

# Études & Recherche

## Rapport 2020/2021



## → 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.

### » 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, des risques toxiques, aux risques mécaniques ou psychosociaux. 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 en 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

Éditorial de Louis LAURENT, Directeur des études et recherche de l'INRS .....	4
Introduction .....	6
Présentation des laboratoires de l'INRS .....	13
Entretien avec Sandrine CAROLY, Professeur à l'Université Grenoble-Alpes – UMR Pacte .....	16

### ■ Programme Études et recherche 2020-2021

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

#### Programmes de prévention

Prévention des risques biologiques .....	18
Prévention des risques chimiques .....	20
Prévention des risques physiques et mécaniques .....	44
Prévention des risques liés à l'organisation et aux situations de travail .....	51

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

Industrie du futur et prévention .....	64
Reproduction et travail .....	66
Impact des technologies de l'information et de la communication .....	68
Polyexpositions au travail .....	69

■ Composition de la Commission scientifique et des groupes de suivi .....	71
---	----

■ Liste des publications 2020 .....	75
-------------------------------------	----



© INRS / 2021

**Louis LAURENT**  
Directeur des études et recherche

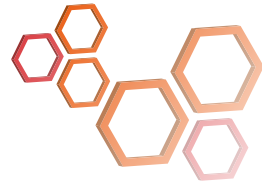
## ➔ Éditorial

Cette douzième édition du rapport annuel Etudes & recherche 2020-2021 décrit les études en cours en 2021, et apporte une vision plus détaillée de celles terminées en fin d'année 2020, soit un total de 99 projets. Ces travaux de recherche, dédiés à la prévention des risques professionnels, s'inscrivent dans un continuum d'activités qui va de la création de connaissances à leur transfert vers les entreprises et les acteurs de la prévention.

Je souhaite, à cette occasion, souligner trois caractéristiques de l'activité études et recherche, telle que décrite dans ce qui suit.

**La recherche continue de méthodes innovantes en matière d'évaluation des expositions.** Il s'agit par exemple de répondre à une évolution réglementaire requérant le développement de méthodes de mesure, d'être en capacité de mesurer des grandeurs mal connues, de mettre en œuvre des dispositifs simples et peu onéreux, facilement utilisables sur le terrain. Certaines études sont à l'origine de développements originaux ; dans d'autres cas, il s'agit d'importer des techniques connues dans d'autres domaines pour les adapter à la problématique de la santé au travail. Pour citer quelques exemples, la mesure des constituants des brouillards d'huile, l'apport de la spectrométrie de masse non ciblée à la biométrie, des dispositifs simples de caractérisation de nanomatériaux, l'utilisation de fluides supercritiques comme solvants. De nouvelles méthodes sont également déployées pour analyser des dangers, en particulier avec l'objectif d'en faire des méthodes de référence reconnues et transférables, tout en réduisant le recours aux essais faisant appel à des modèles animaux. Citons notamment un nouveau test de détection *in vitro* de substances allergènes.

**L'importance de l'apport des sciences humaines et sociales**, notamment la sociologie, l'ergonomie, la psychologie, l'accidentologie. L'année 2020 a vu l'aboutissement d'un nombre important d'études faisant appel à ces disciplines. On peut citer des travaux sur la culture de prévention : comment la mesurer, la caractériser, quels sont les freins à son développement. De même une étude porte sur la prise en compte et la gestion des risques pour la santé par l'encadrement intermédiaire. Citons également un travail sur le développement d'une méthode d'analyse des accidents, et sa mise à l'épreuve sur le terrain.



**L'analyse globale de situations de travail**, considérant l'activité humaine dans son environnement technique et organisationnel. Citons le projet « industrie du futur » qui traite notamment de la cobotique, aussi bien du point de vue de l'ingénierie que de la perception du travailleur qui collabore avec un robot. De même une étude sur la prévention de l'exposition du personnel soignant au protoxyde d'azote porte sur les dispositifs médicaux, le traitement des gaz mais aussi l'influence du geste professionnel sur l'exposition. D'autres projets suivant cette approche transversale sont en cours de préparation et apparaîtront dans la prochaine édition.

