est révélée être une source importante d'exposition aux HAP lors d'opérations de maintenance et de nettoyage. En effet, à la sortie des fours, la température chute brusquement et les HAP formés se condensent. L'objectif est de réduire « à la source » la quantité de HAP formée. Pour cela, il a fallu comprendre les phénomènes de formation des HAP lors de la pyrolyse d'un hydrocarbure afin de trouver des conditions opératoires appropriées pour l'industriel et la santé des salariés.

### Démarche

Pour comprendre la formation des HAP lors de la pyrolyse d'hydrocarbures, un mécanisme chimique, constitué de réactions chimiques élémentaires, dont les lois de vitesses sont connues (loi d'Arrhenius), est développé à partir de données issues de la littérature. L'outil, appelé plus couramment modèle cinétique détaillé, permet de connaître la concentration des différents produits en fonction de la pression, la température, le temps de séjour et la nature de l'hydrocarbure. Pour résoudre ce problème complexe de cinétique chimique, le logiciel Chemkin est utilisé.

Les résultats des simulations ont été validés par des expériences de pyrolyse d'acétylène, réalisées à 900°C et 8 kPa (conditions industrielles). Un réacteur dit « piston » et un réacteur dit « parfaitement agité » ont été utilisés. En sortie du réacteur, les produits légers (<C7) sont analysés en ligne à partir d'un chromatographe en phase gazeuse (GC). Les produits lourds sont analysés en différé, à l'aide d'un GC couplé avec un spectromètre de masse, après avoir été condensés dans un piège à froid constitué d'un échangeur de chaleur et d'un vase Dewar rempli d'azote liquide à 77K.

### Résultats principaux

Le modèle cinétique développé comporte 1 255 réactions et plus de 500 espèces chimiques. Il décrit bien les premières étapes de la pyrolyse, malgré des écarts observés pour certains composés, notamment l'hydrogène et le méthane, qui peuvent être dus aux incertitudes expérimentales. Concernant les HAP, les bons ordres de grandeur sont globalement obtenus avec le modèle sauf pour les HAP les plus lourds qui sont sous-estimés. Enfin, on montre que la pyrolyse de l'acétylène produit globalement plus de HAP que celle du propane et de l'éthylène. Toutefois, ces derniers sont plus stables et réagissent ainsi plus difficilement à la surface d'un acier. Ce n'est pas le cas des molécules d'acétylène. Ainsi, ramené à la quantité de gaz utile pour la cémentation, il apparaît que le propane et l'éthylène génèrent près de 4 fois plus de HAP que l'acétylène.

### Discussion

Ces avancées ont permis de mettre en avant des solutions de prévention collective comme l'utilisation d'un milieu dilué, la présence de marqueurs chimiques comme le vinylacétylène et le naphthalène, ou la nécessité d'optimiser le mode pulsé de l'acétylène choisi par les industriels. Le modèle développé et validé sera utilisé pour proposer des conditions opératoires de fonctionnement. Elles demanderont toutefois à être validées par des expériences sur pilote industriel. Actuellement, les industriels utilisent une alimentation alternée entre un courant d'acétylène et un courant d'azote. Ces cycles pourraient être optimisés afin de réduire la formation des HAP. Pour cela, un travail de modélisation et d'optimisation des transferts de la phase gazeuse à la phase solide couplé à de la réaction chimique fera l'objet de nouveaux travaux qui démarreront en 2019 (voir ci-dessous). Des expériences sur des pilotes industriels permettront de corroborer les résultats obtenus

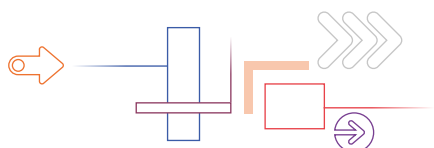
2019 → 2022

## Modélisation et optimisation des procédés de traitement thermique de surface pour une réduction des émissions de HAP – Application à la cémentation gazeuse basse pression

■ Hubert MONNIER

*Département ingénierie des procédés*

De récents travaux ont permis de comprendre les mécanismes de formation des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) lors du traitement thermique de surface, notamment en cémentation gazeuse basse pression, où les opérateurs sont potentiellement exposés. L'objectif de cette étude est de contrôler les conditions réactionnelles afin de diminuer la production de HAP. Pour cela, le protocole qui consiste à alimenter le four en hydrocarbures sera modélisé et optimisé. Le code de calcul développé permettra de définir les paramètres optimaux (température, pression, temps de séjour, nombre de cycle, durée de la cémentation, etc.) pour limiter la génération de HAP toxiques lors des réactions de pyrolyse. Ces travaux visent à mettre à disposition des industriels une application informatique. Ils seront appliqués à d'autres procédés comme la densification carbone ou la cémentation atmosphérique.



## ▶ ALLERGIES PROFESSIONNELLES

2013 → 2018

### Le nickel et ses composés : état des lieux et caractérisation de l'exposition



© Serge MORILLON / INRS

■ Barbara SAVARY et Andréa EMILI  
Département métrologie des polluants

#### Exposé des motifs et objectifs

Le nickel est présent dans de nombreux domaines : de la métallurgie au secteur tertiaire en passant par la fabrication et la réparation de machines-outils. Les composés du nickel (sulfates, sulfures, oxydes...) sont classés par le Centre international de recherche sur le cancer (Circ) comme « cancérigènes pour l'homme » (Catégorie 1A) alors que le nickel sous forme métallique est classé comme « cancérigène présumé pour l'homme » (Catégorie 1B). En France, les sels et les oxydes de nickel sont à l'origine d'affections cutanées et respiratoires professionnelles, reconnues maladies professionnelles par l'intermédiaire des tableaux 37, 37bis et 37ter du régime général. L'étude avait pour

objectifs de dresser un bilan des utilisations du nickel et de ses composés et d'identifier les secteurs d'activité concernés afin d'évaluer les niveaux d'exposition professionnelle par le biais de la base de données Colchic puis d'estimer le nombre de salariés potentiellement exposés.

#### Démarche

Après une synthèse des données de la littérature (production, utilisation et toxicologie), cette étude a dressé un état des lieux des expositions professionnelles à partir des données enregistrées dans la base de données d'exposition professionnelle Colchic, mises en comparaison avec les données d'autres bases internationales. Une estimation du nombre de salariés potentiellement exposés a aussi été réalisée. Des visites d'établissement ont permis de compléter ces données.

#### Résultats principaux

Les niveaux d'exposition par inhalation sont faibles : plus de 75 % des mesures effectuées de 1987 à 2017 sont inférieures à 10 % de la VLEP-8h (1 mg Ni/m<sup>3</sup>) et moins de 2 % des mesures sont supérieures à cette valeur. Les mesures ont été réalisées plus fréquemment dans les industries manufacturières et plus précisément lors de tâches d'usinage et de soudage, plus particulièrement lors d'opération de soudage à l'arc électrique. Sur les 10 dernières années (2008-2017), le traitement et revêtement des métaux est le secteur dans lequel les expositions sont les plus élevées [ $<0,001$ –16,65 mg Ni/m<sup>3</sup>]. L'exposition cutanée concerne les postes de travail mais également les surfaces pouvant être en contact avec les salariés (poignées de porte, claviers d'ordinateurs...). Les niveaux sont compris entre  $<0,01$  et 223 mg/m<sup>2</sup> sur ces surfaces et entre  $<0,01$  et 38,6 mg/m<sup>2</sup> sur le derme des salariés. La mise au point d'une méthode de prélèvement surfacique standardisée permettra d'améliorer la connaissance de ces expositions. L'impact d'une diminution de la VLEP-8h à 0,03 mg Ni/m<sup>3</sup> pour la fraction inhalable, préconisée par l'Agence européenne des agents chimiques (Echa), a été évalué : la proportion de situations de travail évaluées entre 2008 et 2017 et dépassant cette valeur est de 9,4 %. Le nombre de salariés potentiellement exposés sur leur lieu de travail est estimé entre 99 541 et 147 340, dont 7 % travailleraient dans le secteur manufacturier. Les cas de maladies professionnelles et d'allergie sont relativement stables au cours des dernières années. Au regard du nombre de pathologies déclarées vis-à-vis du nombre de personnes potentiellement exposés, la prise en compte du risque nickel par les établissements semble effective et s'est confirmée lors des visites d'établissement réalisées dans le cadre de l'étude.

## Discussion

L'étude a montré que les connaissances sur la production, l'utilisation et la toxicité du nickel sont relativement bien documentées et ont fait l'objet de nombreuses revues de la bibliographie. Les niveaux d'exposition professionnelle sont faibles et les postes de travail les plus exposants sont les postes dont le procédé émet des particules (ponçage, projection thermique...). Pour l'exposition cutanée, les sels de nickel sont la cause de l'allergie déclarée par le salarié. De manière générale, le risque est relativement bien maîtrisé. Cependant, en vue de la possible diminution de la VLEP proposée par l'Echa, les principes de prévention au sein de certaines entreprises devront être revus.

2016 → 2019

## Développement de protocoles analytiques standardisés pour la recherche d'allergènes dans les gants de protection

■ Danielle JARGOT

*Département métrologie des polluants*

L'étude a pour objectif de définir et valider des protocoles analytiques efficaces pour la mise en évidence des allergènes dans les gants de protection. Les sensibilisants les plus incriminés, les allergènes émergents et ceux posant des difficultés de diagnostic seront traités en priorité. Ces analyses visent à développer un outil d'investigation complémentaire au bilan du dermato-allergologue pour prévenir les risques de dermatose allergique, vérifier l'efficacité des gants de protection utilisés par les salariés diagnostiqués, et *in fine*, permettre leur maintien en poste.

2018 → 2020

## Développement de méthodes de prélèvement et d'analyse d'isocyanates sous forme vapeur et particulaire

■ Marianne GUILLEMOT

*Département métrologie des polluants*

Les composés isocyanates sont des agents chimiques irritants et sensibilisants pour les voies respiratoires et la peau. En fonction de leur pression de vapeur, les isocyanates sont susceptibles d'être présents à la fois sous forme gazeuse et particulaire dans l'atmosphère (aérosol). L'objectif de cette étude est de proposer un dispositif alternatif efficace pour le prélèvement des aérosols d'isocyanates, sous forme de monomères et d'oligomères. En complément, la méthode d'analyse par chromatographie liquide haute performance et détection à la lumière ultraviolette sera développée afin de quantifier chaque isocyanate séparément mais également de manière globale par le dosage de la quantité totale de fonctions NCO.

2017 → 2020

## Mesure des performances du modèle *in vitro* BMDC pour l'évaluation du potentiel sensibilisant de substances chimiques

■ Fabrice BATAIS et Isabelle SPONNE

*Département toxicologie et biométrie*

Les allergies professionnelles provoquées par l'exposition des salariés à des produits chimiques sont un problème important de santé au travail. Cette étude vise à évaluer les performances du modèle BMDC sur un panel important de substances chimiques. S'il s'avère performant en termes d'exactitude, de sensibilité et de spécificité, il sera proposé au Centre européen pour la validation des méthodes alternatives (ECVAM) dédiées à la détection de nouvelles substances potentiellement sensibilisantes.



2017 → 2021

## Développement d'un test pour l'évaluation du potentiel sensibilisant des substances chimiques industrielles : apport des connaissances des mécanismes intracellulaires impliqués

■ Isabelle SPONNE et Fabrice BATAIS  
Département toxicologie et biométrie

■ Thèse de doctorat : Adrien AUDRY  
Université de Lorraine – Brigitte LEININGER-MULLER

L'objectif de cette étude est de connaître l'implication de différentes voies de signalisation dans la réponse cellulaire à des sensibilisants cutanés et respiratoires. Ces travaux seront dans un premier temps conduits sur un modèle de cellules dendritiques dont le rôle central dans la physiopathologie des allergies cutanées ou respiratoires est reconnu, puis sur d'autres types cellulaires d'intérêt. Ils visent à fournir, *in fine*, des biomarqueurs qui pourront être intégrés dans un test prédictif du potentiel sensibilisant, en cours de développement.

## ▶ NANOPARTICULES ET PARTICULES ULTRAFINES

2014 → 2018

## Performance de la métrologie en temps réel appliquée aux aérosols de nanoparticules



© Serge MORILLON / INRS

■ Sébastien BAU et Olivier WITSCHGER  
Département métrologie des polluants

### Exposé des motifs et objectifs

La caractérisation des expositions professionnelles aux aérosols de nanoparticules repose sur la mise en œuvre de méthodes de mesure dont le développement et la validation constituent des enjeux de recherche importants depuis plusieurs années. C'est ainsi que de nouveaux instruments sont apparus et que, par ailleurs, sur la base d'instruments existants des travaux visant à documenter les expositions au travers de campagnes de mesurages ont été réalisés. Néanmoins, il est difficile de faire une synthèse de ces expositions en raison notamment de la variété des instruments mis en œuvre et du manque d'information concernant leurs performances. Par conséquent, accroître les connaissances sur l'instrumentation relative aux aérosols de nanoparticules est une étape préliminaire à son déploiement plus large en hygiène industrielle. D'autre part, comme le préconise l'INRS, en complément aux prélèvements d'aérosols qui renseignent sur l'exposition moyenne des salariés, la mise

en œuvre de techniques de mesure en temps réel des aérosols est essentielle. Dans ce contexte, cette l'étude a été focalisée sur la métrologie en temps réel des aérosols sur deux objectifs : la mesure de la distribution granulométrique en nombre des aérosols de nanoparticules et la mesure de leur concentration en nombre.



## Démarche

La démarche adoptée s'est articulée en cinq étapes :

- disposer d'outils permettant de générer des aérosols de distribution granulométrique ou de concentration en nombre maîtrisées ;
- procéder à une étude métrologique de l'instrumentation de référence au moyen d'un protocole de vérification ;
- définir un équipement de référence dédié à un usage de laboratoire ;
- mener des campagnes d'intercomparaison de l'instrumentation susceptible d'être déployée en hygiène industrielle par comparaison avec l'instrumentation de référence ;
- partager et diffuser les connaissances (protocoles d'utilisation, fiche Metropol, publications et communications scientifiques, etc.) et conclure sur les champs d'applications ainsi que les limitations des différents systèmes.

## Résultats principaux

Les travaux menés ont permis de :

- développer un protocole de vérification d'instruments de référence (granulomètre à balayage de mesure par mobilité), élaboré dans le cadre d'un essai inter-laboratoires au niveau national ;
- acquérir un retour d'expériences conséquent sur les performances des dispositifs de mesure de la taille des aérosols submicroniques portables ;
- développer une approche permettant d'obtenir la distribution granulométrique en atmosphères de travail qui soit relativement simple à mettre en œuvre ;
- concevoir et étudier un nouveau banc d'essais pour la vérification des compteurs de noyaux de condensation ;
- développer une expertise sur les performances de multiples modèles de compteurs de noyaux de condensation, dédiés à une utilisation en laboratoire ou sur le terrain ;
- proposer une première fiche Metropol sur l'utilisation de ces compteurs sur le terrain.

Cet ensemble de connaissances acquises par l'INRS a fait l'objet de neuf communications internationales, huit communications nationales, dix publications internationales et quatre publications en revues prévention. Cette étude a également permis d'enrichir les volets « métrologie » de sessions de formation proposées par l'INRS à destination des préventeurs.



© Serge MORILLON / INRS

## Discussion

Au-delà de l'organisation de la Journée technique consacrée à la métrologie en temps réel (12/02/2019), les perspectives de recherche sont nombreuses, parmi lesquelles se trouvent le sujet de l'analyse et du traitement des données ou bien celui de la métrologie en temps réel dédié à d'autres métriques, qui devrait être instruit dès 2019. Par ailleurs, étant donné que de plus en plus d'acteurs du réseau prévention s'équipent, il est important de poursuivre l'accompagnement des Carsat dans l'utilisation de la métrologie en temps réel.

2014 → 2018

## Normalisation des activités concernant les nanotechnologies et les nanomatériaux (projet NanoCEN / Commission européenne)



© Serge MORILLON / INRS

■ Olivier WITSCHGER et Sébastien BAU  
Département métrologie des polluants

### Exposé des motifs et objectifs

Les États-Unis, l'Europe et le Japon ont chacun initié il y a maintenant près de quinze ans des programmes ambitieux visant à promouvoir le développement des nanomatériaux. Avec la montée en puissance de ces programmes, s'est posée la question des risques pour la santé humaine et l'environnement. Ainsi, en Europe, de nombreux programmes ont été financés avec l'objectif d'évaluer les risques que présentent les nanomatériaux dans des conditions d'exposition réalistes.

L'INRS a participé à certains de ces projets financés par la Commission européenne, qui ont permis le développement de connaissances et de méthodes (caractérisation, toxicologie expérimentale, métrologie des expositions, etc.). La nécessité est ensuite apparue de développer des documents normatifs permettant d'harmoniser les différentes approches développées en Europe, notamment à

des fins de prévention. C'est ainsi que le mandat M/461 a vu le jour énonçant des priorités parmi lesquelles se trouvent le développement de méthodes pour la « caractérisation des nanomatériaux et des expositions aux nanomatériaux », et que le projet européen dénommé « NanoCEN » a été conduit en réponse à ce mandat.

L'objectif du projet NanoCEN était d'aboutir, au travers de 4 sous-projets, à 8 documents normatifs portant sur :

- NanoCEN 1 : la mesure de la concentration en nombre à l'aide de compteur de noyaux de condensation.
- NanoCEN 2 : la stratégie de caractérisation des expositions par inhalation aux nano-objets, leurs agrégats et agglomérats (NOAA).
- NanoCEN 3 : le mesurage des aérosols dans le cadre de la caractérisation des expositions aux NOAA.
- NanoCEN 4 : la mesure de la pulvéulence de matériaux contenant ou émettant des NOAA ou autres particules dans la fraction alvéolaire.

L'INRS a participé à l'ensemble des projets et était le porteur du quatrième.

### Démarche

Les sous-projets s'articulaient en deux parties : une première partie dite de recherche prénormative et une deuxième partie de développement de documents normatifs.

## Résultats principaux

### NanoCEN 1

Porté par l'Institut für Arbeitsschutz (IFA), une campagne d'intercomparaison d'un grand nombre de CNC a été organisée en Allemagne en novembre 2013. Douze équipes de recherche, dont une de l'INRS, ont participé à cet exercice. Les résultats obtenus sur 28 conditions de génération d'aérosols submicroniques ont été analysés avec le concours de l'INRS. L'ensemble des résultats a fait l'objet d'un rapport sur lequel s'est appuyé le développement de la norme maintenant publiée.

### NanoCEN 2

Porté par le centre de recherche appliquée néerlandais TNO, le travail a consisté dans un premier temps à faire une analyse critique des différentes stratégies de mesurage des expositions publiées. Ce bilan (intégrant les préconisations de l'INRS) a ensuite été discuté lors de plusieurs ateliers de travail. Le rapport de recherche a permis d'élaborer une norme actuellement en vote formel.

### NanoCEN 3

Porté par l'Institute for Energy and Environmental Technology (IUTA), la partie recherche prénormative a été similaire à celle du sous-projet du projet NanoCEN 1. Une campagne d'inter-comparaison, menée avec neuf équipes de recherche, dont celle de l'INRS, a permis d'étudier une trentaine d'instruments de mesure différents dans neuf conditions de génération d'aérosols submicroniques. Le rapport de recherche a permis de développer une norme actuellement en vote formel.