La pandémie de Covid-19 a continué à impacter l'activité de recherche. Un tiers des projets ont ainsi été retardés. Toutefois ces difficultés ont conduit les chercheurs à consacrer plus de temps à la rédaction d'articles, dont le nombre est en forte hausse en 2020. La pandémie a également suscité des travaux à court terme visant à apporter des réponses rapides sur des sujets tels que l'efficacité des masques ou l'impact de la pandémie sur la santé et la sécurité dans certains secteurs d'activité (aide à la personne et logistique en particulier).

J'espère que la lecture de ce rapport vous apportera un éclairage utile sur les apports scientifiques et techniques de l'INRS, à la santé et sécurité au travail.

### » Direction des études et recherche

Elle a pour mission d'assurer l'orientation, l'animation et la coordination des activités d'études et de recherche de l'INRS ainsi que l'analyse des tendances et évolutions pouvant avoir un impact sur la santé et sécurité au travail. Elle développe des partenariats scientifiques nationaux, 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 :

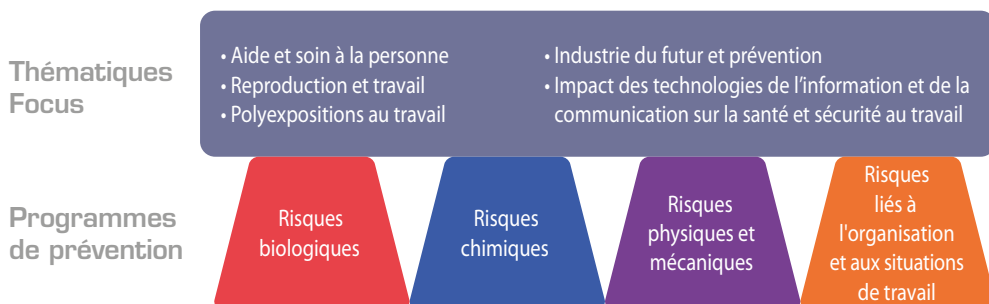
- études et recherche,
- assistance,
- formation,
- information.

Les études et la 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 la 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).

Ces six départements comptent environ 260 personnes (sur un effectif total de 579 postes permanents à l'INRS, dont environ 60 % au centre de Lorraine) auxquelles il faut ajouter 24 doctorants. Parmi ces personnels permanents, 62 % sont des chercheurs ou ingénieurs, 24 % sont impliqués dans des activités de support technique, 9 % sont des doctorants. Les 5 % 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 et d'information.

Au cours de 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 de même que la nécessité d'élaborer et mettre en œuvre des méthodologies menant à des résultats fiables font que cette activité partage avec le monde académique des caractéristiques communes de rigueur et d'excellence scientifique. 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 :

- la caractérisation des expositions de salariés à des substances chimiques ou biologiques, la mise au point de procédés permettant de les caractériser ;
- l'évaluation d'équipements de protection collectifs ou individuels ;
- l'identification des dangers, notamment par une approche toxicologique ;
- la quantification des risques, par exemple par une approche épidémiologique ;
- l'impact des modes d'organisation sur les accidents du travail et les maladies professionnelles ;
- la définition, à partir de l'expérimentation, de critères utiles pour des activités de normalisation ;
- l'élaboration et l'évaluation 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, à de nouvelles technologies ou substances, ou à de nouveaux processus de production, 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, l'essor du télétravail notamment suite à la pandémie. 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 des risques plus récents apparus avec l'émergence des nanomatériaux et pas encore parfaitement connus et 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 de 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 99 études évoquées dans ce rapport montre qu'environ 40 % d'entre elles comportent des interventions sur le terrain.

Enfin, en lien avec les autres départements de l'INRS, l'activité se prolonge par le **transfert des connaissances** obtenues vers leurs bénéficiaires, notamment les entreprises, les préventeurs et les services de santé au travail.

## CONTINUUM RECHERCHE - TRANSFERT DE CONNAISSANCES



**Exemple de transfert de connaissances** : Les travaux concernant les **robots collaboratifs** font suite à un exercice de prospective de l'INRS consacré à l'utilisation de dispositifs d'assistance physique à l'horizon 2030. Ce continuum entre résultats d'études, offre d'information, apport à la normalisation... s'inscrit dans un contexte de mutation technologique au sein des entreprises, conjugué à l'engouement suscité par ces dispositifs robotisés d'assistance physique. Les travaux de l'INRS avaient pour but d'analyser l'impact du recours aux robots collaboratifs sur la santé et la sécurité des opérateurs afin de mettre en œuvre des mesures de prévention adaptées aux différents modes de collaboration homme-robot.

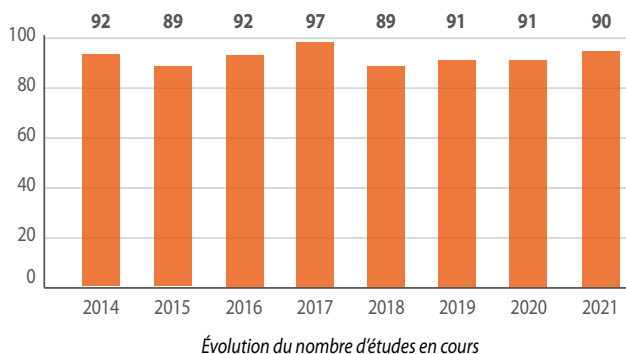
Ce **transfert** peut revêtir des formes variées : articles dans des revues nationales pour les préventeurs, organisation de journées techniques, de webinaires, participation à des événements et congrès régionaux ou nationaux, fiches décrivant des méthodes d'analyse, contribution à la normalisation,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

Une composante importante de ce transfert est la **publication** des résultats en français dans des revues destinées aux préventeurs. Les deux revues de l'INRS : *Hygiène et sécurité du travail* et *Références en santé au travail* jouent un rôle privilégié. Sur la période 2016-2020, 250 articles ont été publiés dans des revues nationales, dont 90 % 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.



La **validation** de l'activité est organisée selon une procédure faisant intervenir, d'une part, des scientifiques et experts indépendants, 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.

D'une part, les scientifiques et experts 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 scientifique et des groupes de suivi page 71).

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 de l'INRS 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 établissements de santé, des agences (Anact, Anses, Santé publique France) ou divers établissements (CSTB, Ineris, IRSN...), le réseau régional de l'Assurance maladie – Risques professionnels (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 12 autres membres du réseau européen Perosh, sans oublier l'IRSST au Canada. 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. Une proportion importante des partenaires académiques de l'INRS est composée de laboratoires non dédiés au sujet santé et travail, qui apportent des compétences dans des domaines variés (ingénierie, technologies de l'information, sciences humaines et sociales, physicochimie...). Les partenaires travaillant spécifiquement sur la thématique santé au travail sont quelques laboratoires français, mais surtout les homologues étrangers de l'INRS.

Ces échanges se matérialisent par des collaborations à l'occasion de projets de recherche. C'est ainsi que, sur les 154 études lancées entre 2014 et 2021, 102 soit 66 % impliquent des collaborations. Pour 18 % de ces 154 études, ces collaborations sont internationales. On retrouve un pourcentage similaire de collaborations en analysant les affiliations des auteurs des publications de l'INRS.