### NanoCEN 4

Porté par l'INRS et mobilisant cinq autres partenaires européens (TNO, IGF, HSL, CIOP-PIB, NRCWE), la recherche prénormative avait pour but d'harmoniser 4 méthodes de pulvérencence différentes représentant différents scénarios d'émission (tambour rotatif, chute continue, petit tambour rotatif et vortex shaker), et de produire des données caractérisant la pulvérencence de poudres qui puissent alimenter le développement des documents normatifs. L'harmonisation, étape préalable indispensable à la normalisation, a concerné plusieurs étapes essentielles que sont la préparation et le conditionnement des échantillons de poudres, la ligne d'échantillonnage et les conditions aérauliques d'essai, la méthodologie de mesure et le traitement des données. Pour les expérimentations, dix matériaux produits en France, en Europe et aux Etats-Unis et utilisés à grande échelle sous forme de poudre dans l'industrie et faisant partie a priori de la catégorie des nanomatériaux ont été choisis et caractérisés : deux  $BaSO_4$ , deux  $CaCO_3$ , quatre  $TiO_2$  et deux  $SiO_2$  amorphes. Pour chaque matériau, des expériences ont été réalisées avec les quatre méthodes dupliquées dans deux instituts. De nouveaux paramètres sont proposés pour qualifier la pulvérencence des nanomatériaux en poudre en plus de l'indice en masse : indice de pulvérencence en nombre et indice de pulvérencence en surface, taux d'émission en nombre de particules. L'ensemble du programme expérimental a conduit à une base de données de pulvérencence d'environ 250 valeurs pour chaque paramètre.

Sur la base de ces travaux, cinq normes de la série EN17199 ont été développées : une première qui porte sur des généralités et quatre autres qui concernent chacune une méthode de pulvérencence différente.

## Discussion

Ce projet a atteint ses objectifs et les documents normatifs prévus ont été développés. Ces travaux étaient nécessaires pour permettre des actions cohérentes au niveau européen en termes de prévention.

Au-delà de ces produits finaux, les travaux réalisés ont permis de souligner de nouvelles perspectives de recherche (et de normalisation pour certaines) sur :

- le développement de méthodologies de caractérisation des nanomatériaux ;
- l'étude de paramètres d'influence sur la pulvérencence ;
- les performances d'instruments de métrologie en temps réel vis-à-vis des aérosols générés à partir de poudres ;
- le développement d'une méthodologie de prélèvement et le développement d'outils opérationnels pour l'analyse de particules collectées (agglomérats, agrégats) par microscopie électronique.

Certaines de ces perspectives ont déjà été intégrées dans des travaux de recherche à l'INRS, comme par exemple l'étude « nanomatériaux et expositions professionnelles lors d'opérations mettant en œuvre des poudres ».

2016 → 2020

## Optimisation des méthodes de prélèvement des particules ultrafines d'aérosols métalliques par des impacteurs en cascade

■ Virginie MATERA et Élodie PARDIEU  
*Département métrologie des polluants*

Les objectifs de cette étude visent à évaluer les performances de différents impacteurs et à proposer une méthode efficace et reproductible pour le prélèvement des particules ultrafines, dans un contexte d'exposition aux particules métalliques. Ce dispositif a pour but de rendre accessible aux spécialistes de la prévention, la méthode de mesure de la granulométrie et l'analyse chimique des aérosols.

2016 → 2019

## Caractérisation multiparamétrique des particules ultrafines métalliques

■ Davy ROUSSET  
*Département métrologie des polluants*

La petite taille des nanoparticules leur confère une réactivité élevée liée à l'augmentation de leur surface spécifique et de leur solubilité. Cette réactivité chimique se traduit par une plus grande capacité à causer un stress oxydant au niveau cellulaire, principal mécanisme responsable de la toxicité de ce type de particules. Cette étude permettra de disposer d'une méthodologie pour caractériser de manière plus spécifique les expositions aux particules ultrafines et d'évaluer l'utilité de cette caractérisation pour l'interprétation des effets observés sur l'organisme.

2016 → 2019

## Nanomatériaux et expositions professionnelles lors d'opérations mettant en œuvre des poudres : étude des relations entre propriétés physico-chimiques des poudres et caractéristiques des aérosols émis sur les lieux de travail

■ Olivier WITSCHGER et Sébastien BAU  
*Département métrologie des polluants*

■ Thèse de doctorat : Claire DAZON  
*Université Aix-Marseille - Philippe LLEWELLYN*

Face à la diversité des nanopoudres et des scénarios d'exposition professionnelle, les objectifs de l'étude sont de mettre au point une démarche de caractérisation des poudres afin de permettre de déterminer leur catégorie, de développer des méthodes permettant d'étudier l'émission d'aérosols de nanopoudres et d'établir des relations entre la granulométrie des aérosols obtenus en laboratoire et ceux auxquels sont potentiellement exposés les salariés, par le biais d'études de postes en entreprise. Ces travaux alimenteront les préconisations françaises en matière d'évaluation des expositions professionnelles par le biais des méthodes qui auront été développées.

2015 → 2019

## Évaluation des expositions professionnelles aux particules nanométriques : stratégie de mesurage couplée à une analyse de l'activité (projet Expropnano / Anses)

■ Olivier WITSCHGER  
*Département métrologie des polluants*

■ Thèse de doctorat : Louis GALEY  
*Université de Bordeaux - Alain GARRIGOU*

Il s'agit dans ce projet de développer une méthode pour évaluer l'exposition professionnelle en associant la caractérisation des aérosols et un premier niveau d'analyse d'activité. Les résultats contribueront à la construction de la matrice emplois-expositions aux nanomatériaux du programme MatPUF, ainsi qu'au dispositif français de surveillance des travailleurs exposés aux nanomatériaux.

2018 ➔ 2019

### Nouveaux outils analytiques pour l'évaluation des effets biologiques induits par les nanotubes de carbone chez le rat

■ Jérôme DEVOY et Frédéric COSNIER

*Département toxicologie et biométrie*

Le premier objectif de cette étude est de développer et de valider une méthode de dosage des nanotubes de carbone dans les poumons afin d'étudier leur cinétique de dépôt et d'élimination pulmonaire après inhalation, pendant 5 jours, en prenant en compte l'effet de la dose et l'influence de leur morphologie. Un autre besoin identifié réside dans le développement de marqueurs d'exposition et de la réponse pulmonaire aux nanotubes de carbone.

2016 ➔ 2020

### Développement d'une approche expérimentale intelligente pour l'évaluation du danger lié aux nanomatériaux (projet Smartnanotox / Commission européenne)

■ Laurent GATÉ

*Département toxicologie et biométrie*

Dans le cadre du projet européen Smartnanotox, financé par la Commission européenne, l'INRS prend en charge les travaux relatifs à l'évaluation des propriétés toxicologiques *in vivo* des nanomatériaux (toxicité subaiguë chez le rat). L'Institut assure également des analyses transcriptomiques afin d'identifier les mécanismes moléculaires initiateurs et les événements mécanistiques clés menant à des effets adverses. Enfin, l'INRS participe au développement d'une méthode de criblage «intelligente» pour l'évaluation prédictive *in vitro* et *in silico* de la toxicité des nanomatériaux.

2019 ➔ 2023

### Étude des biomarqueurs d'effets précoces en rapport avec l'exposition professionnelle aux silices amorphes nanostructurées

■ Anca RADAUCEANU et Michel GRZEBYK

*Département épidémiologie en entreprise*

L'objectif de l'étude est l'analyse de l'effet de l'exposition professionnelle aux silices amorphes synthétiques sur des biomarqueurs d'effet impliqués dans des mécanismes physiopathologiques au niveau pulmonaire ou systémique. Un échantillon de 72 travailleurs sera recruté dans des entreprises produisant ou manipulant de telles silices, et chacun sera suivi pendant 3 jours de travail. Leur exposition professionnelle sera évaluée et les effets sur la santé seront étudiés à partir des mesures des biomarqueurs de stress oxydant/nitrosant, de l'inflammation pulmonaire en début et fin de poste et par l'intermédiaire de matrices biologiques (condensat d'air exhalé, urines, sang). L'analyse des biomarqueurs contribuera à mieux connaître les risques et à adapter les actions de prévention.

2018 ➔ 2021

### Filtration des particules ultrafines métalliques : étude de la régénération des filtres de ventilation des cabines

■ Denis BEMER

*Département ingénierie des procédés*

■ Thèse de doctorat : Nassim KHIROUNI

*Université de Lorraine - Dominique THOMAS*

L'étude vise à établir les paramètres qui contrôlent l'adhésion des particules ultrafines métalliques aux médias fibreux, phénomène empêchant leur élimination par décolmatage pneumatique, afin de pouvoir proposer des solutions efficaces pour y remédier. L'objectif est de reproduire en laboratoire une opération de filtration type, afin d'étudier l'influence de différents paramètres tels que la vitesse de filtration, le type de média, la masse surfacique recueillie et l'humidité de l'air filtré. Les caractéristiques et les conditions de fonctionnement nécessaires à un décolmatage effectif de l'élément filtrant devront être validées sur pilote pour pouvoir être extrapolées à l'échelle industrielle.

## ▶ PERTURBATEURS ENDOCRINIENS

2019 → 2019

### Evaluation des émissions de retardateurs de flamme dans les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) : étude d'instruction



© Philippe CASTANO / INRS

■ Marie-Thérèse LECLERC  
Département ingénierie des procédés

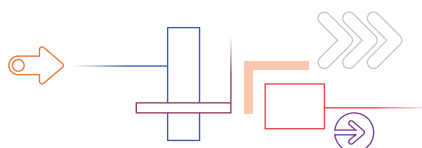
Les plastiques des équipements électriques et électroniques contiennent des substances ignifugeantes appelées retardateurs de flamme. Plusieurs études menées sur des sites de traitement de déchets d'équipements électriques et électroniques confirment des concentrations importantes de composés halogénés dans les atmosphères de travail. Les objectifs de cette étude d'instruction sont la réalisation d'un inventaire des retardateurs de flamme susceptibles d'être émis et de les hiérarchiser en fonction de leur toxicité et des quantités contenues dans les atmosphères de travail, de déterminer une méthode d'évaluation des émissions et des modes de contamination, et de définir les moyens techniques (banc d'essai, analyses) pour mesurer les expositions des salariés et élaborer des mesures de prévention.

2019 → 2019

### Pénétration percutanée *ex vivo* du bisphénol S

■ Catherine CHAMPMARTIN et Fabrice MARQUET  
Département toxicologie et biométrie

Le bisphénol S (BPS), dont la structure chimique est très proche de celle du bisphénol A (BPA), est utilisé comme substitut à celui-ci, en tant que révélateur dans les papiers thermiques. Pour le BPS, comme pour le BPA, l'exposition cutanée est dominante dans le cas de la manipulation de papiers thermiques par les agents de caisse. À notre connaissance, il n'existe aucune donnée sur le passage percutané du BPS. Cette étude aura pour but, au moyen d'expérimentations *ex vivo*, d'évaluer la pénétration percutanée du BPS et de mieux connaître ses effets.



## ➔ Prévention des risques physiques et mécaniques

L'évolution des technologies, des procédés de fabrication et des méthodes d'industrialisation justifie une mobilisation persistante sur la prévention des nuisances physiques et des risques mécaniques.

Les objectifs sont de faciliter l'évaluation des expositions, en proposant des méthodes et des outils aux entreprises confrontées aux risques nouveaux induits par ces technologies, ainsi que d'accompagner l'application des dispositifs réglementaires pour assurer la protection des salariés (directives Euratom, champs électromagnétiques...).

### »»» OBJECTIFS GÉNÉRAUX D'ÉTUDE ET RECHERCHE

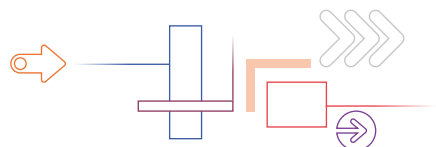
- **Maintenir le développement de dispositifs simples d'emploi pour la mesure d'expositions** en direction des préventeurs de terrain et des services de santé au travail.
- **Poursuivre les travaux sur les questions liées aux nuisances physiques** (rayonnements, lasers, bruit, vibrations, ambiances thermiques), **aux lieux de travail** (éclairage, bruit), **à l'utilisation de machines** (appareils de levage, grues, chariots, dispositifs de détection et de protection...).
- **Contribuer aux actions de normalisation dans le domaine.**

### »»» OBJECTIFS SPÉCIFIQUES D'ÉTUDES ET RECHERCHE

Des actions plus ciblées sur chacun des agents physiques ou mécaniques sont entreprises, afin d'accompagner, à tous les niveaux, les acteurs amenés à **veiller au respect des valeurs limites d'exposition et à réduire l'ensemble des risques liés aux procédés ou équipements de travail. Quatorze études traitent des expositions à différents agents physiques : bruit, vibrations, champs électromagnétiques, rayonnements optiques.** C'est ainsi que :

- Sept études traitent du bruit. Les trois premières forment un ensemble cohérent visant à mieux appréhender les nuisances sonores due aux bruits dans le tertiaire. Les deux suivantes portent sur les protections d'oreilles. La dernière traite de la fatigue auditive chez les professionnels exposés à de la musique amplifiée.
- Quatre études portent sur les vibrations.
- Trois études portent sur l'exposition aux champs électromagnétiques ou les rayonnements optiques.

Une quinzième étude traite de **protection collective et individuelle**, plus précisément des systèmes de protection individuelle intelligents (SPII).





## ► BRUIT

2015 → 2018

## Calcul d'indicateurs d'exposition aux bruits de parole dans le tertiaire



© Serge MORILLON / INRS

■ Patrick CHEVRET

*Département ingénierie des équipements de travail*

■ Thèse de doctorat : Krist KOSTALLARI

*INSA - Étienne PARIZET*

## Exposé des motifs et objectifs

Les enquêtes de terrain montrent que le bruit ambiant est la principale source de gêne dans les bureaux ouverts et que ce sont les conversations intelligibles qui sont les premières sources incriminées. Dans la continuité de travaux déjà menés à l'INRS, l'étude visait tout d'abord à fournir aux acteurs de terrain des outils pour analyser les situations bruyantes afin de les améliorer. D'autre part, un travail de thèse avait pour ambition de faire progresser les connaissances sur les effets du bruit sur les déterminants de la fatigue cognitive pour des personnes exposées pendant plusieurs heures à des niveaux non lésionnels.

## Démarche

Pour prévoir l'ambiance acoustique dans un bureau ouvert, le logiciel Rayplus a été étendu afin d'intégrer les indicateurs d'une norme française récente (NF S31-199, 2016 – caractérisant l'acoustique architecturale du local vide) et aussi afin de permettre des calculs d'acoustique prévisionnelle en présence des bruits de parole (caractérisant l'ambiance sonore dans le local occupé). Ces travaux ont été validés par des comparaisons avec des résultats de mesures. Un outil supplémentaire, permettant de suivre le ressenti des salariés (questionnaire sur la gêne sonore ressentie et la fatigue cognitive) a été développé et déployé en entreprise. Pour faire progresser les connaissances sur les effets du bruit en bureau ouvert sur la fatigue des salariés, deux expériences en laboratoire ont été menées. L'une d'entre elle a utilisé un grand nombre de participants pour apporter des résultats statistiques plus robustes que ceux qui sont donnés dans la littérature scientifique. Plongés pendant 8 heures dans différents environnements bruyants contrôlés, des sujets ont réalisé, dans la deuxième expérience, une tâche qui nécessitait de monopoliser un ensemble de ressources cognitives. Des questionnaires permettaient de suivre leur état psychologique tout au long de la journée.

## Résultats principaux

Une nouvelle version du logiciel Rayplus est disponible, incluant les indicateurs de la norme NF S31-199. Un modèle de simulation de l'ambiance sonore du local en activité est aussi disponible. Ces deux outils numériques ont également été optimisés en termes de temps de calcul. La première expérience en laboratoire a confirmé l'effet délétère de l'intelligibilité du bruit de parole sur la performance, la gêne et la charge ressentie, mais n'a pas permis de réduire la variabilité interindividuelle. Les résultats de l'expérience de longue durée sont tout à fait nouveaux. Il a été clairement démontré que le bruit des conversations a un effet significativement plus important que les autres conditions sonores sur la fatigue mentale et que cet effet est plus important en fin de journée. Ces expériences en laboratoire montrent également l'intérêt de l'utilisation d'un indicateur construit sur les modulations temporelles du niveau de bruit ambiant en remplacement de l'indicateur classique d'intelligibilité, ce qui reste à confirmer par les mesures de terrain car les données déjà recueillies sont encore insuffisantes.

## Discussion

Les mesures de terrain doivent se poursuivre pour confirmer la pertinence d'un indicateur acoustique basé sur les modulations temporelles du bruit. La seconde expérience semble indiquer que les composantes fréquentielles du signal et le sens porté par le discours ont un effet perturbateur sur les processus cognitifs. De nouvelles expériences en laboratoires devront être mises en œuvre pour préciser davantage cet effet perturbateur. L'étude a de nombreux produits de sortie : une thèse, de nombreuses publications et communications, des résultats scientifiques permettant d'apporter des éléments afin d'améliorer la santé au travail dans la norme internationale sur les bureaux ouverts actuellement en discussion, et un logiciel de calcul prévisionnel amélioré pour les préventeurs.

2019 ↔ 2021

## Détermination d'une méthode de mesure, d'indicateurs et de valeurs cibles visant à évaluer la qualité acoustique des bureaux ouverts

■ Patrick CHEVRET et Lucas LENNE

*Département ingénierie des équipements de travail*

Dans le domaine de la perception (évaluation des effets du bruit de conversation sur la gêne ressentie) ou dans la définition des exigences acoustiques pour les locaux de travail du tertiaire, beaucoup d'indicateurs utilisés sont issus de l'acoustique industrielle et ont montré leurs limites. La mise en place d'une nouvelle démarche d'évaluation est devenue prioritaire. Les travaux consistent à faire un bilan des méthodes utilisées, à identifier les indicateurs pertinents compte tenu du contexte et à fixer des valeurs cibles pour ces indicateurs. La démarche intègre les contraintes liées aux incertitudes de mesure, ainsi qu'à la sensibilité des indicateurs objectifs utilisés pour évaluer la perception des individus vis-à-vis de l'environnement sonore.



© Serge MORILLON / INRS

2018 → 2020

## Exposimètre de bruit pour bureaux ouverts (projet Ebbo / Anses)

■ Patrick CHEVRET

*Département ingénierie des équipements de travail*

L'objectif principal de ce projet est de mettre au point une démarche scientifique et méthodologique pour mesurer la fatigue ressentie par les salariés des bureaux ouverts, ainsi que les déterminants de cette fatigue. Cette démarche s'appuie sur des observations permettant l'analyse de l'activité et sur des questionnaires. Le second objectif est de développer un prototype pour la mesure de l'exposition aux bruits de parole dans les open-spaces, bruits qui sont perçus comme les plus gênants par les salariés.

2017 → 2020

## Développement de protocoles d'évaluation du confort des bouchons d'oreilles en entreprise et en laboratoire et proposition d'un indice de confort

■ Jonathan TERROIR

*Département ingénierie des équipements de travail*

Actuellement, les bouchons d'oreilles sont exclusivement caractérisés par l'atténuation acoustique qu'ils apportent. Cette étude vise à évaluer le confort des bouchons d'oreilles, via une approche globale incluant les quatre typologies de confort identifiées : physiologique, auditif, psychologique et fonctionnel. Les résultats faciliteront le choix d'un protecteur adapté et donc contribueront à l'amélioration de la protection pour les personnes exposées, tant en matière d'atténuation que de confort, afin que les protections soient effectivement utilisées.