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 existe, en 2020, 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. 24 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	31
Services de santé au travail, médecine du travail	6
Centres hospitalo-universitaires (CHU)	3
Ministères	2
Écoles, universités françaises et établissements de recherche	80
Instituts - Agences - Centres de recherche français	43
Entreprises, centres techniques et syndicats professionnels	11
Autres organismes	6
Partenaires étrangers <i>(dont 15 dans le cadre de Perosh et 6 avec Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et Sécurité au Travail (Montréal))</i>	48
<b>TOTAL</b>	<b>230</b>

*Les 230 partenaires mobilisés dans les 154 études impliquant des collaborations et lancées entre 2014 et 2021*

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. En 2021, 9 études s'inscrivent dans des actions collaboratives financées par des agences externes (4 financements européens, 3 ANR, 2 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 aéronautique (IA) de l'INRS. Les activités du LMPP ont conduit au développement de techniques de pointe dans le domaine de la mécanique des fluides numérique, 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.

## » 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 14 organismes de 13 pays. Ce réseau sert de support à des activités communes. Il est notamment utile pour partager des informations, voire mener des activités sur des sujets de préoccupation communs.

Parmi les exemples :

- Le groupe « Bien-être au travail » qui 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. La prochaine conférence est prévue en 2022 à Cracovie.
- Des échanges sur les risques liés aux huiles de coupe lors d'un atelier qui s'est tenu à Paris en janvier 2020. Un second événement est prévu en décembre 2021.
- Deux ateliers d'échanges d'information sur les aspects santé et sécurité au travail liés à la robotique d'une part et la réalité virtuelle ou augmentée d'autre part.
- Un travail collectif de revue sur l'exposition des personnes en charge de la collecte des déchets qui a été publié en 2021 dans la revue « Sciences of the Total Environment ».

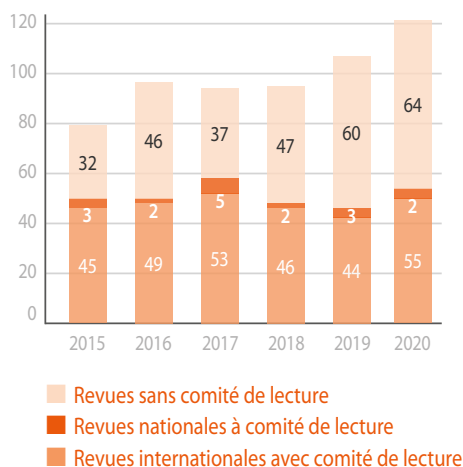
### La validation des projets et des résultats

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

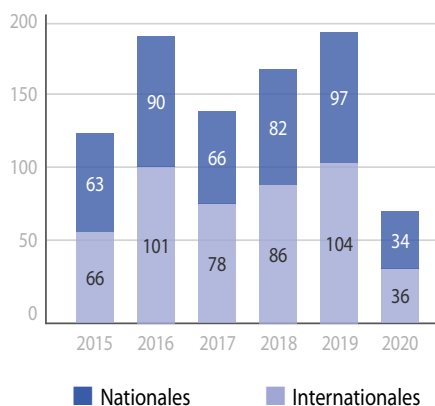
Une **évaluation** externe par les pairs au niveau de la publication des résultats : lorsque le sujet de l'étude s'y prête (il faut exclure les travaux à caractère trop exploratoire ou à caractère purement applicatif), les équipes publient leurs résultats dans des revues internationales à comité de lecture, ce qui revient à organiser une mise en débat des résultats. Si on analyse les 103 études lancées entre 2014 et 2018, on note qu'environ 64 % ont donné lieu à une publication dans une revue à comité de lecture (et 37 % au moins deux).

De même, la présentation des résultats à des colloques internationaux constitue un moyen de les confronter avec les travaux des autres équipes.

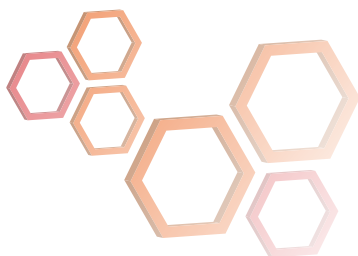
Nombre de publications dans des revues



Nombre de communications à des colloques de portée nationale ou internationale



L'année 2020, marquée par la pandémie de Covid-19, a vu un grand nombre de manifestations scientifiques nationales et internationales annulées ou reportées.



## ➔ Présentation des laboratoires de l'INRS

**En 2020, les actions d'études et de recherche ont représenté environ 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 / 2014

### » 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

Évaluation  
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 / 2018

### » 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 / 2018

## » 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

Immunologie, sensibilisation  
et allergie

Toxicocinétique, inhalation  
et passage cutané



© Serge MORILLON - INRS / 2018

## » 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 / 2017

## » 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 / 2012

## » 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.





**Sandrine CAROLY**  
 Université Grenoble-Alpes -  
 UMR Pacte  
 Membre de la commission  
 scientifique de l'INRS

## ➔ Entretien avec Sandrine CAROLY

**En tant que Professeur en ergonomie, vous êtes impliquée dans de nombreux projets de recherche et en charge d'enseignements auprès de futurs ingénieurs notamment. Vos travaux visent à améliorer la conception des situations de travail, s'intéressent à l'innovation, à l'activité collective et à la transformation des organisations du travail, en particulier dans le cadre de la prévention des troubles musculosquelettiques (TMS), une préoccupation majeure de santé au travail. Pouvez-vous nous éclairer sur les perspectives de recherche dans ce domaine ? L'innovation technologique et les évolutions organisationnelles ouvrent-elles de nouvelles voies ?**

Les TMS sont en effet un sujet de préoccupation majeur en santé et sécurité au travail. Il est important de rappeler que la prise en compte multifactorielle des TMS a été initiée il y a une quinzaine d'années, par le biais de travaux que j'ai pu accompagner auprès de l'INRS, associant les aspects biomécaniques et psychologiques en lien avec le travail, l'organisation, ou le management. A l'heure actuelle, alors que les connaissances sont disponibles et les démarches de prévention outillées, les voies de développement portent essentiellement sur trois aspects.

Tout d'abord, elles concernent les marges de manœuvre et la façon dont l'encadrement organise le travail en offrant, de manière constructive, la possibilité aux salariés de réguler les process, de participer à l'accomplissement de leurs tâches. Ces recherches s'appuient sur des apports en

sociologie, physiologie, ou épidémiologie.

La deuxième voie empruntée depuis plusieurs années, vise les très petites entreprises et le soutien aux dispositifs de prévention adaptés à ce type de structures. Les enjeux sont de soutenir un mode d'organisation vertueux vis-à-vis des TMS, en favorisant une prévention-action soutenue par l'encadrement de proximité, en tenant compte des spécificités de l'activité (horaires de travail, temps de récupération, conciliation entre vie personnelle et professionnelle...). C'est sur ces aspects que se joue aussi la prévention des TMS au quotidien.

Enfin, l'avènement de l'industrie 4.0, et de la cobotique en particulier, nous questionne encore. L'introduction du robot pour soulager l'opérateur élargit la dimension physique et psychosociale du travail. Cette coopération homme-robot transforme l'approche cognitive de la tâche et impacte le geste professionnel. Les démarches de prévention ne peuvent se focaliser sur une approche techno-centrée, mais je sais que l'INRS a bien pris la mesure de ces évolutions.

**En matière d'études et recherche, les liens entre physiologie et psychologie du travail sont désormais bien établis et pris en compte dans la prévention des TMS et des RPS. Quels sont, à votre avis, les leviers, les ressources qui doivent être mobilisés dans les entreprises pour mener des actions favorables à la santé et aux conditions de travail des salariés ?**

Il est juste de souligner que ces aspects sont liés et que l'organisation du travail tient une place essentielle dans l'instauration d'une prévention durable de ces risques.





Comme je le soulignais, le renforcement des démarches participatives, la capacité à mobiliser les salariés autour de l'analyse et de l'amélioration des conditions de travail ont fait leurs preuves, dans un triptyque : tester - simuler - expérimenter.