2016 → 2019

## Perception des alarmes sonores sous protecteur auditif par des salariés ayant des atteintes auditives

■ Jean-Pierre ARZ

*Département ingénierie des équipements de travail*

■ Thèse de doctorat : Ossen EL SAWAF

*Université Lyon 1 - Nicolas GRIMAULT*

L'objectif de cette étude est de développer des méthodes d'évaluation des paramètres qui garantissent la perception de signaux sonores dans un environnement bruyant, en particulier dans les cas de déficits auditifs et de port de protecteur contre le bruit. La première méthode sera basée sur des simulations sonores, afin de reproduire ce qui est entendu par des malentendants et par des normo-entendants, la seconde sur un modèle psychoacoustique pour calculer, dans un bruit ambiant, le niveau sonore nécessaire pour qu'une alarme soit audible. Au terme de l'étude, les deux outils seront mis à la disposition des préventeurs.

2019 → 2021

## Exposition sonore et fatigue auditive chez les professionnels exposés à la musique amplifiée

■ Benoît POUYATOS et Thomas VENET

*Département toxicologie et biométrie*

■ Thèse de doctorat : Thomas VENET

*Université de Lorraine - Pierre CAMPO*

Les professionnels du spectacle sont fréquemment exposés à des niveaux de bruit plus élevés que la valeur limite d'exposition en vigueur. Cette étude vise à évaluer avec le dispositif Echoscanner®, l'impact de la musique amplifiée sur la fatigue auditive périphérique et sa cinétique de récupération. Ces mesures seront comparées à celles obtenues avec l'audiométrie tonale, qui est l'examen de référence en médecine du travail. Parallèlement à ces mesures, l'analyse des pratiques de ce secteur permettra de mieux appréhender le risque auditif encouru par les professionnels et d'identifier les postes exposés. Les connaissances acquises permettront de préconiser des solutions, de sensibiliser les professionnels aux risques auditifs et de les inciter au respect des valeurs réglementaires.

2018 → 2021

## Calcul prévisionnel et caractérisation in situ du comportement acoustique des parois des locaux de travail

■ Patrick CHEVRET

*Département ingénierie des équipements de travail*

Les travaux proposés visent, d'une part, à améliorer les codes de calcul validés antérieurement pour permettre de modéliser le comportement acoustique des parois complexes – dites à relief – et, d'autre part, à mettre au point une méthode de caractérisation *in situ*. Un autre axe de travail s'intéressera au développement d'indices de caractérisation de la qualité acoustique des locaux fréquentés par des personnes portant des audioprothèses, comme la clarté par exemple, afin d'aborder la problématique d'une conception des locaux adaptée pour les personnes souffrant de pertes auditives.

## ► VIBRATIONS

2015 → 2018

## Simulation des vibrations de machines tenues à la main

■ Gérard FLEURY

*Département ingénierie des équipements de travail*

### Exposé des motifs et objectifs

Meuler, buriner ou utiliser toute autre machine portable vibrante peut induire, chez les salariés concernés et à long terme, des pathologies des membres supérieurs. Selon la législation, l'employeur doit évaluer l'exposition des opérateurs aux vibrations. La méthode de référence consiste à mesurer les accélérations sur les machines lors des phases de travail. Mais celle-ci est coûteuse à mettre en œuvre et ne peut donc pas s'appliquer systématiquement à grande échelle. Le préventeur doit ainsi disposer d'outils complémentaires lui permettant d'évaluer le risque vibratoire sans faire de mesures. Les ordinateurs et les logiciels sont de plus en plus performants. C'est particulièrement vrai en ingénierie

mécanique où les logiciels de simulation numérique sont désormais largement répandus dans les bureaux d'études pour concevoir et prédire le comportement d'une machine avant même qu'elle ne soit fabriquée. L'objectif de cette étude était de mesurer l'apport de ces nouveaux outils de simulation numérique dans le domaine de l'évaluation du risque vibratoire.

### Démarche

L'étude a été conduite sur deux familles de machines portatives : les burineurs pneumatiques et les meuleuses électriques, très différentes l'une de l'autre de par leur mode d'alimentation, leur principe de fonctionnement et leur domaine d'utilisation. En revanche, toutes les deux transmettent aux utilisateurs des vibrations élevées et sont largement utilisées en milieu professionnel.

Plusieurs exemplaires de ces deux types de machines ont été acquis et leurs émissions vibratoires mesurées dans des conditions de fonctionnement maîtrisées en laboratoire, garantissant des mesures répétables et reproductibles. En parallèle, des modèles numériques de ces machines ont été construits en intégrant les phénomènes physiques sources de vibrations à l'intérieur de la machine. La capacité de chaque modèle numérique à reproduire correctement l'émission vibratoire réelle de la machine a été évaluée en comparant mesures en laboratoire et résultats de simulations.



© Serge MORILLON / INRS

## Résultats principaux

L'étude montre qu'il est tout à fait possible de calculer par simulation numérique les émissions vibratoires de burineurs pneumatiques et de meuleuses électriques. Pour les conditions de fonctionnement étudiées, ces modèles prédisent des émissions vibratoires proches de celles mesurées. Ils permettent d'identifier les caractéristiques de la machine les plus influentes sur son comportement vibratoire, et donc à terme, de concevoir des machines moins vibrantes. Les calculs sont réalisés indépendamment de logiciels commerciaux ce qui est une condition nécessaire pour diffuser ces modèles comme outils d'aide à l'évaluation sans mesures.

## Discussion

Les modèles numériques développés ont été validés pour des conditions de fonctionnement maîtrisées en laboratoire. Il est nécessaire à l'avenir d'élargir leur domaine d'application en prenant en compte des conditions de fonctionnement plus proches de celles rencontrées en entreprise. En particulier, le couplage vibratoire entre la machine et la main de l'opérateur doit être plus fidèlement reproduit.

2015 → 2018

## Recherche de solutions pour l'atténuation des vibrations lors de la circulation d'engins de manutention par le traitement des sols

■ Jérôme REBELLE

*Département ingénierie des équipements de travail*

### Exposé des motifs et objectifs

Aujourd'hui, certains fabricants de transpalettes électriques à conducteur porté (TEP) commercialisent des engins dotés d'une suspension du poste de conduite efficace pour réduire les vibrations transmises aux opérateurs. Malgré ces progrès, des mesures effectuées en entreprises montrent que les valeurs d'exposition aux vibrations de caristes dépassent encore régulièrement la valeur limite d'exposition quotidienne réglementaire. Le parcours réalisé pour charger ou décharger la remorque d'un camion comporte en effet des irrégularités provoquant des chocs et des vibrations transmis au TEP. La zone critique est la zone de transbordement située entre une aire de stockage de marchandises et la remorque. Le niveleur de quai est le dispositif de transbordement le plus couramment rencontré sur les plateformes logistiques. L'objectif de cette étude était de trouver des solutions de traitement des irrégularités de parcours et de produire une méthode d'essais permettant de qualifier, pour ce qui concerne les vibrations, un dispositif de transbordement.





## Démarche

L'étude s'est focalisée sur l'analyse et la caractérisation des irrégularités des zones de transbordement. Pour cela, un protocole expérimental a été développé. Il utilise un TEP qui circule sur le dispositif. Pendant son parcours, le TEP est soumis à des secousses qui sont la signature vibratoire des irrégularités. Le TEP instrumenté sert donc à la fois, pour solliciter le dispositif de transbordement que l'on cherche à caractériser et de moyen de mesure. Les mesures permettent le calcul d'un critère, qui a été élaboré afin qu'il rende compte de la sévérité des chocs.

## Résultats principaux

Une première campagne d'essais a été faite en laboratoire sur une piste en béton lisse comportant deux obstacles. L'épaisseur des obstacles a été variée et trois TEP différents ont été utilisés. Les résultats ont montré que le protocole était peu dépendant du TEP utilisé, ce qui est favorable au déploiement futur de ce type d'essais en entreprise. Une seconde campagne d'essais a été menée sur un niveleur de quai pour réaliser une analyse paramétrique. Les principaux résultats font ressortir que la situation où le plateau du niveleur est en descente vers la remorque est la situation la plus sévère. Les essais avec différentes solutions de traitement des irrégularités ont permis des réductions significatives de la dose vibratoire.

## Discussion

Outre les publications dans des journaux scientifiques et de vulgarisation prévues en 2019 et une communication dans un congrès, l'INRS prendra des contacts avec le Comité Européen de Normalisation (CEN) pour que le protocole de caractérisation d'un dispositif de transbordement développé dans cette étude devienne un nouveau code d'essais. Il existe en effet une norme (EN 1398:2009) qui donne des prescriptions de sécurité pour ces équipements de transbordement mais qui ne traite pas des aspects liés aux vibrations ou aux chocs. L'objectif est maintenant de compléter cette norme existante.

2017 → 2020

## Une approche multi-échelles pour la prédiction de certains effets des vibrations mécaniques sur le réseau vasculaire digital

■ Christophe NOËL

*Département ingénierie des équipements de travail*

■ Thèse de doctorat : Maha REDA

*Université de Bourgogne France-Comté  
Emmanuelle JACQUET*

Parmi les salariés travaillant avec des machines portatives, la majorité utilisent des machines rotatives générant des vibrations potentiellement responsables de troubles angioneurotiques, tels que le syndrome de Raynaud. L'objectif de cette étude est d'améliorer la méthode de mesurage normalisée en réunissant des connaissances pour mieux comprendre, analyser et prédire la relation entre les vibrations mécaniques et certaines de leurs conséquences physiologiques aiguës et pathologiques chroniques sur la microcirculation digitale.

2017 → 2019

## Étude de la réponse dynamique du corps d'un conducteur d'engin mobile exposé à des vibrations. Effets de la position et des mouvements liés à la tâche de travail

■ Maël AMARI

*Département ingénierie des équipements de travail*

La réglementation impose aux employeurs d'évaluer le risque vibratoire. Pour les vibrations du corps entier, la procédure définie par la norme ne tient pas compte des contraintes posturales (position statique maintenue et mouvements). L'objectif de cette étude est de faire progresser la norme, en caractérisant la réponse dynamique du corps d'un conducteur d'engin exposé à des vibrations, en tenant compte de la diversité des postures et des mouvements réalisés lors de l'accomplissement des tâches de travail.

## ► CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

2016 → 2019

### Exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques industriels (projet Exti / Anses)

■ Méлина BOULDI

*Département ingénierie des équipements de travail*

Cette étude vise à développer des outils numériques et expérimentaux permettant d'obtenir une évaluation paramétrique et des prédictions pertinentes de l'exposition aux champs électromagnétiques des travailleurs en milieu industriel. Plusieurs approches sont combinées : simulations numériques à partir de modèles de corps humain et de sources ; cartographies *in situ* des champs rayonnés autour d'une presse ; mesures du champ interne dans un mannequin de gel instrumenté.

2016 → 2019

### Évaluation des interactions entre les champs électromagnétiques basses fréquences et les opérateurs en milieu industriel : approche numérique et expérimentale

■ Méлина BOULDI

*Département ingénierie des équipements de travail*

L'objectif de cette étude est de développer une méthode d'évaluation basée sur des simulations numériques, dont la validité sera vérifiée par comparaison avec des mesures *in vitro*. Un banc d'essai sera conçu, composé d'une source de rayonnement (soudeuse par points à basse fréquence ou presse haute fréquence) et d'un mannequin ayant des propriétés diélectriques proches des tissus humains. Ces travaux permettront de connaître, de manière paramétrique, les valeurs d'exposition interne des salariés pour différentes sources industrielles et différents postes de travail.

## ► RAYONNEMENTS OPTIQUES

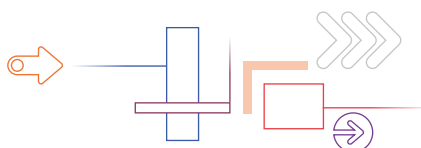
2018 → 2021

### Étude et modélisation du dopage des équipements de protection optique par absorption

■ Damien BRISSINGER

*Département ingénierie des équipements de travail*

Afin d'aider les entreprises à se conformer aux exigences de prévention des risques liés à l'exposition aux rayonnements optiques, l'INRS a développé et mis à disposition l'application CatRayon. Celle-ci propose notamment une liste de protecteurs, mais la versatilité du marché rend difficile le maintien à jour de cette liste. L'utilisation d'un modèle pour évaluer la transmission des filtres optiques à partir de leur composition chimique permettra d'étendre le spectre des éléments proposés. Le modèle développé relie la composition chimique aux propriétés optiques via l'utilisation d'un indice pour rendre compte de la propagation et de l'atténuation des rayonnements.





## ► PROTECTION COLLECTIVE ET INDIVIDUELLE

2016 → 2018

### Sécurité des systèmes de protection individuelle intelligents (SPII), élaboration de principes généraux de conception, appréciation du risque et réduction du risque

■ Patrice MARCHAL

*Département ingénierie des équipements de travail*

#### Exposé des motifs et objectifs

Avec le développement des techniques liées à l'Internet des objets, de la réalité augmentée et du numérique, une nouvelle génération d'équipements de protection individuelle (EPI) fait son apparition. On peut les qualifier de systèmes de protection individuelle « intelligents » (SPII). Ils posent de nouvelles questions vis-à-vis de la prévention des risques professionnels. D'une part, les fabricants se questionnent sur les exigences de sécurité applicables à ces SPII. D'autre part, les entreprises utilisatrices et les préventeurs s'interrogent sur leurs performances et leurs limites. Le but de cette étude était d'apporter des éléments de réponse. Son premier objectif était de travailler sur la terminologie. Le second objectif était de proposer une démarche d'analyse applicable à l'ensemble des SPII, démarche qui permettrait d'assurer *in fine* un niveau de sûreté suffisant pour les utilisateurs.

#### Démarche

La première étape de cette étude a consisté à réaliser une analyse bibliographique et un état du marché des EPI classiques et multifonctions dits intelligents. Sur la base de ces éléments, la deuxième étape a consisté à étudier la terminologie, afin de donner une définition précise d'un SPII. Ensuite, une classification des SPII représentative des différentes exigences de conception qui leur sont applicables a été recherchée. Cette troisième étape avait pour but de proposer une démarche d'analyse applicable à l'ensemble des SPII. L'évaluation de sa pertinence a été effectuée sur quatre cas distincts de SPII.

#### Résultats principaux

La définition stipule qu'un SPII est avant tout un EPI. De ce fait, il doit répondre aux exigences générales de conception définies par le Règlement (UE) 2016/425. Concernant la démarche, par analogie avec le domaine des machines, quatre étapes sont retenues :

- identification des fonctions du SPII ;
- analyse des fonctions de protection individuelle, avec notamment la définition d'un niveau de sécurité pour les parties « intelligentes » qui concourent à ces fonctions ;
- analyse des autres fonctions afin d'identifier l'ensemble des référentiels qui leur sont applicables ;
- vérification de la compatibilité des fonctions entre elles.

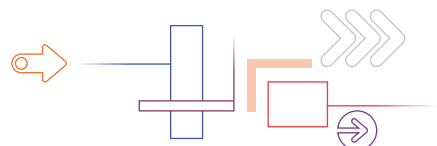
#### Discussion

Un SPII doit répondre aux exigences générales de conception définies pour les EPI en termes de niveaux de protection, d'efficacité, de confort, d'ergonomie, d'innocuité et de résistance. Il est pour cela préconisé de faire une analyse dans les différentes configurations d'utilisation revendiquées par le fabricant. Par ailleurs, pour les parties intelligentes, leur comportement en cas de défaillance doit être défini sur la base d'une évaluation des risques dont elles protègent.

De par son approche fonctionnelle, la démarche proposée peut également orienter les futurs utilisateurs dans leur choix lors de l'acquisition de ce type de produit. Elle sera pour cela présentée au Comité européen de normalisation en charge de ces thématiques.



© Serge MORILLON / INRS



## ➔ Prévention des risques liés à l'organisation et aux situations de travail

L'organisation et la conception des lieux et situations de travail jouent un rôle majeur en matière de prévention des risques professionnels, tant du point de vue de l'exposition à certains facteurs de risque, qu'au niveau de la gestion de la santé et de la sécurité en entreprise.

### »» OBJECTIFS GÉNÉRAUX D'ÉTUDE ET RECHERCHE

- **Évaluer les pratiques organisationnelles des entreprises** en matière d'horaires et de rythme de travail, de modes de production, de configuration des lieux, de circulation des marchandises, de gestion d'interventions extérieures ou d'opérations de maintenance.
- **Analyser les modalités de conception des situations de travail** qui peuvent receler des leviers pour engager une démarche de prévention dès le stade de la conception.

### »» OBJECTIFS SPÉCIFIQUES D'ÉTUDES ET RECHERCHE

Les travaux liés à l'organisation du travail seront menés en gardant pour objectif **de développer des solutions de prévention que les acteurs puissent effectivement s'approprier.**

Dans cette rubrique, dix-huit projets sont menés :

- Cinq études portent sur divers aspects de l'organisation du travail. Quatre traitent de la conception des lieux et des situations de travail, de la planification des activités en logistique ou des horaires atypiques, une étude traite de la maintenance. En toute rigueur, il faut ajouter deux autres études mentionnées dans la thématique focus « impact des technologies de l'information et de la communication ».
- Cinq études portent sur divers aspects du sujet « organisation de la prévention et culture de prévention » à travers des questions telles que : méthode d'analyse des accidents, impact de l'usage de la grille GPSST, impact économique de la prévention.
- Quatre études traitent des risques psychosociaux ou des troubles musculosquelettiques.
- Quatre projets traitent du vieillissement et du retour au travail.



## ► CONCEPTION DES LIEUX ET DES SITUATIONS DE TRAVAIL

2018 → 2020

### Identification et détection de situations potentiellement dangereuses par l'analyse des dérives de l'équipement de production

■ Pascal LAMY

*Département ingénierie des équipements de travail*

■ Thèse de doctorat : Romain DUPONNOIS

*Université de Lorraine - Éric LEVRAT*

Lors de l'utilisation d'une machine ou d'un système de production, des accidents peuvent survenir suite à des dysfonctionnements techniques (évolution de l'environnement, du produit ou de l'équipement). Conduite dans le cadre d'une thèse, cette étude a pour but d'obtenir une méthode permettant de prévenir l'apparition de ce type d'accident, en s'appuyant sur des données de production. Un modèle générique décrivant le système ainsi qu'une méthode d'identification systématique des dérives seront proposés. Les données seront analysées pour définir les indicateurs pertinents et vérifier s'il est possible de prédire des situations dangereuses. La démarche sera appliquée à un cas industriel de production.

2016 → 2019

### Analyse du métier de concepteur de systèmes de production : apports de la psychologie du travail et de l'ingénierie pour transformer les pratiques de conception en faveur de la santé-sécurité des opérateurs

■ Edwige QUILLEROU-GRIVOT

*Département Homme au travail*

■ Aurélien LUX

*Département ingénierie des équipements de travail*

Cette étude vise à améliorer la santé et la sécurité des opérateurs en examinant la manière dont sont conçues leurs situations de travail. Elle comprend trois volets pour acquérir des connaissances sur l'activité réelle des concepteurs de systèmes de production industriels, identifier les processus de conception et les adapter en faveur de la prévention des risques professionnels, développer une méthodologie d'intervention auprès des concepteurs afin de favoriser l'intégration de la santé et sécurité dans leurs projets.

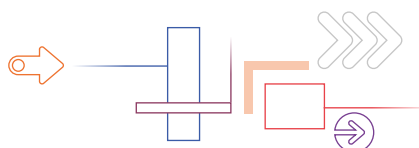
2019 → 2021

### Méthode d'implantation des équipements dans des locaux de travail intégrant la prévention des risques professionnels

■ Mahenina Remiel FENO

*Département ingénierie des équipements de travail*

L'objectif de cette étude est de définir une méthode d'implantation des équipements dans un local de travail qui permet de faire converger les objectifs de production avec les exigences de prévention, en vue d'anticiper l'apparition de situations dangereuses liées à la conception des locaux. Il s'agit d'aider les personnes qui participent à la conception ou à l'aménagement d'un lieu de travail (maîtrise d'œuvre, préventeurs, etc.) à mettre en cohérence l'agencement des différents espaces de travail (accès aux équipements, stockage des marchandises, circulation des personnes et des produits, etc.) avec l'activité future des utilisateurs. Deux applications de type industriel et tertiaire seront recherchées pour tester la méthode proposée.



## ► TRANSPORT ET LOGISTIQUE

2017 ➔ 2021

### Planification intelligente des tournées de transport des marchandises (projet Smart-Planning / ANR)

■ Virginie GOVAERE et Lièn WIOLAND  
*Département Homme au travail*

Le projet Smart Planning a pour objectif le développement d'un ensemble de connaissances nouvelles dans la mise en œuvre de compromis pour l'élaboration des plannings de transport routier de marchandises. Il s'agit en effet d'intégrer des préoccupations sociales, économiques, environnementales et de sécurité dans l'optimisation des ressources. Ces connaissances seront validées par des expérimentations de terrain effectuées auprès de deux partenaires industriels. L'INRS prend en charge les aspects modélisation des contraintes et des compromis spécifiques au transport routier de marchandises.

## ► HORAIRES ATYPIQUES

2019 ➔ 2021

### Travail posté avec travail de nuit et préconisations de prévention : analyse processuelle de la mise en œuvre du changement d'horaires et / ou de pauses récupératrices nocturnes

■ Évelyne MORVAN  
*Département Homme au travail*

Cette étude porte sur la prévention de l'impact négatif du travail posté (en horaires fixes ou alternants) sur la santé et la sécurité au travail. L'objectif est de documenter les modalités de mise en œuvre des actions visant à atténuer les effets du travail posté, pour en tirer des enseignements pour la prévention. La démarche consiste à enquêter, en privilégiant une approche qualitative, sur quatre études de cas en milieu industriel et/ou de services, afin de mieux connaître les stratégies mises en œuvre, les difficultés et les leviers (échelle organisationnelle) ainsi que les facteurs influençant l'appropriation (échelle collective et individuelle) du travail posté. Les résultats s'adresseront en priorité aux acteurs de santé au travail.



2016 ➔ 2022

## Effet du travail de nuit dans la survenue des maladies cardiovasculaires ischémiques

■ Stéphanie BOINI-HERRMANN et Ève BOURGKARD

*Département épidémiologie en entreprise*

Cette étude épidémiologique de type cas-témoins vise à examiner le lien entre le travail de nuit, qui concerne environ 15 % des salariés, et la survenue de maladies cardio-vasculaires ischémiques. Cette étude sera réalisée en partenariat avec des équipes de recherche externes (cohorte Constances, Santé publique France, Inserm/CHU). Il est attendu que les résultats favorisent la diffusion et la mise en place de mesures de prévention spécifiques en entreprises sur le thème des maladies cardiovasculaires ischémiques.

### ► MAINTENANCE

2015 ➔ 2019

## Expositions professionnelles et pratique d'externalisation dans le domaine de la maintenance. Vers une prévention contextualisée

■ Corinne GRUSENMEYER

*Département Homme au travail*

Ces travaux visent à étudier les expositions professionnelles des personnels de maintenance (santé, sécurité des opérateurs, sûreté des installations), à appréhender les relations entre les organisations du travail de maintenance et les risques pour les opérateurs, notamment en cas d'externalisation, et enfin à développer la compréhension de ces formes d'externalisation. Les résultats devraient permettre de proposer des pistes de prévention adaptées.

### ► ORGANISATION DE LA PRÉVENTION ET CULTURE DE PRÉVENTION

2016 ➔ 2019

## Développement et mise à l'épreuve d'une méthode d'analyse des accidents avec perturbation du mouvement à destination des préventeurs d'entreprise

■ Sylvie LECLERCQ

*Département Homme au travail*

L'objectif de cette étude est de développer une méthode d'analyse des accidents avec perturbation du mouvement destinée aux préventeurs d'entreprise. La finalité est de faire évoluer le regard porté sur ces accidents pour mieux les prévenir, en révélant les facteurs (environnementaux, organisationnels, en particulier) qui se combinent pour occasionner une perturbation du mouvement en situation de travail. La méthode ainsi développée, qui comportera l'identification de mesures de prévention adaptées, sera mise en pratique dans dix entreprises dans le but d'intégrer les retours d'expérience.

2016 → 2019

## Analyse des changements organisationnels associés à l'usage des grilles de positionnement en santé et sécurité au travail (GPSST)

■ Karen ROSSIGNOL

*Département Homme au travail*

Cette étude sera menée auprès d'utilisateurs des outils GPSST, conçus il y a dix ans pour aider les acteurs de l'entreprise à étudier, rendre compte et objectiver leurs pratiques de prévention. Les éléments recueillis permettront d'examiner les modalités d'usage, de saisir comment sont définis les axes de progression et comment est élaboré puis appliqué un plan d'action en prévention. Les résultats seront utiles pour élaborer des recommandations à destination des préventeurs, pour que l'usage des grilles GPSST soit suivi d'effets organisationnels visant une meilleure prise en compte de la santé et sécurité au travail.

2017 → 2019

## Gestion des risques pour la santé par les cadres intermédiaires managers : étude exploratoire

■ Jacques MARC

*Département Homme au travail*

Cette étude traite du rôle des managers dans la prévention des risques pour la santé, dans un contexte où les « marges de manœuvre » semblent en voie de diminution. L'étude s'emploiera à explorer les mécanismes par lesquels les cadres intermédiaires détectent les éléments d'alerte relatifs aux risques pour leur sécurité et leur santé et pour celle de leurs collaborateurs, et la façon dont ils y répondent. L'étude s'attachera également à identifier les indicateurs favorisant la prise en charge, par les cadres intermédiaires, des risques pour la santé parmi les autres risques qu'ils ont à gérer.

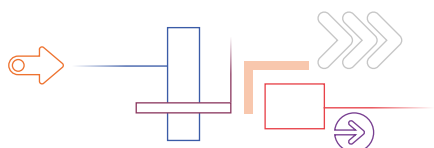
2017 → 2020

## Pour une culture de prévention en santé au travail : exploration sociale et organisationnelle du travail de prévention

■ Éric DRAIS

*Département Homme au travail*

Le développement d'une culture de prévention est considéré comme un moyen essentiel d'action en prévention primaire. L'étude visera à circonscrire la notion de culture de prévention en rapport avec les dimensions techniques, sociales et juridiques du travail. Elle testera les conditions de gestion d'une telle culture à partir de l'observation de dispositifs de prévention et l'analyse des apprentissages associés. Enfin, elle cherchera à vérifier les conditions d'instrumentation de la mesure d'une culture de prévention avec l'objectif de contribuer à l'élaboration d'un outil de diagnostic destiné au réseau Prévention.





2018 → 2021

## Quel lien entre efforts de prévention et performance économique des entreprises ? Une étude économétrique

■ Bertrand DELECROIX et Christian TRONTIN

*Département Homme au travail*

Cette étude consiste en une évaluation statistique et économétrique de la relation entre niveau d'engagement en prévention, d'une part, et performance économique des entreprises, d'autre part. Elle s'appuiera sur la construction d'un modèle économétrique fondé sur des données de performance économique des entreprises, d'une part, et des données de pratiques de prévention, d'autre part. L'explicitation de ce lien permettra de renforcer la promotion de la prévention des risques professionnels avec des arguments économiques qui pourront être intégrés aux supports et brochures de l'INRS.

### ► RISQUES PSYCHOSOCIAUX

2016 → 2018

## Développement d'un modèle d'intervention sur les violences au travail (MIVT)

■ Marc FAVARO

*Département Homme au travail*

### Exposé des motifs et objectifs

L'opération s'inscrit dans la continuité d'une étude antérieure ayant conduit à proposer un modèle descriptif et explicatif des mécanismes organisationnels de formation des violences au travail. L'objectif consistait à évaluer les modalités observables d'usages du MIVT (Modèle d'intervention sur les violences au travail) en situation d'intervention ou d'accompagnement d'actions de prévention en entreprises, en vue de sa consolidation.

### Démarche

Six terrains ont contribué à l'étude de validation du modèle. Quatre d'entre eux sont des entreprises souhaitant renforcer leur prévention des violences et deux sont des structures intervenantes en Santé & Sécurité au Travail, intéressées par le MIVT en vue d'améliorer leurs prestations. La mise en œuvre de l'étude a par conséquent adapté deux approches :

- une « **approche directe** », soit l'accès à des situations de violence dans un contexte d'entreprises sollicitant un accompagnement (quatre terrains) ;
- une « **approche indirecte** », soit une position de médiation auprès de professionnels de l'intervention en entreprise sur des problématiques de violences (deux terrains).

La méthodologie utilisait un matériel constitué de données de type verbal (interactions orales et échanges mails) ainsi que rédactionnelles (consultation de rapports, de notes de services) et numériques (codage de réponses à un questionnaire).



© Hervé BOUTET / INRS

### Résultats principaux

Les travaux ont conduit à identifier et à documenter trois modes d'usages distincts du modèle :

- un usage « personnel » : désigne la mobilisation du modèle en qualité de cadre théorique-étiologique d'analyse de situations de violences rencontrées. Il assiste l'utilisateur dans son activité de reconstitution temporelle des événements ;
- un usage « transitionnel » : qualifie l'utilisation du modèle comme support technique intermédiaire. Il contribue à faciliter les échanges entre parties prenantes d'une situation d'intervention sur des faits de violence manifestes ;
- un usage « organisationnel » : définit un mode d'action du modèle contribuant à structurer et à opérationnaliser un dispositif de pilotage ou d'évaluation d'une démarche de prévention des risques de violences en milieux professionnels.

### Discussion

En identifiant et en illustrant une variété d'usages du MIVT ainsi que divers types d'utilisateurs, l'étude montre qu'il ne s'agit pas d'appliquer un « outil », au sens où il suffirait de respecter un mode d'emploi préétabli et intangible. Il est plutôt question de promouvoir une « grille de lecture » des situations structurelles, organisationnelles, relationnelles diversement contributives aux expositions aux violences, ceci en l'adaptant aux objectifs de prévention visés et aux contextes rencontrés par chacun.

Pour ce faire, les utilisateurs (préventeurs en entreprise ou intervenants externes) sont invités à s'approprier le modèle, ce qui signifie en concevoir une ou plusieurs utilisations pratiques, intégrables à leurs modes d'actions et offrant une perspective satisfaisante d'aide à la résolution des diverses situations concrètes abordées. Le MIVT contribue ainsi au progrès d'une dynamique globale de prévention des violences en milieu professionnel.

## ► TROUBLES MUSCULOSQUELETTIQUES (TMS)

2017 ↔ 2021

### Conséquences physiologiques de l'usage d'un exosquelette au travail : intérêts et limites pour la prévention des TMS



© Serge MORILLON / INRS

■ Jean THEUREL et Kévin DESBROSSES  
*Département Homme au travail*

Cette étude de laboratoire a pour objectif principal d'investiguer les adaptations neuromusculaires et cinématiques liées à l'utilisation d'exosquelettes d'assistance du dos et des membres supérieurs lors de différentes tâches de manutention. Un second objectif est l'évaluation de l'impact d'un exosquelette sur les mécanismes de régulation de l'équilibre postural lors d'un mouvement des membres supérieurs. Enfin les répercussions de l'usage d'un dispositif d'assistance de l'épaule sur le comportement fonctionnel de cette articulation seront étudiées. Les résultats permettront d'enrichir le débat autour des bénéfices et limites de ces nouvelles technologies d'assistance physique dans la prévention des TMS et d'améliorer la connaissance quant à l'impact d'une assistance physique sur le contrôle du mouvement ainsi que sur le comportement fonctionnel de l'articulation assistée.

2018 → 2021

## Utilisation d'un robot d'assistance physique : analyse des sollicitations biomécaniques et des gestes professionnels

■ Adriana SAVESCU

*Département Homme au travail*

■ Thèse de doctorat : Clara SCHOOSE

*Université de Grenoble - Sandrine CAROLY*

Face aux enjeux de prévention des TMS et dans un contexte d'évolution technologique, la robotique apparaît comme une possibilité pour favoriser le maintien au poste de travail des opérateurs expérimentés et de rendre plus attractifs certains postes pour les nouveaux embauchés, par un allègement des contraintes physiques. L'objectif de cette étude est d'apporter des connaissances sur les sollicitations physiologiques et biomécaniques des utilisateurs de robots d'assistance physique, sans contention, manipulés en situation contrôlée, ainsi que sur les conséquences sur les gestes professionnels en situation réelle de travail. Une évaluation subjective de la charge physique et mentale sera également réalisée.

2019 → 2022

## Protocole d'essais pour la détermination des efforts au roulement des chariots de manutention manuels

■ Stéphane GILLE

*Département ingénierie des équipements de travail*

Pour réduire les manutentions manuelles, une des mesures de prévention consiste à proposer des équipements roulants. Cependant, l'analyse des normes de conception de ces équipements montre que les protocoles de tests sous-estiment les efforts à produire pour les déplacer. Elles ne prennent pas en compte l'orientation des roulettes, le temps de mise en mouvement et la nature du sol. Les revêtements déformables rencontrés dans les établissements utilisateurs, tels le secteur des soins, les collectivités, la restauration-hôtellerie, génèrent une résistance au déplacement plus importante que les sols durs pris en compte dans les normes de conception. L'objectif de cette étude est de compléter les protocoles normatifs actuels afin de prendre en compte ces paramètres.

## ► VIEILLISSEMENT, RETOUR AU TRAVAIL ET PRÉVENTION DE LA DÉINSERTION PROFESSIONNELLE

2013 → 2019

## Comment aider les entreprises à mieux intégrer la question de la santé et de la prévention dans la politique de gestion des âges ?

■ Isabelle SALMON

*Département Homme au travail*

■ Thèse de doctorat : Isabelle SALMON

*Université de Grenoble - Emmanuel ABORD de CHATILLON*

L'étude a pour objectif d'aider les entreprises à considérer la gestion des âges, en ciblant la fonction de DRH, acteur clé du processus. Elle vise à élaborer une démarche permettant au DRH de mobiliser l'ensemble des acteurs dans l'entreprise et en dehors, concernés par la gestion des âges, et à proposer des recommandations (sur les méthodes et outils RH existants) pour intégrer la santé et la prévention dans les politiques de gestion des carrières.

2014 → 2019

## Évaluation des capacités fonctionnelles physiques en fonction des contraintes physiques rencontrées au cours des parcours professionnels et des facteurs psychosociaux

■ Emmanuelle TURPIN-LEGENDRE

*Département Homme au travail*

L'étude a pour objectif d'analyser les effets des contraintes physiques et psychosociales sur les capacités fonctionnelles et leur répercussion sur la santé perçue. Dépister une détérioration précoce permettrait de repérer les phénomènes d'usure (atteintes ostéo-articulaires et cardio-vasculaires) et de mettre en place des actions pour les limiter. L'enquête et un ensemble de tests seront réalisés auprès de 200 salariés du BTP avec la collaboration d'un service de santé au travail.

2015 → 2020

## Facteurs de succès et d'échec lors du processus de retour au travail après chirurgie pour une lésion dégénérative de l'épaule en lien avec le travail

■ Anne PICHENE-HOUARD

*Département Homme au travail*

Afin d'améliorer les conditions d'un retour au travail après une opération de l'épaule, il paraît important de décrire les facteurs pronostiques contribuant à l'issue favorable ou défavorable de ce processus. Un suivi longitudinal sera réalisé auprès de 120 salariés. Il comportera cinq temps de recueil de données objectives et subjectives portant sur les nombreux aspects impliqués dans le parcours de retour au travail de salariés atteints de lésions, et dans une perspective de prévention de la désinsertion professionnelle.

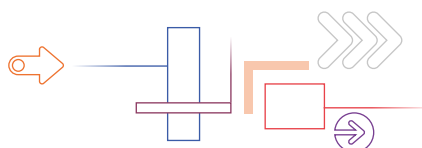
2018 → 2021

## Maintien au travail des salariés seniors et prévention des situations de décrochage du travail

■ Sandrine GUYOT

*Département Homme au travail*

Compte tenu du vieillissement de la population active, du faible taux d'emploi des seniors, les difficultés que connaissent les travailleurs âgés, notamment les femmes, à se maintenir au travail ou à retrouver le chemin de l'emploi interrogent sur les risques de désinsertion professionnelle et les moyens de les prévenir. Cette étude adoptera une approche mixte, combinant l'exploitation d'entretiens narratifs, de données de santé au travail du dispositif EVREST et des données de l'enquête nationale Santé et itinéraire professionnel (SIP). Elle permettra de proposer des pistes d'action pour aider les services de santé au travail et les RH à la détection des risques de sortie prématurée du travail, tenant également compte des particularités de genre.



# THÉMATIQUES FOCUS EN SANTÉ ET SÉCURITÉ AU TRAVAIL À L'HORIZON 2022

Les pages qui suivent présentent des études conduites en 2018-2019, dans le cadre de quatre des cinq thématiques focus inscrites au plan stratégique de l'INRS pour les années 2018-2022.

## ➔ INDUSTRIE DU FUTUR ET PRÉVENTION

Le concept d'industrie du futur repose sur la modernisation de l'outil industriel et le changement de modèle économique induits par le numérique.

L'émergence des nouvelles technologies (Internet des objets, intelligence artificielle, *cloud computing*, robotique collaborative ou mobile, drone, fabrication additive, réalité augmentée...) a offert la possibilité de flexibilité des systèmes de production, notamment en ouvrant la voie à la création d'îlots connectés et reconfigurables. Les entreprises se transforment en termes de conception, d'organisation ou de commercialisation, ce qui suscite des questionnements sur l'intégration de la prévention des risques professionnels, tant du point de vue de l'ingénierie que de celui des facteurs humains.

### »» Objectifs d'études et recherche 2018 - 2022

Acquérir des connaissances en ingénierie et en sciences humaines et sociales pour une meilleure intégration de la prévention au concept d'industrie du futur :

- Évaluer les changements générés par les outils numériques
- Décrypter les caractéristiques de l'industrie du futur



2018 → 2021

## Industrie du futur : enjeux pour la santé-sécurité au travail liés à la flexibilité des systèmes de production et à la digitalisation des données

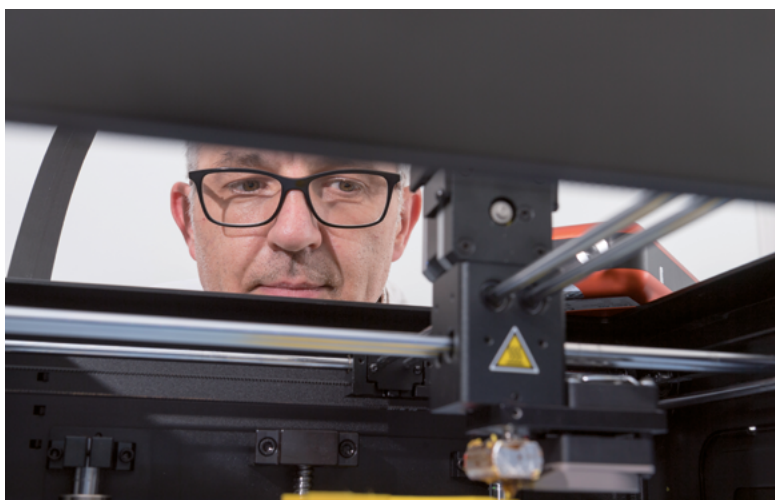
■ Jean-Christophe BLAISE, Jacques MARSOT

*Département ingénierie des équipements de travail*

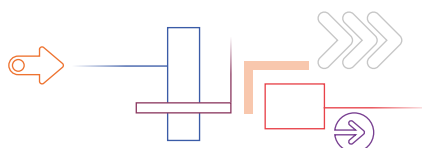
Aboutir à une plus grande flexibilité des systèmes de production est l'un des enjeux associés au concept d'industrie du futur. L'émergence de nouvelles technologies offre cette possibilité en ouvrant la voie à la création d'îlots de production connectés et reconfigurables. Ces évolutions suscitent des questions quant à l'intégration de la prévention des risques professionnels.

Cette étude vise à acquérir de nouvelles connaissances autour de deux thèmes. Le premier concerne la sécurisation d'un îlot de production flexible selon quatre axes : l'ingénierie de conception, la simulation, l'intégration robotique et l'ergonomie. Le second thème concerne les enjeux pour la santé et sécurité de la digitalisation des données selon trois axes : le traitement des données, la cybersécurité et les systèmes individuels intelligents.

Les résultats de ces travaux contribueront à l'élaboration des produits d'information (éventuellement de formation) à destination des préventeurs de terrain, des utilisateurs ainsi que des concepteurs ou intégrateurs. Ils viendront également en support à la normalisation et aux assistances menées par l'INRS sur ces sujets.



© Serge MORILLON / INRS



## REPRODUCTION ET TRAVAIL

Étudier les liens entre le travail et la reproduction signifie évaluer les effets potentiels du travail sur la fertilité, la grossesse ou le développement de l'enfant. C'est ainsi que, concernant la fertilité, une association entre les expositions professionnelles masculines ou féminines et le délai à concevoir a été mise en évidence par plusieurs études dans différents secteurs professionnels. Chaque année, 560 000 enfants naissent de mères ayant occupé un emploi durant leur grossesse. Si la plupart des grossesses se déroulent normalement et que la majorité des enfants naissent et sont en bonne santé, certaines d'entre elles présentent des complications d'origines diverses.

### »» Objectifs d'études et recherche 2018 - 2022

- Considérer l'impact du travail sur la reproduction par une approche multirisque : chimiques, physiques, organisationnels
- Intervenir auprès de secteurs ciblés pour évaluer les réalités d'exposition

2014 → 2018

### Recherche d'effets à type de perturbations endocriniennes lors d'une exposition au DiNP en milieu industriel

■ Jean-Bernard HENROTIN  
*Département épidémiologie en entreprise*

#### Exposé des motifs et objectifs

Dans le secteur de la plasturgie, le phtalate de diisononyle (DiNP), qui n'est porteur d'aucun étiquetage de dangerosité particulier, s'est progressivement imposé comme le premier phtalate utilisé en remplacement d'un autre produit, le phtalate de diéthylhexyle (DEHP), identifié comme toxique pour la reproduction. Si des études chez l'animal rapportent une faible activité anti-androgénique du DiNP, aucune étude en entreprise n'existe concernant ce produit. En France, la plasturgie compterait 140 000 salariés dont 58 000 exposés aux phtalates. Cette étude avait pour objectif principal d'évaluer l'effet du DiNP sur les concentrations sériques de testostérone (hormone impliquée dans la fertilité) ainsi que pour objectif secondaire, la mise en évidence de conséquences subcliniques et cliniques de cet effet.

#### Démarche

Une étude épidémiologique analytique de type longitudinal a été menée entre 2015 et 2018 pour rechercher un effet à court terme sur les taux sanguins de testostérone, d'une exposition au DiNP mesurée à partir du dosage de ses métabolites urinaires (OXO-MINP, CX-MINP, OH-MINP), chaque sujet ayant été utilisé comme son propre témoin. Pour des analyses de sensibilité, il a été constitué un groupe utilisant régulièrement le DiNP au poste de travail (dit « exposé ») et un groupe n'utilisant pas le DiNP au poste de travail mais travaillant dans la même entreprise (dit « peu exposé »). Deux biomarqueurs du remodelage osseux (P1NP, CTX) et des questionnaires de santé sexuelle (questionnaires ADAM et IIEF-5) ont également été utilisés dans cette étude.

#### Résultats principaux

Cette étude a été menée dans six entreprises de plasturgie, auprès de 97 salariés (57 % « exposés ») dont 82 % travaillaient dans une activité de fabrication à chaud de tissu enduit de PVC souple. Les niveaux d'exposition au DiNP pouvaient être considérés comme relativement faibles. Il a été observé une diminution de la testostérone sérique totale chez des salariés de sexe masculin. Ce résultat apparaît pour les plus petites différences (valeurs < médiane) du métabolite urinaire appelé OXO-MINP entre le début et la fin de la période de suivi (3 jours de travail). Les diminutions observées ne semblent pas être suffisantes pour impliquer des réponses biologiques en relation avec le rétrocontrôle physiologique pituitaire (FSH, LH) ni interférer avec des biomarqueurs du remodelage osseux liées à l'exposition au DiNP. Ces résultats ne plaident pas en faveur d'un effet subclinique précoce. En outre, il est rapporté dans le groupe « exposés » plus de problèmes érectiles, mais sans lien avec les taux de testostérone sérique.



## Discussion

Il s'agit de la première étude épidémiologique en milieu de travail ciblée sur le DiNP. Les résultats sont cohérents avec certains mécanismes de perturbations endocriniennes et résistent à différentes analyses de sensibilité. Ils viennent renforcer le niveau de preuve d'un effet anti-androgénique chez l'humain déjà suggéré par d'autres études menées en population générale et par des données chez l'animal. Intégrés à ces données de la littérature, ils apportent ainsi une information supplémentaire d'intérêt pour la diffusion de messages de prévention aux entreprises. L'impact éventuel sur la santé sexuelle chez les salariés masculins se doit d'être confirmé et expliqué par d'autres recherches.

2018 → 2021

### Mise en place de modèles *in vitro* pour détecter les effets de produits chimiques sur la production des hormones sexuelles et l'activation de leurs récepteurs. Application aux mélanges

■ Dieynaba NDIAYE

*Département toxicologie et biométrie*

L'objectif de cette étude est de mettre en place trois tests *in vitro* validés pour l'étude des effets des perturbateurs endocriniens sur la fonction de reproduction. En fonction des résultats obtenus, le second objectif sera d'étudier les effets de mélanges représentatifs de situations professionnelles. Cette étude permettra de développer une expertise du potentiel de perturbation endocrinienne de substances seules et/ou en mélange pour aider à l'évaluation des effets de l'exposition des salariés.

2018 → 2020

### Déroulement des grossesses au travail et du retour à l'emploi : étude exploratoire

■ Anca RADAUCEANU et Valérie DEMANGE

*Département épidémiologie en entreprise*

En lien avec le service de santé au travail de la région parisienne, cette étude transversale explore le déroulement des grossesses au travail (parcours, professionnels impliqués, arrêts de travail, prévention, issues de grossesse) et les expositions professionnelles potentiellement à risque avant l'accouchement. S'appuyant sur la visite après congé maternité, cette étude est également associée à un recueil d'informations sur le retour à l'emploi. Les résultats devraient permettre de mieux connaître le fonctionnement du dispositif de prévention des risques professionnels (dont le risque chimique) au moment de la grossesse et éventuellement susciter des pistes d'amélioration.

2018 → 2021

### Évaluation de la toxicité prénatale de retardateurs de flamme organophosphorés chez le rat. Effets endocriniens

■ Anne-Marie SAILLENFAIT

*Département toxicologie et biométrie*

Les retardateurs de flamme organophosphorés (RFOP) sont ajoutés à une grande variété de produits pour leur conférer une résistance au feu. Ils occupent une place croissante sur le marché. Des études chez le rongeur ont montré que plusieurs RFOP avaient des effets toxiques sur le testicule et induisaient des altérations des hormones sexuelles et une baisse de la fertilité chez les mâles. L'objectif de cette étude *in vivo* est de compléter les connaissances en évaluant les effets de RFOP sur le développement et le fonctionnement du testicule fœtal lors d'une exposition *in utero*. Ces informations contribueront à mieux évaluer les dangers liés à des expositions professionnelles aux RFOP pendant la grossesse et pourront orienter le choix de substituts.

## ➔ IMPACT DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION

Dans un contexte marqué par une compétition économique et un essor technologique sans précédent, la mise en œuvre de solutions innovantes pour collecter, stocker et transmettre des informations a profondément transformé les environnements et les organisations de travail. Les progrès apportés par les technologies de l'information et de la communication ont aussi modifié les relations professionnelles. Ces usages ne sont pas sans conséquence sur la santé et la sécurité des salariés et sur les stratégies de prévention des risques professionnels, ni sur la place des collectifs de travail.

### »» Objectifs d'études et recherche 2018 - 2022

Poursuivre l'acquisition de connaissances sur les questions posées par ces mutations technologiques :

- Evaluer les conséquences en termes de risques professionnels
- Mettre en débat pratiques et usages pour le bien-être des salariés

2018 ➔ 2021

### Bien-être et usage des technologies de l'information et de la communication (TIC) : mise en débat des pratiques collectives

■ Vincent GROSJEAN

*Département Homme au travail*

■ Thèse de doctorat : Ophélie MORAND

*Cnam - Marc-Eric BOBILLIER CHAUMON*

Les technologies de l'information et de la communication sont l'objet d'interrogations multiples quant à leurs impacts psychosociaux et leur rôle dans la définition des activités des cadres et salariés du tertiaire. Cette étude vise à mettre en débat des pratiques et usages de la large palette de modalités de communication aujourd'hui disponibles dans les entreprises. L'étude suivra l'implantation de solutions en entreprise afin d'en évaluer les impacts dans une perspective plus large de l'ouverture d'espaces de dialogue sur le travail et ses conditions d'exercice.

2019 ➔ 2021

### Innovations technico-organisationnelles et risques professionnels : comprendre collectivement les atteintes à la santé pour faire émerger des pistes de prévention (projet Innotrav / Dares)

■ Muriel PREVOST-CARPENTIER

*Département Homme au travail*

Les technologies de l'information et de la communication favorisent les innovations technico-organisationnelles, facteurs de nouveaux risques, tels l'intensification du travail, le débordement de la vie professionnelle sur la vie personnelle ou le brouillage des deux sphères. L'étude s'attachera au télétravail, dont les effets sur la santé restent mal mesurés. L'objectif est de décrire les populations concernées (télétravailleurs et non télétravailleurs des collectifs professionnels), d'analyser de possibles variations d'usages, de pratiques et d'effets sur la santé, en fonction des catégories socioprofessionnelles, des tranches d'âge, du genre. La méthodologie s'appuiera sur deux approches : quantitative (enquête Sumer 2017) et qualitative via des entretiens auprès d'une quarantaine de travailleurs exposés au télétravail.

## ➔ MULTIEXPOSITIONS AU TRAVAIL

Rares sont les situations de travail où les salariés ne sont exposés qu'à un seul risque. La plupart des environnements de travail contribuent à de multiples expositions dont les effets ne sont pas toujours connus. Ils peuvent être indépendants ou interagir sur un même organe cible. Il est possible que les conséquences de ces multiexpositions soient supérieures à la somme de celles considérées individuellement si des synergies existent.

Mieux connaître et évaluer l'impact des multiexpositions permettra d'identifier les situations de travail pour lesquelles la mise en place de mesures de prévention spécifiques devra être priorisée.

### »» Objectifs d'études et recherche 2018 - 2022

- Identifier les dangers encourus par les salariés exposés à des combinaisons de nuisances
- Repérer les secteurs concernés par les multiexpositions et évaluer leurs impacts
- Développer de nouveaux outils et méthodes pour estimer les risques potentiels sur la santé

2017 ➔ 2018

### Substances chimiques volatiles et réflexe de l'oreille moyenne

■ Ludivine WATHIER et Pierre CAMPO  
*Département toxicologie et biométrie*



© Serge MORILLON / INRS

#### Exposé des motifs et objectifs

Le milieu industriel est un environnement bruyant parfois associé à une atmosphère polluée par des substances chimiques volatiles. Certaines de ces substances sont connues pour empoisonner les cellules sensorielles de l'oreille interne, d'autres sont également capables de potentialiser les effets cochléo-traumatisants du bruit chez des salariés co-exposés. Par ailleurs, il a été montré que des solvants, comme le toluène, peuvent perturber le réflexe de protection de l'oreille interne contre les bruits de forte intensité. Ce réflexe, appelé réflexe de l'oreille moyenne (ROM), est facilement mesurable chez l'homme et chez le rat. Un test de criblage en laboratoire basé sur cette sensibilité aux solvants avait été élaboré, pour identifier les solvants qui perturbent le ROM et sont donc dangereux pour l'audition en présence de bruit. Cette étude a testé

l'applicabilité de cette méthode, qui avait été mise en place avec les solvants aromatiques, à d'autres familles chimiques. Par ailleurs, les molécules testées dans cette étude ont été choisies dans le but de définir les particularités structurales qui font qu'une molécule interagit avec ses cibles neuronales.

## Démarche

Le choix des solvants s'est fait en tenant compte des spécificités structurales des molécules associées à leur encombrement stérique. Ainsi, ont été testés : des cétones avec l'acétone et la méthyl-éthyl-cétone (MEK), un alcane, le *n*-hexane, et un alcane cyclique, le cyclohexane, des solvants halogénés avec le perchloroéthylène et le trichloroéthylène. Leurs effets sur le ROM ont été mesurés chez le rat adulte mâle exposé par inhalation aux vapeurs de solvant. Le ROM était mesuré à l'aide des produits de distorsion acoustique associés à une stimulation acoustique controlatérale. Des prélèvements sanguins et cérébraux étaient effectués de façon à évaluer la charge en solvant à la fin de l'expérimentation.

## Résultats principaux

Parmi les solvants non aromatiques testés, seuls le cyclohexane et le perchloroéthylène perturbent le ROM de façon significative. La MEK, le trichloroéthylène, l'acétone et le *n*-hexane ne le modifient pas. Les différences d'activité de ces molécules ne s'expliquent pas par leur capacité à diffuser dans le cerveau puisque leur effet n'est pas corrélé à leur concentration cérébrale.

La seule explication est que ces différences sont dues à la capacité qu'elles ont d'interagir avec leurs cibles neuronales. Par exemple, la présence d'un cycle (le cyclohexane dans cette étude, le benzène dans la précédente) dans la structure du solvant organique semble requise pour perturber l'amplitude du ROM. Toutefois, par rapport au benzène (molécule de référence ayant l'effet optimal sur le réflexe), l'espace occupé par la molécule de cyclohexane est plus grand. En conclusion, cette démarche permet de classer les solvants en fonction de leur capacité à perturber le ROM et s'avère utile pour alerter de la dangerosité d'une substance volatile sur l'audition en présence de bruit.

## Discussion

Le test avait été mis au point avec des solvants aromatiques. Il a été consolidé par l'intégration des résultats obtenus avec d'autres types de solvants. Le fait de disposer de résultats pour une gamme de molécules plus large ouvre des pistes de réflexion. Une démarche prospective permettra d'exploiter ces données dans le cadre d'une étude avec des modèles numériques même si les interactions entre les solvants et leurs cibles restent complexes à objectiver.

2019 → 2021

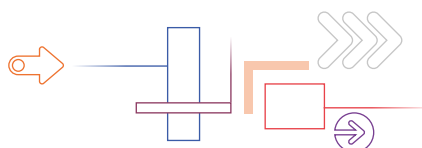
## Multiexposition chimique des travailleurs des sites et sols pollués : étude d'instruction

■ Karine GERARDIN

*Département ingénierie des procédés*

Les travailleurs impliqués dans la démarche de gestion des sites et sols pollués sont présents sur des terrains dont les sols contiennent différents types de polluants organiques et inorganiques. La problématique de l'évaluation des risques chimiques est délicate en raison des incertitudes concernant les polluants présents, des variations géographiques ou temporelles des concentrations, de la multiplicité des intervenants, du caractère temporaire du chantier.

Cette étude d'instruction a pour objectif de rassembler et analyser les éléments permettant de construire et vérifier la faisabilité opérationnelle et technique de ce projet avant de conduire une étude de terrain ciblée. Cette étape pourra inclure une phase expérimentale préliminaire.



2018 → 2020

## Évaluation biologique des multiexpositions professionnelles : mise au point du dosage urinaire des fractions non métabolisées de cinq cétones

■ Amandine ERB et Sophie NDAW

*Département toxicologie et biométrie*

En réponse à une demande des médecins du travail, ces travaux visent à mettre au point une méthode d'évaluation des expositions des salariés à cinq cétones (acétone, méthyléthylcétone, méthylisobutylcétone, cyclohexanone et diacétone alcool) dans le but également d'évaluer les co-expositions. L'analyse simultanée de cétones dans les urines sera, le cas échéant, proposée aux services de santé au travail comme un outil de surveillance des expositions professionnelles.

2019 → 2022

## Déterminants organisationnels des accidents du travail et effets de la multiexposition aux risques physiques et psychosociaux

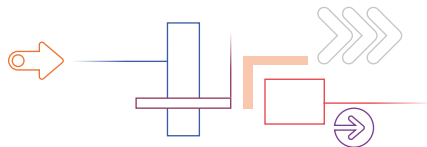
■ Régis COLIN et Stéphanie BOINI-HERRMANN

*Département épidémiologie en entreprise*

■ Thèse de doctorat : Régis COLIN

*Département épidémiologie en entreprise**Université de Rennes – Christophe PARIS*

L'étude a pour objectif d'identifier les déterminants des accidents du travail (AT) liés à l'organisation et aux situations de travail et de caractériser les effets conjoints de la multiexposition aux facteurs psychosociaux et aux facteurs physiques (interaction, médiation, modération) en tenant compte des facteurs individuels et du macro-environnement. Elle reposera sur les données de l'enquête Santé itinéraire professionnel et de l'enquête Conditions de travail de 2013, appariée à l'enquête Risques Psychosociaux de 2016. Les résultats permettront une connaissance plus fine des effets des différentes dimensions de l'environnement de travail sur la survenue d'AT. L'étude des effets des multiexpositions entre facteurs physiques et facteurs psychosociaux sur les AT, encore peu explorés, permettra de caractériser les conséquences d'expositions conjointes à plusieurs déterminants d'AT.



# COMMISSION SCIENTIFIQUE DE L'INRS

[Composition au 1<sup>er</sup> janvier 2019]

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 conduites par l'Institut. 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'INRS.

## Président

Denis BOULAUD	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). Direction environnement et intervention. Fontenay-aux-Roses (92)
---------------	--

## Vice-présidents

Annie JOLIVET	Centre d'études de l'emploi. Noisy-le-Grand (93)
Robert GARNIER	Hôpital Fernand-Widal. Centre antipoison. Paris (75)
Jean-Claude SAGOT	Université de technologie de Belfort-Montbéliard. Laboratoire systèmes et transports. Belfort (90)

## Autres membres

Paul AVAN	Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) – Université d'Auvergne. Faculté de médecine. Equipe biophysique et neurosensorielle. Clermont-Ferrand (63)
Christine CHAUVIN-BLOTTIAUX	Université de Bretagne-Sud. Centre de recherche en psychologie, cognition et communication (CRPCC). Lorient (56)
Raphaël DUMAS	Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (Ifsttar). Laboratoire de biomécanique et mécanique des chocs. Villeurbanne (69)
Daniel EILSTEIN	Santé publique France. Cellule Inégalités sociales et territoriales de santé. Direction de la prévention et de la promotion de la santé. Saint-Maurice (94)
Alexandre GARCIA	Conservatoire national des arts et métiers. Laboratoire de mécanique des structures et des systèmes couples/Laboratoire d'acoustique (LMSSC). Paris (75)
Alain GARRIGOU	Université de Bordeaux 1. Département hygiène, sécurité et environnement. Gradignan (33)
Yves GONTHIER	Université de Savoie. Polytech Annecy-Chambéry. Le Bourget-du-Lac (73)
Pascal GUÉNEL	Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm). Centre de recherche en épidémiologie et santé des populations (CESP). Villejuif (94)
Benoît IUNG	Université de Lorraine. Centre de recherche en automatique de Nancy (Cran). Vandœuvre-les-Nancy (54)
Laurence LE COQ	IMT Atlantique Bretagne-GEPEA, UMR CNRS 6144. Nantes (44)

Benoît MAUNIT	Université d'Orléans. Institut de chimie organique et analytique. Orléans (45)
Alain PINEAU	Faculté de pharmacie. Laboratoire de toxicologie. Nantes (44)
Nicolas TRICOT	Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA). Unité de recherche technologies et systèmes d'information pour les agrosystèmes. Aubière (63)
David VERNEZ	Institut universitaire romand de santé au travail. Lausanne (Suisse)
Christophe VIAL	Institut Pascal. Axe génie des procédés, énergétique et biosystèmes (Gepeb). Aubière (63)
Elisabete WEIDERPASS VAINIO	Cancer registry of Norway. Institute of population based cancer research. Oslo (Norvège)

## 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 dossiers des études, échanger avec les chercheurs et établir leur rapport d'évaluation.

### Membres du groupe de suivi département épidémiologie en entreprise

Amélie ADAM	ErdF-Grdf, Médecine du Travail, service de santé au travail. Villers-lès-Nancy (54)
Dominique CHOUAT	Groupe hospitalier Cochin. Service de pathologie professionnelle Université Paris Descartes. Paris (75)
Alexis D'ESCATHA	AP-HP. Unité de pathologie professionnelle, de santé au travail et d'insertion. Garches (92)
Pierre DUCIMETIÈRE	Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm). Vitry-sur-Seine (94)
Pascal GUÉNEL	Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm). Centre de recherche en épidémiologie et sante des populations (CESP). Villejuif (94)
Elisabete WEIDERPASS VAINIO	Cancer registry of Norway. Institute of population based cancer research. Oslo (Norvège)

### Membres du groupe de suivi département homme au travail

Christophe BONNAUD	Carsat Auvergne. Département risques professionnels. Clermont-Ferrand (63)
Sandrine CAROLY	Université de Grenoble-Alpes. UMR PACTE. Grenoble (38)
Nicolas DECHY	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire – IRSN – Pôle sûreté nucléaire. Fontenay-aux-Roses (92)

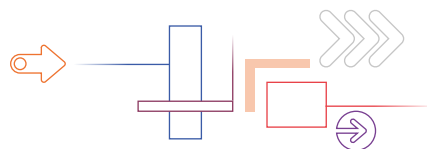


### Membres du groupe de suivi département homme au travail

Raphaël DUMAS	Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (Ifsttar). Laboratoire de biomécanique et mécanique des chocs. Villeurbanne (69)
Alain GARRIGOU	Université de Bordeaux 1. Département hygiène, sécurité et environnement. Gradignan (33)
Annie JOLIVET	Centre d'études de l'emploi. Noisy-le-Grand (93)
Annette LECLERC	Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm). Unité 687Hôpital Paul Brousse. Villejuif (94)
Jean-Pierre LIBERT	Université de Picardie Jules Verne. Laboratoire Peritox. Amiens (80)
Pascal MADELEINE	Aalborg University. Department of health, science and technology. Aalborg East (Danemark)
Philippe MAIRIAUX	Philippe MAIRIAUX - Université de Liège. Faculté de médecine. Département des sciences de la santé publique. Liège (Belgique)
Arnaud MIAS	Université Paris-Dauphine. Institut de recherche interdisciplinaire en sciences sociales (Irisso). Paris (75)
Michel NIEZBORALA	Association de santé au travail interentreprises et de l'artisanat. Toulouse (31)

### Membres du groupe de suivi département ingénierie des équipements de travail

Daniel BRISSAUD	Laboratoire SCOP. Grenoble (38)
Élodie DEQUAIRE	Centre technique des industries mécaniques (Cetim). Senlis (60)
Jacques FELBLINGER	Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm). CHU Nancy-Brabois. Imagerie adaptative, diagnostique et interventionnelle. Vandœuvre-les-Nancy (54)
Emmanuel FOLTETE	Ecole nationale supérieure de mécanique et des microtechniques (ENSMM). Département mécanique appliquée. Besançon (25)
Alexandre GARCIA	Conservatoire national des arts et métiers (Cnam). Laboratoire de mécanique des structures et des systèmes couples (LMSSC). Laboratoire acoustique. Paris (75)
Benoît IUNG	Centre de recherche en automatique de Nancy (Cran). Vandœuvre-les-Nancy (54)
Guy LE BERRE	Carsat Bretagne. Direction des risques professionnels. Rennes (35)
Emmanuel MARTEAU	Cram Ile-de-France. Paris (75)
Fodil MERAGHNI	Ecole nationale supérieure d'arts et métiers. Laboratoire d'études des microstructures et de mécanique des matériaux (LEM3). Metz (57)
Judicaël PICAUT	Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux – Centre Nantes, Laboratoire acoustique. Bouguenais (44)
Bernard ROUGIE	Institut national de métrologie du Conservatoire national des arts et métiers (Cnam). La Plaine-Saint-Denis (93)
Jean-Claude SAGOT	Université de technologie de Belfort-Montbéliard. Laboratoire systèmes et transports. Belfort (90)
Nicolas TRICOT	Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (Irstea). Unité de recherche technologies et systèmes d'information pour les agrosystèmes. Aubière (63)



### Membres du groupe de suivi département ingénierie des procédés

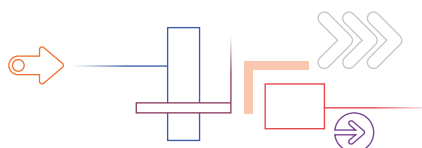
Jacques BORÉE	Ecole nationale supérieure de mécanique et d'aérotechnique. Futuroscope. Chasseneuil (86)
Jacques CATANI	Carsat Sud-Est. Laboratoire risques chimiques - métrologie. Marseille (13)
Frédéric DURAND	Laboratoire interrégional de chimie de l'est. Vandœuvre-lès-Nancy (54)
François DURIER	Centre technique des industries aérouliques et thermiques (Cetiat). Villeurbanne (69)
Philippe GÉRARDIN	Université de Lorraine. Faculté des sciences et technologie. Laboratoire d'études et de recherche sur le matériau bois. Vandœuvre-lès-Nancy (54)
Yves GONTHIER	Université de Savoie. Polytech Annecy-Chambéry. Le Bourget-du-Lac (73)
Laurence LE COQ	IMT Atlantique Bretagne. GEPEA, UMR CNRS 6144. Nantes (44)
Michel LEBRUN	Carsat Auvergne. Centre interrégional de mesures physiques. Clermont-Ferrand (63)
Michel SARDIN	Université de Lorraine. Ecole nationale supérieure des industries chimiques (Ensic). Nancy (54)
Christophe VIAL	Institut Pascal. Axe génie des procédés, énergétique et biosystèmes (Gepeb). Aubière (63)

### Membres du groupe de suivi département métrologie des polluants

Denis BOULAUD	Institut de radioprotection et de sureté nucléaire (IRSN). Direction environnement et intervention. Fontenay-aux-Roses (92)
Jacques CATANI	Carsat Sud-Est. Laboratoire risques chimiques - métrologie. Marseille (13)
Martine CHOUVET	Institut technique des gaz et de l'air (ITGA). Laboratoire PRYSM. Saint-Etienne (42)
Caroline DUCHAINE	Centre de recherche Hôpital de Laval. Département de biochimie et de microbiologie. Sainte-Foy (Québec)
Catherine HEDOUIN-LANGLET	Cram Ile-de-France. Laboratoire de toxicologie industrielle. Paris (75)
Jérôme LAVOUE	Centre de recherche du centre hospitalier de l'université de Montréal. Montréal (Canada)
Pierre LE CANN	Ecole des hautes études en sante publique. Rennes (35)
Benoît MAUNIT	Université d'Orléans. Institut de chimie organique et analytique (Icoa). Orléans (45)
Valérie PICHON	Ecole supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris (ESPCI). Paris (75)
David VERNEZ	Institut universitaire romand de santé au travail. Lausanne (Suisse)

## Membres du groupe de suivi département toxicologie et biométrie

Paul AVAN	Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) – Université d'Auvergne. Faculté de médecine. Equipe biophysique et neurosensorielle. Clermont-Ferrand (63)
Robert GARNIER	Hôpital Fernand Widal. Centre antipoison. Paris (75)
Marie-Claude JAURAND	Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm), CEPH/IUH. Paris (75)
Saadia Kerdine-RÖMER	Université Paris-Sud - Faculté de pharmacie - Laboratoire d'excellence en recherche sur le médicament et l'innovation thérapeutique. Chatenay-Malabry (92)
Pierre LEBAILLY	Centre François Baclesse. UMR Inserm Cancers et Prévention. Caen (14)
Alain PINEAU	Faculté de pharmacie. Laboratoire de toxicologie. Nantes (44)



## PUBLICATIONS DE L'ANNÉE 2018

### ➔ PRÉVENTION DES RISQUES CHIMIQUES

#### ► DÉVELOPPEMENT DE MÉTHODES

Annals of Work Exposures and Health

- CLERC F., LAVOUE J., JOSEPH L., KIRKHAM T., DAVIES H., LABRECHE F., KNOTT P., MATER G. - Expostats: A Bayesian toolkit to aid the interpretation of occupational exposure measurements. (Expostats : une bibliothèque Bayésienne pour aider à l'interprétation des mesures d'expositions professionnelles). 2018, Vol. 63, Issue 3, pp. 267-279.

Journal of Occupational and Environmental Hygiene

- KELLER F.X., CHATA F. - Characterization of wood dust emission from hand-held woodworking machines. (Caractérisation des émissions de poussières de bois par les machines portatives). 2018, Vol. 15, n°1, pp. 13-23.

Thèse de doctorat en Sciences de la vie et de la santé,  
Décembre 2018, Université de Lorraine, Nancy

- REMY A. - Analyse de données de biométrie : aspects méthodologiques et applications. *Mémoire de thèse*, 217 p.

Hygiène et sécurité du travail

- KELLER F.X. - Une méthode de mesure des émissions de polluants par les machines électroportatives. *Mars 2018*, n° 250, no19, pp. 20-21.

#### ► SUBSTANCES CANCÉROGÈNES, MUTAGÈNES OU TOXIQUES POUR LA REPRODUCTION

Occupational and Environmental Medicine

- COLIN R., GRZEBYK M., WILD P., HEDELIN G., BOURGKARDE E. - Bladder cancer and occupational exposure to metalworking fluid mist: a counter-matched case-control study in French steel-producing factories. (Cancer de la vessie et exposition professionnelle aux brouillards d'huile : une étude cas-témoins en contre-appariement dans des usines sidérurgiques du Nord-Pas-de-Calais). 2018, Vol. 75, pp. 328-336.

Toxicology Letters

- NDAW S., HANSER O., KENEPKIAN V., VIDAL M., MELCZER M., REMY A., ROBERT A., BAKRIN N. - Occupational exposure to platinum drugs during intraperitoneal chemotherapy. Biomonitoring and surface contamination. (Exposition professionnelle aux sels de platine lors des chimiothérapies intrapéritonéales. Biométrie et contamination des surfaces). 2018, December 1st, Vol. 298, pp. 171-176.

## Annals of Work Exposures and Health

- SUTTER B., PELLETIER E., BLASKOWITZ M., RAVERA C., STOLZE C., REIM C., LANGLOIS E., BREUER D. - Sampling and analysis of bitumen fumes: comparison of German and French methods to determine a conversion formula. (Prélèvement et analyse de fumées de bitumen : comparaison des méthodes Allemande et Française pour la détermination d'un facteur de conversion). July 2018, *Volume 62, Issue 6*, pp. 721–732.

## Bulletin épidémiologique hebdomadaire

- NDAW S., ROBERT A., RICOLFI C., MARSAN P. - Soignants et médicaments cytotoxiques. Place de la biométrie dans la maîtrise des risques dans le temps. Evaluation des expositions professionnelles : un levier pour la prévention, 22 mai 2018, n°12-13, pp 252-257.

## Les Cahiers de la Recherche - santé, environnement, travail

- WILD P., SAUVAIN J.J., HULO S. - Exposition aux fluides de coupe et marqueurs d'effets précoces : stress oxydant, inflammation et génotoxicité. Juin 2018, n° 11, pp. 16-18.

## Références en santé au travail

- NDAW S., DENIS F., MARSAN P., REMY A., ROBERT A. - Etude multicentrique de l'exposition professionnelle aux médicaments cytotoxiques dans 12 établissements hospitaliers. Biométrie et mesure de la contamination des surfaces. Juin 2018, n°154, tf255, pp. 81-92.
- BOURGKARD E., COLIN R., BERTRAND C., VEILLE M., GENOUD J., ROUSSELLE D., GIRARDEY C., GOUTET P., WILD P., GRZEBYK M. - Cancer de la vessie et expositions professionnelles aux fluides de coupe : étude épidémiologique parmi les travailleurs de la sidérurgie en France. Septembre 2018, n°155, tf258, pp. 51-63.

## Note scientifique et technique

- REMY A., JACOBY N., ROBERT A., WILD P. - Biométrie des expositions professionnelles au chrome hexavalent et à ses composés. NS361, juin 2018, 49 p.

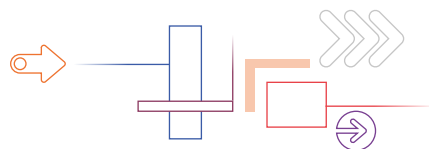
## ► SUBSTANCES ALLERGISANTES

### Contact Dermatitis

- HUPPERT C., PARIS C., LANGONNE I., MULLER S., MATHIOT J., ABDESSADEQ H., GAGNAIRE F., BATAIS F., SPONNE I. - Activation of T cells by dendritic cells in a murine model to detect chemical allergens. (Activation des cellules T par des cellules dendritiques dans un modèle murin pour la détection d'allergènes chimiques). 2018, Vol. 79, Issue 2, pp. 67-75.

### BMC Pulmonary Medicine

- DEMANGE V., ZMIROU-NAVIER D., BOHADANA A., WILD P. - Do airway inflammation and airway responsiveness markers at the start of apprenticeship predict their evolution during initial training? A longitudinal study among apprentice bakers, pastry makers and hairdressers. (Des marqueurs d'inflammation et de réactivité bronchique mesurés en début d'apprentissage prédisent-ils leur évolution pendant la formation ? Une étude longitudinale chez des apprentis boulangers, pâtisseries et coiffeurs). 2018, Vol. 11, issue 18(1):113.



### International Journal of Tuberculosis and Lung Disease

- WILD P., MEVEL H., PENVEN E., ZMIROU-NAVIER D., BARBAUD A., BOHADANA A., PARIS C. - FeNO levels increase with degree of sensitization in apprentices at risk of occupational asthma. (Les niveaux du NO expiré augmentent avec le degré de sensibilisation chez des apprentis à risque d'asthme professionnel). 2018, Vol. 21, Issue 11, pp. 1194-1200.

### Compostage et Composts - Avancées scientifiques et techniques Coll. Environnement - Chapitre 11, Editions Lavoisier, Paris, 2018

- CHOLLOT A., DIRRENBARGER P., DEMANGE V., DUQUENNE P., POIROT P., SIMON X., SILVENTE E. - Exposition aux polluants chimiques et microbiologiques en unité de compostage et risques pour la santé des travailleurs *In: Amaury de Guardia*, pp. 359-391.

### Références en santé au travail

- BATAIS F. - Prédire un potentiel allergisant par des tests in vitro. 2018, n° 154, td254, pp 143-144.

### Thèse de doctorat en toxicologie «Sciences de la vie et de la santé, Université de Lorraine, Nancy

- HUPPERT C., BATAIS F., SPONNE I. - Développement d'un modèle de coculture cellules dendritiques-lymphocytes T pour l'évaluation du danger des substances sensibilisantes. *Mémoire de thèse*, 280 p.

## ► NANOPARTICULES ET PARTICULES ULTRAFINES

### Analyst

- KOLLER D., BRAMHALL P., DEVOY J., GOENAGA-INFANTE H., HARRINGTON C., NUNEZ S., MORTON J., LEESE L., SAMPSON B., POWELL J. - Analysis of titanium levels of human whole blood by Inductively Coupled Plasma Spectrometries: an inter-laboratory comparison to determine best practice. (Analyse des niveaux de titane du sang total humain par des spectromètres plasmatiques couplés inductivement : une comparaison inter-laboratoire pour déterminer les meilleures pratiques). 2018, Vol. 143, pp. 5520-5529.

### Toxicology and Applied Pharmacology

- CHALANSONNET M., CARABIN N., BOUCARD S., MERLEN L., MELCZER M., ANTOINE G., DEVOY J., REMY A., GAGNAIRE F. - Study of potential transfer of aluminum to the brain via the olfactory pathway. (Etude du transfert potentiel de l'aluminium vers le cerveau par la voie olfactive). 2018, Vol. 283, pp.77-85.

### Toxicology Letters

- CHEZEAU L., SEBILLAUD S., SAFAR R., SEIDEL C., DEMBELE D., LORCIN M., LANGLAIS C., GROSSMANN S., NUNGE H., MICHAUX S., DUBOIS POT SCHNEIDER H., A KOHLSTAEDT L., RIHN B., JOUBERT O., BINET S., COSNIER F., GATE L. - Short- and long-term gene expression profiles induced by inhaled TiO2 nanoparticles in rat lung. (Etude au niveau pulmonaire du profil d'expression de gènes à court et long terme chez le rat exposé par inhalation à un aérosol de dioxyde de titane.). 2018, Vol 1, n° 356, pp. 54-64.

## Powder Technology

- CHARVET A., WINGERT L., BARDIN-MONNIER N., PACAULT S., FOURNIER F., BEMER D., THOMAS D. - Multi-staged granular beds applied to the filtration of ultrafine particles: An optimization of collector diameters. (Application des lits granulaires multicouches à la filtration des particules ultrafines : optimisation du diamètre des collecteurs). *October 2018, Vol. 342 pp. 341-347.*

## Journal of Nanoparticle Research

- BAU S., BOURROUS S., GAIE-LEVREL F., WITSCHGER O. - Characterization of aerosols generated from 9 nanomaterial powders: reliability with regard to in vivo inhalation toxicology studies. (Caractérisation des aérosols produits à partir de 9 poudres de nanomatériaux : pertinence vis-à-vis d'études de toxicologie par inhalation). *October 2018, Vol. 20, n° 276, 12 p.*

## Journal of Aerosol Science

- BAU S., BOURROUS S., RIBEYRE Q., LINTIS L., YON J., THOMAS D., VALLIERES C., OUF F.X. - A semi-automatic analysis tool for the determination of primary particle size, overlap coefficient and specific surface area of nanoparticles aggregates. (Un outil d'analyse semi-automatique pour la détermination de la distribution en taille de particules primaires, de leur coefficient de recouvrement et de la surface spécifique d'agrégats de nanoparticules). *2018, Vol. 126, pp. 122-132.*

## Micron

- WITSCHGER O., DAZON C., MAXIT B. - Comparison between a low-voltage benchtop electron microscope and conventional TEM for number size distribution of nearly spherical shape constituent particles of nanomaterial powders and colloids. (Comparaison entre un microscope électronique basse tension et un MET conventionnel pour la détermination de la distribution en nombre de particules constituantes quasi sphériques de nanomatériaux en poudres et colloïdes). *Micron, 2018, Vol. 116, pp. 124-129.*

## Journal of Occupational and Environmental Hygiene

- BAU S., PAYET R., TOUSSAINT A., WITSCHGER O., TODEA A.M., MONZ C., ASBACH C. - Combining NSAM and CPC concentrations to determine airborne nanoparticle count median diameter: application to various laboratory and workplace aerosols. (Couplage NSAM-CPC pour la détermination du diamètre médian en nombre d'aérosols de nanoparticules : application à divers aérosols produits en laboratoire et rencontrés en atmosphères professionnelles). *2018, Vol. 15, n°6, pp. 492-501.*

## Environments

- C Ø JENSEN A., DAL MASO M., KOIVISTO A., BELUT E., MEYER-PLATH A., VAN TONGEREN M., SÁNCHEZ JIMÉNEZ A., TUINMAN I., DOMAT M., TOFTUM J., K KOPONEN I. - Comparison of geometrical layouts for a multi-box aerosol model from a single-chamber dispersion study. (Comparaison de dispositions géométriques pour un modèle multi-zones d'exposition aux aérosols à partir d'une étude en chambre de dispersion). *2018, vol. 5, n°52, 16 p.*

## Base de données Gene Expression Omnibus

- SEIDEL C., VALENTINO S., SEBILLAUD S., LORCIN M., CHEZEAU L., DARNE C., BAU S., GROSSMANN S., VITON S., NUNGE H., DOUTEAU L., MICHAUX S., COSNIER F., GATE L. - Inhaled multi-walled carbon nanotubes-induced gene expression profile in rat lung. (L'inhalation de nanotubes de carbone multi-feuillets modifie le profil d'expression génique dans les poumons de rat.). *BDD GEO <http://ncbi.nlm.nih.gov/geo>.*



SELF 18 – 53<sup>ème</sup> Congrès International Société d'Ergonomie de Langue Française, 3-5 Octobre Avril 2018, Bordeaux, France

GALEY L., JUDON N. - Développement des nanotechnologies : intégrer l'activité de travail à la mesure pour l'analyse des expositions. *Actes*, 7 p.

Thèse de doctorat en toxicologie «Sciences de la vie et de la santé, Octobre 2018, Université de Lorraine, Nancy

■ CHEZEAU L. - Etude au niveau pulmonaire du profil d'expression de gènes et de protéines chez le rat exposé par inhalation à un aérosol de particules nanostructurées de dioxyde de titane. *Mémoire de thèse*, 222 p.

## ► PROTECTION COLLECTIVE ET INDIVIDUELLE

### Waste Management

■ LECLER M.T., ZIMMERMANN F., SILVENTE E., MASSON A., MORELEY Y., REMY A., CHOLLOT A. - Improving the work environment in the fluorescent lamp recycling sector by optimizing mercury elimination. (Améliorer l'environnement de travail dans le secteur du recyclage des lampes fluorescentes en optimisant l'élimination du mercure). *2018, Vol. 76, pp. 250-260.*

### Adsorption - Journal of the International Adsorption Society

■ DELACHAUX F., VALLIERES C., MONNIER H., LECLER M.T. - Experimental study of NO and NO<sub>2</sub> adsorption on a fresh or dried NaY zeolite: influence of the gas composition by breakthrough curves measurements. (Etude expérimentale de l'adsorption de NO et NO<sub>2</sub> sur une zéolite NaY en présence d'eau : influence de la composition du gaz par des mesures de courbes de rupture). *2019, Vol. 29, Issue 1.*

### Annals of Work Exposures and Health

■ CHAZELET S., WILD P., SILVENTE E., EYPERT-BLAISON C. - Workplace Respiratory Protection Factors during Asbestos Removal Operations. (Facteur de protection en situation de travail lors d'opérations de désamiantage). *May 2018, Volume 62, Issue 5, pp. 613-621.*

### Theoretical Chemistry Accounts

■ HESSOU E., KANHOUNNON W., ROCCA D., MONNIER H., VALLIERES C., LEBEGUE S., BADAWI M. - Adsorption of NO, NO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> over isolated monovalent cations in faujasite zeolite: a periodic DFT investigation. (Etude de l'adsorption de NO, NO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>O et CO<sub>2</sub> sur des cations monovalents isolés dans la zéolite faujasite par modélisation moléculaire (DFT)). *2018, Vol. 137, Issue 12, <https://doi.org/10.1007/s00214-018-2373-2>.*

### Hygiène et sécurité du travail

■ GUICHARD R., ROMERO-HARIOT A., DUBERNET F. - Chantiers de désamiantage sous confinement : impact de la ventilation sur l'empoussièrment. *Juin 2018, n°251, ec22, pp. 76-81.*

■ ROBERT L., MANDIN C. - Qualité de l'Air Intérieur : état des lieux de la prévention et perspectives. *Septembre 2018, n° 252, cc24, pp. 92-97.*

■ BRACONNIER R. - Centres de contrôle technique poids lourds : ventilation des fosses de visite. *Décembre 2018, n° 253, nt69, pp. 62-70.*

### Thèse de doctorat en Génie des Procédés, des Produits et des Molécules, Décembre 2018, Université de Lorraine, Nancy

- DELACHAUX F. - Etude de la faisabilité d'un procédé d'adsorption gaz-solide pour le traitement des NOx et CO en présence d'eau - Application aux émissions de moteurs diesel en espaces confinés. *Thèse, 181 p.*

### Note scientifique et technique de l'INRS

- BRACONNIER R. - Analyse par simulation numérique de la ventilation des fosses de visite des centres de contrôle technique poids lourds. *NS 357, février 2018, 65 p.*

### Roomvent & Ventilation 2018, June, 2-5, 2018, Espoo, Finland

- ROBERT L., GUICHARD R., KLINGLER J., COCHET V., MANDIN C. - Impact of ventilation on indoor air quality in a sports store. (Impact de la ventilation sur la qualité de l'air intérieur dans un magasin de sport). *Proceedings, 6 p.*
- PAPADOPOULOS A., GUICHARD R., VAN HOOFF T., FONTAINE J.R., BLOCKEN B. - Measurements of Wind Effects on the Efficacy of Asbestos Containment in a High-Rise Building. (Effets du vent sur l'efficacité d'un confinement amiante dans un immeuble de grande hauteur). *Proceedings, 6 p.*
- KELLER F.X., BAU S., PAYET R., ROUSSET D. - Additive metal manufacturing emission characterization. (Caractérisation des émissions d'un procédé de fabrication additive métallique). *Proceedings, 6 p.*

## ► AUTRES RISQUES CHIMIQUES

### Drug and chemical toxicology

- COSNIER F., GROSSMANN S., NUNGE H., BROCHARD C., MULLER S., LAMBERT XOLIN A.M., SEBILLAUD S., RIEGER B., THOMAS A., DECRET M.J., BURGART M., GATE L., COSSEC B., CAMPO P. - Metabolism of inhaled methylethylketone in rat. (Métabolisme de la méthyléthylcétone après inhalation chez le rat). *2018, Vol. 41, n° 1, pp. 42-50.*

### Hygiène et sécurité du travail

- GARRIGOU A., JUDON N., HELLA F., ESTEVE W. - Vers une méthode d'évaluation de l'exposition cutanée aux substances contenues dans le bitume. *2018, n° 249, DO19, p. 34-39.*
- LANGLOIS E., MELIN S., OURY B., REDAELLI M., VERINES L., BONNET A.S., TREIBER A. - Soins et décoration des ongles : état de lieux des expositions au risque chimique. Juin 2018, n°251, nt61, pp. 54-60.
- DIRRENBARGER P., NICOT T., KUNZ-IFFLI J., MONTA N., GROSJEAN J., GALLAND B. - Evaluation de l'exposition à l'ammoniac : apport de la détection en temps réel. *Septembre 2018, n°252, nt65, pp. 66-72.*

### Références en santé au travail

- LAROCCA B., PASSERON J. - Les fiches internationales de sécurité chimique désormais disponibles en langue française. *2018, n° 152, ac114, pp. 7-8.*

## ➔ PRÉVENTION DES RISQUES PHYSIQUES ET MÉCANIQUES

### ► BRUIT

#### Hygiène et sécurité du travail

- TROMPETTE N. - Systèmes de commande vocale (voice-picking) en logistique : évaluation de l'exposition aux bruits et solutions de prévention. *Décembre 2018, n° 253, ec23, pp. 76-80.*

#### ICSV25 – 25<sup>th</sup> International Congress on Sound and Vibration, July, 8-12, 2018, Hiroshima, Japon

- CHEVRET P, LENNE L. - A ground study for the evaluation of the effect of sound masking on occupational health and wellbeing in open-plan spaces. (Etude de terrain pour l'évaluation des effets du masquage sonore sur la santé et le bien-être au travail en open-space). *Proceedings, 7 p.*

#### CFA' 18 – 14<sup>ème</sup> Congrès Français d'Acoustique, 23-27 Avril 2018, Le Havre, France

- RABISSE K., DUCOURNEAU J., FAIZ A., TROMPETTE N. - Application d'un modèle numérique de propagation sonore en milieu confiné délimité par des parois à relief géométrique). *Proceedings, 7 p.*

### ► CHUTES

#### Hygiène et sécurité du travail

- LECLERCQ S. - La notion d'accident avec perturbation du mouvement : quelle utilité pour la prévention ? *Mars 2018, n° 250, nt 59, pp. 58-62.*

### ► PROTECTION COLLECTIVE ET INDIVIDUELLE

#### Hygiène et sécurité du travail

- MARCHAL P. - Systèmes de protection individuelle intelligents : une définition et une démarche pour leur analyse. *Juin 2018, n° 251, Décryptage, dc21, pp. 6-9.*
- GRAND G. - Filets de sécurité pour les travaux en hauteur : tests de vieillissement. *Décembre 2018, n° 253, no22, pp. 20-21.*

#### SIAS 2018, 9<sup>ème</sup> conférence internationale sur la sécurité des systèmes industriels automatisés, Nancy, France, 10-12 octobre 2018

- MARCHAL P. - General principles of smart personal protection systems design. (Principes généraux de conception des systèmes de protection individuelle intelligents). *Actes, 7 p.*

## ► VIBRATIONS

### Medical Engineering & Physics

- NOEL C. - A three-dimensional visco-hyperelastic FE model for simulating the mechanical dynamic response of preloaded phalanges. (Un modèle tridimensionnel éléments finis pour simuler la réponse mécanique dynamique de phalanges précontraintes vibrées). *2018, Vol. 61, November 2018, pp. 41-50.*

7<sup>th</sup> ACHV, American Conference on Human Vibration, June, 13-15, 2018, Seattle, USA

- NOEL C. - A multi-scale approach for predicting acute and chronic effects of mechanical vibration on the digital vascular network. (Une approche multi-échelles pour la prédiction de certains effets aigus et chroniques des vibrations mécaniques sur le réseau vasculaire digital). *Proceedings, 2 p.*

### Note scientifique et technique

- LEMERLE P. - Une nouvelle méthode de propagation d'onde acoustique pour mesurer les propriétés des matériaux viscoélastiques. *NS 359, juin 2018, 67 p.*

## ➔ PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES

## ► AGENTS ALLERGISANTS

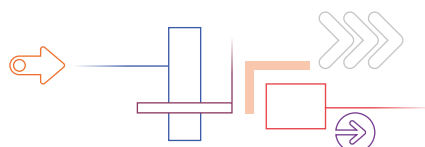
### International Archives of Occupational and Environmental Health

- BARRERA C., WILD P., DORRIBO V., SAVOVA-BIANCHI D., LABOISSIERE A., PRALONG J., MILLON L., REBOUX G. - Exposure to field versus storage wheat dust: different consequences on respiratory symptoms and immune response among grain workers. (Exposition à la poussière de blé sur le terrain par rapport à la poussière de stockage: conséquences différentes sur les symptômes respiratoires et la réponse immunitaire chez les céréaliers). *2018, <https://doi.org/10.1007/s00420-018-1322-7>.*

## ► EXPOSITION AUX AGENTS PATHOGÈNES

### Hygiène et sécurité du travail

- DUQUENNE P., BURZONI S., SIMON X. - Les méthodes disponibles pour la mesure des bio-aérosols au poste de travail. *Septembre 2018, n° 252, do22, pp. 38-42.*
- DUQUENNE P., FACON B. - Exposition aux bioaérosols dans les centres de tri des déchets ménagers recyclables. *Septembre 2018, n° 252, do22, pp. 43-52.*



## ► MYCOTOXINES ET ENDOTOXINES

### Journal of Aerosol Science

- DUQUENNE P., COULAIS C., BAU S., SIMON X. - Performances of the BC-112 NIOSH cyclone for the measurement of endotoxins in bio-aerosols: A study in laboratory conditions. (Performances du cyclone BC-112 développé par le NIOSH pour la mesure des endotoxines dans les bio-aérosols : une étude en conditions de laboratoire). 2018, Vol. 116, pp. 92-105.

### Hygiène et sécurité du travail

- JARGOT D., MELIN S., NDAW S. - Mycotoxines dans l'air des lieux de travail : les méthodes de mesures évoluent. Juin 2018, n° 251, nt63, pp. 70-75.

## ➔ PRÉVENTION DES RISQUES LIÉS À L'ORGANISATION ET AUX SITUATIONS DE TRAVAIL

## ► CONCEPTION DES LIEUX ET SITUATIONS DE TRAVAIL

### Hygiène et sécurité du travail

- DELECROIX B., BOUDRA L. - Intégrer la prévention des risques professionnels dans le projet national d'extension des consignes de tri. Mars 2018, n°250, ec21, p. 72-76.

### 20<sup>th</sup> Congress of the International Ergonomics Association, IEA 2018, August, 26-30, Florence, Italy

- SAVIN J., GAUDEZ C., GILLES M., PADOIS V., BIDAUD P. - Digital Human Model Simulation of Fatigue-induced Movement Variability during a Repetitive Pointing Task. (Simulation de la variabilité du mouvement induite par la fatigue lors d'une tâche répétitive de pointage). *Proceedings*, 10 p.
- GILLES M., GAUDEZ C., SAVIN J., REMY A., REMY O., WILD P. - How age and pace of work affect movement variability during repetitive assembly tasks. (Variabilité du mouvement lors d'assemblages effectués de façon répétitive en fonction de l'âge et de la cadence). *Proceedings*, 7 p.

### SIAS 2018, 9<sup>ème</sup> conférence internationale sur la sécurité des systèmes industriels automatisés, Nancy, France, 10-12 octobre 2018

- DAILLE-LEFEVRE B., LUX A., ETIENNE A., SIADAT A. - Working equipments' safe design: two complementary tools to take into account real working situations' variability. (Conception sûre des équipements de travail : deux outils complémentaires pour prendre en compte la variabilité des situations réelles de travail). *Actes*, 8 p.
- EL MOUAYNI I., ETIENNE A., SIADAT A., DANTAN J.Y., LUX A. - A simulation-based approach for work system compatibility assessment using time allowances. (Une approche basée sur la simulation pour évaluer les marges de manœuvre d'un système de production). *Actes*, 8 p.

### Note scientifique et technique

- EL MOUAYNI I. - Proposition d'une méthode outillée pour améliorer les aspects santé-sécurité dès les premières phases de conception des systèmes de production par la prise en compte des marges de manœuvre temporelles. *NS 360, juillet 2018, 171 p.*

## ► HORAIRES ATYPIQUES

SELF 2018 - 53<sup>ème</sup> Congrès International Société d'Ergonomie de Langue Française, 3-5 octobre 2018, Bordeaux, France

- CHOUIKHA E., MORVAN E., PLANÇON G. - Transformer l'organisation du travail posté : retour d'expérience à partir d'une intervention dans le secteur aéronautique. *Actes, 9 p.*

## ► MAINTENANCE

### Santé & travail

- GRUSENMEYER C. - Une externalisation à risques multiples. *Juillet 2018, n° 103, 7 p.*

### Note scientifique et technique

- GRUSENMEYER C., NIVELET T. - Proposition d'une méthode outillée pour améliorer les aspects santé-sécurité dès les premières phases de conception des systèmes de production par la prise en compte des marges de manœuvre temporelles. *NS 363, septembre 2018, 73 p.*

SIAS 2018, 9<sup>ème</sup> conférence internationale sur la sécurité des systèmes industriels automatisés, Nancy, France, 10-12 octobre 2018

- GIRAUD L., BLAISE J.C., TISSOT C. - Analysis of machinery accidents in the food processing industry during the cleaning and disinfection phases. (Analyse des accidents de machines dans l'industrie agro-alimentaire pendant les phases de nettoyage et de désinfection). *Actes, 6 p.*

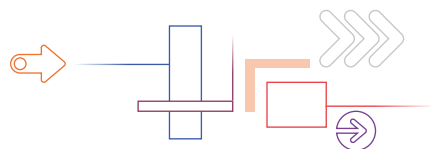
## ► NOUVELLES FORMES DE TRAVAIL, D'EMPLOI ET D'ORGANISATION

### Hygiène et sécurité du travail

- GILLES M., MORAND O., MORVAN E., SAVESCU A., VAN DE WEERDT C., WIOLAND L. - Ergonomie et facteurs humains : innovations et perspectives. *Décembre 2018, n° 253, cc25, pp. 84-88.*

20<sup>th</sup> Congress of the International Ergonomics Association, IEA 2018, August, 26-30, Florence, Italy

- MORVAN E., BUCHMANN W. - What becomes of lean manufacturing after it is implemented? A longitudinal analysis in 2 French multinational companies. (Que devient le Lean après l'implantation ? Une étude longitudinale dans 2 entreprises françaises.). *Proceedings, 10 p.*



## ► CULTURE DE PRÉVENTION ET PERCEPTION DU RISQUE

### Hygiène et sécurité du travail

- TRONTIN C., DELECROIX B., SABATHÉ J.P. - Investir dans la prévention, l'exemple d'un groupe hospitalier. *Jun 2018, n°251, juin 2018, do21, pp. 31-35.*
- DRAIS E., ANDEOL-AUSSAGE B. - Management de la santé-sécurité et cultures organisationnelles de prévention : quels liens ? Quelles perspectives ? *Décembre 2018, n° 253, do23, pp. 46-51.*
- ROSSIGNOL K., DUCHET É., DEVAUX É. - L'incitation au travail collectif dans les outils d'évaluation du management de la S&ST. *Décembre 2018, n°253, do23, p. 36-40.*

### 20<sup>th</sup> Congress of the International Ergonomics Association, IEA 2018, August, 26-30, Florence, Italy

- GARRIGOU A., JUDON N., GALEY L. - Contributions of ergonomics to the development of prevention projects: the role of intermediate prevention objects. (Contributions de l'ergonomie au développement de projets de prévention : rôle des objets intermédiaires de prévention). *Proceedings, 9 p.*

## ► RISQUES PSYCHOSOCIAUX

### Archives des maladies professionnelles et de l'environnement

- CLAUDE M., PIRLOT M.P., MORAND O., GROSJEAN V. - Pratiques de connexion et état de santé des cadres. *Mai 2018, n° 79, Th9-P430, p. 460.*

### In Berghmans C., Intelligence et compétence émotionnelles en entreprise : perspectives multiples, Paris, L'Harmattan, 2018

- VAN DE WEERDT C. - La régulation de la charge émotionnelle dans le secteur des services à la personne. *Chapitre 10, pp. 269-289.*

### Références en santé au travail

- FAVARO M., MARC J. - Présentation et modalités pratiques de mise en œuvre d'un outil dédié à la prévention des violences au travail. *Septembre 2018, n°155, tc163, pp. 25-37.*

### SELF 18 – 53<sup>ème</sup> Congrès International Société d'Ergonomie de Langue Française, 3-5 Octobre Avril 2018, Bordeaux, France

- LAPOIRE-CHASSET M. - L'ergonome et le psychologue face aux RPS. Quelles pratiques face à la multiplication des statuts d'intervention ? *Actes, 8 p.*
- GROSJEAN V., MORAND O. - Analyse du travail, construction et transformation du réel. Appréhender les conflits par le théâtre-forum et l'approche systémique. *Actes, 8 p.*
- VAN DE WEERDT C. - Prévention des risques liés aux exigences émotionnelles : un exemple de recherche-intervention menée dans une petite entreprise. *Actes, 8 p.*
- VAN DE WEERDT C. - Intervenir en psycho-ergonomie sur les émotions au travail dans une petite entreprise : réflexion sur les spécificités et précautions d'intervention. *Actes, 3 p.*



## ► TRANSPORT, LOGISTIQUE, RISQUE ROUTIER

### Pistes

- HELLA F., RADAUCEANU A., ATAIN-KOUADIO J.J., PAYET R., COLIN R. - Démarche multidisciplinaire appliquée à l'analyse d'une activité dans un environnement dynamique : la conduite de véhicule léger à La Poste pour la distribution du courrier et du colis. *Eté 2018 « Boulot », Vol. 20, n°2, DOI : 10.4000/pistes.5733.*

### Hygiène et sécurité du travail

- WIOLAND L., GOVAERE V. - Une chaîne d'entreprises du fournisseur au client : enjeux et approches pour la prévention. *Mars 2018, n°250, cc 22, p. 80-84.*
- GOVAERE V., WIOLAND L. - PROPAGIR : une démarche de prévention destinée aux entreprises et services organisés en réseau dans le secteur de la logistique et du Transport Routier de Marchandises. *Septembre 2018, n°252, nt66, pp. 74-79.*

### Références en santé au travail

- WIOLAND L., GOVAERE V. - Démarche de prévention pour les entreprises organisées en réseau : le cas du transport et de la logistique. *2018, n°155, tf257, pp. 39-49.*

### Livrable 2 du projet « Smart Planning » ANR-16-CE26-0017

- GOVAERE V., WIOLAND L. - Modélisation des contraintes et des compromis spécifiques au domaine du Transport Routier de Marchandise (TRM). *Juin 2018, 39 p.*

### 20<sup>th</sup> International Conference on Human-Computer Interaction, HCI 2018, July, 15-20, Las Vegas, Nevada, USA

- AVRIL E., NAVARRO J., WIOLAND L., GOVAERE V., GOURC D., KHADEMI K., DIMOPOULOS C., DARGENT É., RENAUDEAU N., CEGARRA J. - Automation and complacency: insights from a (static) planning task in the transportation domain. (Automatisation et complaisance: informations issues d'une tâche de planification (statique) dans le domaine des transports). *Proceedings, 8 p.*

### 20<sup>th</sup> Congress of the International Ergonomics Association, IEA 2018, August, 26-30, Florence, Italy

- WIOLAND L., GOVAERE V. - Defining an occupational risk prevention approach for networked organisational configurations: the case of road haulage and logistics. (Définition d'une démarche de prévention des risques professionnels à destination des organisations en réseaux : le cas du transport routier de marchandise et de la logistique). *Proceedings, 10 p.*
- GOVAERE V., WIOLAND L., CEGARRA J., GOURC D., CLÉMENT A. - Smart Planning - Approaching the Characteristics of a Valid, Balanced Transport Round. (Smart Planning : premiers pas vers la définition des caractéristiques d'une tournée de transport valide et équilibrée). *Proceedings, 10 p.*

### ARPEGE, Doctoriales 2018, 2018, 1<sup>er</sup> Juin, Paris, France

- AVRIL E., NAVARRO J., WIOLAND L., CEGARRA J. - Etude sur le contentement des opérateurs humains face à différents types d'automatisation : application au domaine des transports. *Actes, 8 p.*

## ► TROUBLES MUSCOLOSQUELETTIQUES

### Applied Ergonomics

- SAVESCU A., CUNY A., WILD P., RENO G., AUBLET-CUVELIER A., CLAUDON L. - Objective assessment of knife sharpness over a working day cutting meat. (Evaluation objective du pouvoir de coupe du couteau sur une journée de travail dans la filière viande). *2018, Vol. 68, pp. 109-116.*

### Le travail humain

- CUNY A., CAROLY S., COUTAREL F., AUBLET-CUVELIER A. - Les composantes de la marge de manœuvre situationnelle d'encadrants de proximité en situation de sous-traitance : enjeux pour la prévention des TMS. *Juin 2018, Vol. 81, p. 85-114.*

### Perosh report

- WEBER B., DOUWES M., FORSMAN M., KONEMANN R., HEINRICH K., ENQUIST H., PINDER A., PUNAKALLIO A., UUSITALO A., DITCHEN D., TAKALA E.P., DRAICCHIO F., DESBROSSES K., WICHTL M., STREBL M., WAERSTED M., GUPTA N., LECHNER N., ALVAREZ BAYONA T., HOEHNE HUCKSTADT U., MATHIASSEN S.E., HOLTERMANN A., VEIERSTED K.B. - Assessing arm elevation at work with technical systems. (*Evaluation de l'élévation du bras au travail au moyen de systèmes techniques*).

### Le concours médical

- AUBLET-CUVELIER A., CLAUDON L., CUNY A., ROQUELAURE Y. - Prévention des troubles musculosquelettiques en entreprise : démarches collectives et individuelles. *Mai 2018, tome 140, p. 35-37.*

### Hygiène et sécurité du travail

- THEUREL J., DESBROSSES K. - Usage d'un exosquelette d'assistance des bras : bénéfices et contraintes lors de tâches de manutention. *Juin 2018, n° 251, nt62, pp. 62-68.*
- DESBROSSES K. - Le comportement sédentaire et travail : de quoi parle-t-on ? *Septembre 2018, n°252, dc22, pp. 6-10.*

### Références en santé au travail

- CLAUDON L., AUBLET-CUVELIER A., GAUTIER M.A., KERLO-BRUSSET M. - Pratique d'exercices physiques au travail et prévention des TMS : revue de la littérature. *Mars 2018, n°153, tc161, pp. 25-40.*

### In B. Fouquet, A. Descatha, C. Hérisson, Médecine de réadaptation et pathologies professionnelles - Sédentarité et travail, Editions Sauramps Médical, Montpellier, 2018

- AUBLET-CUVELIER A., PETKUNAITE N., DESPRÉAUX T., DESCATHA A. - Sédentarité : impact sur les os, les cartilages et les tendons. *Mars 2018, pp. 50-60.*
- AUBLET-CUVELIER A., PETKUNAITE N., DESPRÉAUX T., DESCATHA A. - Comportement sédentaire et inactivité physique, quelle différence ? *Mars 2018, pp. 20-27.*
- DESCATHA A., DESPRÉAUX T., AUBLET-CUVELIER A., LECLERC A., EVANOFF B., ROQUELAURE Y. - Epidémiologie de la sédentarité dans le monde du travail. Analyses descriptives dans Constance, une large étude épidémiologique française. *Mars 2018, pp. 28-41.*

20<sup>th</sup> Congress of the International Ergonomics Association, IEA 2018, August, 26-30, Florence, Italy

- SAVESCU A., SIMONET P. - Interdisciplinary association between biomechanics and clinic of activity: challenges and modalities. (Association interdisciplinaire entre analyse biomécanique et clinique de l'activité : enjeux et modalités). *Proceedings*, 7 p.
- CUNY A., CAROLY S., COUTAREL F., AUBLET-CUVELIER A. - Identifying situational operational leeway for subcontract supervisors so as to progress in MSD prevention. (Identifier les marges de manœuvre situationnelles d'encadrants de proximité sous-traitants pour progresser dans la prévention des troubles musculosquelettiques). *Proceedings*, 9 p.

SELF 18 – 53<sup>ème</sup> Congrès International Société d'Ergonomie de Langue Française, 3-5 Octobre Avril 2018, Bordeaux, France

- THEUREL J. - Symposium - Intérêts et limites des exosquelettes pour la prévention des TMS : Comprendre pour agir. *Actes*, 8 p.

## ► VIEILLISSEMENT, RETOUR AU TRAVAIL ET PRÉVENTION DE LA DÉSINSERTION PROFESSIONNELLE

### Applied Ergonomics

- GILLES M., WILD P. - Grasping an object at floor-level: Is movement strategy a matter of age? (Attraper un objet au sol : La stratégie de mouvement dépend-elle de l'âge?). *Juillet 2018*, vol. 70, pp. 34-43

### Santé & travail

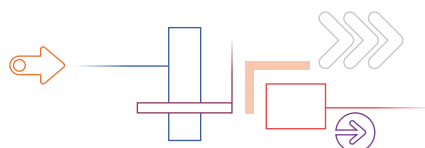
- PICHENE-HOUARD A., LAPOIRE-CHASSET M. - Des stratégies d'action adaptables, pour réduire la charge physique des pâtisseries salariés de l'artisanat. *Avril 2018*, n°102, p. 37.

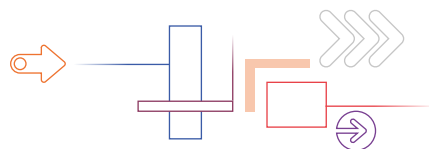
### Références en santé au travail

- DELECROIX B., SALMON I., DESBROSSES K., VIEIRA M., ADAM B. - Développement du monoripage et conditions de travail – une étude de l'INRS. *2018*, n°152, tf249, p. 53-63.
- GUYOT S. - Maintenir en emploi ou soutenir le travail ? La place de la santé au fil des parcours professionnels. *Décembre 2018*, n° 156, td258, pp. 65-73.

29<sup>ème</sup> congrès de l'AGRH (Association Francophone de Gestion des Ressources Humaines), 29-31 Octobre 2018, Lyon, France

- SALMON I., JUBAN J.Y. - La gestion des âges ou comment une idée mal conçue débouche sur des pratiques qui passent à côté de la question majeure : la santé. *Actes*, 21 p.





## ► AUTRES RISQUES

### Hygiène et sécurité du travail

- BOINI S., COLIN R., GRZEBYK M. - Accidents du travail chez les jeunes : la formation initiale en S&St joue-t-elle un rôle préventif ? *Septembre 2018, n° 252, nt67, p. 80-89.*

Journée mondiale de la sécurité et de la santé au travail 2018 «Génération santé et sécurité», 3 mai 2018, Paris, France

- BOINI S., COLIN R., GRZEBYK M. - Formation initiale en santé - sécurité : quel impact sur la survenue d'accidents du travail chez les jeunes ?

## ➔ THÉMATIQUES FOCUS

## ► AIDE ET SOIN À LA PERSONNE

### Références en santé au travail

- COATES L., DELEPINE A., AUBLET-CUVELIER A., GAYET C., BRUNEL A. - Aide et soins à la personne : quels risques, quelle prévention ? Symposium INRS et CARSAT Sud-Est, 35<sup>e</sup> Congrès national de médecine et de santé au travail. *Décembre 2018, n°156, td259, pp.75-79.*

## ► IMPACT DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION

20<sup>th</sup> Congress of the International Ergonomics Association, IEA 2018, August, 26-30, Florence, Italy

- MORAND O., CAHOUR B., BOBILLIER-CHAUMON M.E., GROSJEAN V. - Overload of Technological Connections for Communicating at Work. (Surconnexion aux Technologies de l'Information et de la Communication au travail). *Proceedings, 10 p.*

### Références en santé au travail

- PIERRETTE M., PATY B. - Peut-on encore parler de workaholisme à l'heure du numérique ? *Décembre 2018, tp31, n°156, pp. 89-96.*

## ► INDUSTRIE DU FUTUR ET PREVENTION

### Hygiène et sécurité du travail

- TIHAY D. - Robotique collaborative : perception et attentes des industriels. *Mars 2018, n° 250, nt58, pp. 50-57.*
- MARSOT J. - L'industrie du futur : de quoi parle-t-on ? *Décembre 2018, n° 253, dc23, pp. 6-10.*

## MOSIM'18 – 12<sup>ème</sup> Conférence internationale de modélisation, optimisation et simulation – 27-29 Juin 2018, Toulouse, France

- CLÉMENT A., MARMIER F., KAMISSOKO D., GOURC D., WIOLAND L., GOVAERE V., CEGARRA J. - Robustesse, résilience : une brève synthèse des définitions au travers d'une analyse structurée de la littérature. *Actes*, 8p.

## SIAS 2018, 9<sup>ème</sup> conférence internationale sur la sécurité des systèmes industriels automatisés, Nancy, France, 10-12 octobre 2018

- SGHAIER A., BAUDOIN J., BELLO J.P., JOCELYN S., BURLET-VIENNEY D., GIRAUD L. - Industrial collaborative robot application: experimental implementation of safety-rated monitored stop. (Application robotique collaborative industrielle : mise en œuvre de l'arrêt nominal de sécurité contrôlé). *Actes*, 7 p.
- LAMY P., PERRIN N. - Impact of changes in machinery during production: toward a forecast of dangerous situations? (Impact d'aléa de production : vers un pronostic de situations dangereuses ?). *Actes*, 6 p.
- TIHAY D., PERRIN N. - Human-robot coactivity: need's analysis. (Co-activité homme-robot : analyse des besoins). *Actes*, 8 p.

## ► MULTIEXPOSITIONS AU TRAVAIL

### Neurotoxicology

- CHALANSONNET M., CARRERES M., VENET T., THOMAS A., MERLEN L., SEIDEL C., COSNIER F., NUNGE H., POUYATOS B., LLORENS J., CAMPO P. - Combined exposure to carbon disulfide and low-frequency noise reversibly affects vestibular function. (La co-exposition du disulfure de carbone avec un bruit riche en basses fréquences affecte la fonction vestibulaire de manière réversible). *2018, Vol. 67, pp. 270-278.*

### Xenobiotica

- COSNIER F., NUNGE H., BONFANTI E., GROSSMANN S., LAMBERT XOLIN A.M., MULLER S., SEBILLAUD S., THOMAS A., GATE L., CAMPO P. - Toluene and methylethylketone: effect of combined exposure on their metabolism in rat. (Toluène et méthyléthylcétone : effet de l'exposition combinée sur leur métabolisme chez le rat). *2018, Vol. 48, n°7, pp. 684-694.*

### Journal of the Acoustical Society of America

- FUENTE A., QIU W., ZHANG M., XIA H., KARDOUS C., CAMPO P., MORATA T.C. - Use of the kurtosis statistic in an evaluation of the effects of noise and solvent exposures on the hearing thresholds of workers: an exploratory study. (Utilisation de la statistique kurtosis dans l'évaluation des effets du bruit et des solvants sur les seuils auditifs des salariés : une étude pilote). *March 2018, Vol. 143, n°3, pp. 1704-1710.*

### Références en santé au travail

- CAMPO P. - Bruit et substances ototoxiques : co-expositions professionnelles et extraprofessionnelles. *Juin 2018, n°154, td254, pp. 139-144.*

### Thèse de doctorat en Toxicologie, Mars 2018, Université de Barcelone, Barcelone

- CARRERES M. - Effet sur l'audition et l'équilibre de co-exposition à un bruit riche en basses fréquences et au disulfure de carbone (CS<sub>2</sub>). *Mémoire de thèse, 271 p.*

### Notes scientifiques et techniques

- CARRERES M., CHALANSONNET M. - Effet sur l'audition et l'équilibre de co-exposition à un bruit riche en basses fréquences et au disulfure de carbone (CS<sub>2</sub>). NS 362, juillet 2018, 271 p.
- LAROCCA B., BERTRAND N., BINET S., CAMPO P., CLERC F., COATES L., PILLIERE F. - Guide d'utilisation de MiXie France. NS 358, mars 2018, 17 p.

## ► REPRODUCTION ET TRAVAIL

### Archives of Toxicology

- SAILLENFAIT A.M., NDAW S., ROBERT A., SABATE J.P. - Recent biomonitoring reports on phosphate ester flame retardants. A short review. (Surveillance biologique des retardateurs de flamme organophosphorés. Brève revue de la littérature récente). 2018 September, Vol. 92, Issue 9, pp. 2749-2778.

### Toxicology Letters

- NDAW S., REMY A., DENIS F., MARSAN P., JARGOT D., ROBERT A. - Occupational exposure of cashiers to Bisphenol S via thermal paper. (Exposition professionnel des agents de caisse au Bisphénol S lors de la manipulation de papiers thermiques). Toxicology Letters, 2018 December, Vol. 298, pp. 106-111.

### Toxicology

- SAILLENFAIT A.M., SABATE J.P., DENIS F., ANTOINE G., ROBERT A., ELJARRAT E. - The pyrethroid insecticides permethrin and esfenvalerate do not disrupt testicular steroidogenesis in the rat fetus. (Les insecticides pyrèthroïdes, la perméthrine et l'esfenvalérate, ne perturbent pas la stéroïdogénèse testiculaire chez le fœtus de rat). December 2018, Vol. 410, Issue 1, pp. 116-124.

### BMJ Open

- KRIEF P., ZELLWEGER A., POLITIS-MERCIER M., DANUSER B., WILD P., ZENONI M., PROBST I. - Protection of pregnant women at work in Switzerland: practices, obstacles and resources. A mixed-methods study protocol. (Protection des femmes enceintes au travail en Suisse: pratiques, obstacles et ressources. Un protocole d'études de méthodes mixtes). June 2018 - Vol. 8, Issue 6, 8 p., 8:e023532. doi:10.1136/bmjopen-2018-0.

### Gynécologie obstétrique fertilité & sénologie

- HENROTIN J.B., VAISSIERE M., ETAIX M., DZIURLA M., MALARDS S., LAFON D. - Prise en compte du travail dans la surveillance des salariées enceintes : anticipation, prévention, communication, arrêt de travail. 2018, Vol. 46, pp. 20-27.

### La revue de l'infirmière

- HENROTIN J.B., VAISSIERE M., ETAIX M., LAFON D. - Grossesse au travail dans les métiers de la santé, quels suivis et surveillances. Août-septembre 2018, n°243, pp 36-38.

---

■ Directeur de publication  
Stéphane PIMBERT

■ Rédaction en chef  
Louis LAURENT

■ Direction rédactionnelle et coordination générale  
Patricia BERNARD, Pascal WILD

■ Crédits photos de la couverture :  
Photos INRS : Serge MORILLON, département MP

■ Recueil de données "études et recherche"  
Catherine AUBRY, Chantal ROLIN

■ Ont également contribué à la publication  
Les responsables d'études de l'INRS

■ Conception graphique  
Trait d'Union

■ Mise en page  
Groupe GET

■ Impression  
1 250 exemplaires - Imprimerie JOUVE

Édition INRS ED 4485 - ISSN 2265-0504





Notre métier, rendre le vôtre plus sûr

**Siège social**

65, boulevard Richard Lenoir - 75011 Paris  
Tél. : 01 40 44 30 00

**Centre de Lorraine**

1, rue du Morvan - CS 60027 - 54519 Vandœuvre-lès-Nancy cedex  
Tél. : 03 83 50 20 00

**Courriel : [info@inrs.fr](mailto:info@inrs.fr)**

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