Au sein des entreprises les ressources existent et peuvent être mobilisées. Une manière de faire consiste à renforcer le dialogue social ; en amont de la conduite de projet, pour éviter les erreurs de conception ; en aval pour corriger si besoin des situations inadaptées. Pour cela, créer un espace d'échanges conciliant prescription, mais aussi variabilité, activité individuelle et collective, permet de mieux anticiper d'éventuelles perturbations.

Le second levier repose sur la formation des acteurs de l'entreprise, qu'ils soient managers, concepteurs ou préventeurs. Pierre angulaire de « l'édifice prévention » la sensibilisation aux fondamentaux de santé et sécurité au travail doit s'élargir à des publics intermédiaires, en relation constante avec les entreprises : experts comptables, fédérations professionnelles, chambres de commerce. L'INRS est au fait de ces questions et contribue activement à délivrer les messages et bonnes pratiques de prévention, avec un important catalogue de formations ou des outils tels la grille GPSST, citée dans les pages qui suivent.

**En quoi l'évolution actuelle des formes d'emploi et de travail, auxquelles l'INRS s'intéresse, vous interpelle-t-elle vis-à-vis des risques d'accidents ou de maladies professionnelles ? Quel peut être leur impact en matière de prévention, dont on entend parfois dire qu'il faudrait l'adapter ou la réinventer en partie ?**

Les transformations sociétales et leurs impacts en santé et sécurité au travail intéressent évidemment les experts et chercheurs que nous sommes. Concernant les RPS ou TMS, les approches actuelles sont de mieux prendre en compte les variables de genre (féminin, masculin). Il s'agit, tout en balayant les stéréotypes, d'évaluer plus finement les expositions, de mieux cerner leurs effets sur la santé. Les nouvelles formes de gouvernance et

l'essor d'entreprises libérées, aux modes économiques organisés à la tâche (plateformisation) posent aussi des questions en termes de risques (surinvestissement...) sur lesquels l'INRS s'est positionné et continue d'apporter des connaissances. Les enjeux écologiques sont également au cœur des investigations avec des métiers qui se créent, se transforment, dans différentes filières.

Faut-il réinventer la prévention ? Sans doute pas, mais mutualiser davantage les connaissances acquises, croiser plus encore différentes disciplines dans un modèle de prévention avancé, peut-être. Un peu comme l'INRS le fait en activant ses quatre modes d'action complémentaires ; en fait, dépasser la seule notion de mesure pour encourager davantage de liens, à tous les échelons.

### » Carte d'identité de Pacte laboratoire de sciences sociales, UMR 5194

Pacte est une unité mixte de recherche du CNRS, de l'Université Grenoble Alpes et de Sciences Po Grenoble implantée principalement sur le site universitaire Grenoble Alpes.

Ses membres sont investis dans la construction de langages communs et de connaissances transverses sur les transformations de nos sociétés dans leurs dimensions politiques, territoriales, sociologiques et écologiques. La laboratoire place l'interdisciplinarité au cœur de ses pratiques, par le partage et la confrontation des méthodes, des épistémologies, et des terrains communs.

Pacte rassemble environ 130 chercheurs et 170 doctorants de différentes disciplines (sociologie, science politique, urbanisme, géographie, économie...) répartis en cinq équipes de recherche et épaulés par une trentaine d'ingénieurs et techniciens.

[www.pacte-grenoble.fr/](http://www.pacte-grenoble.fr/)

# PROGRAMMES DE PRÉVENTION 2018 - 2022

Les pages qui suivent proposent une présentation détaillée des 15 études qui se sont achevées fin 2020, ainsi qu'un résumé des 84 études en cours en 2021.

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 sur le thème des risques biologiques portent principalement sur le développement de méthodes de mesure et de recherche d'effets sur la santé d'expositions des travailleurs à des microorganismes ou à des molécules qui en sont issues, comme les endotoxines ou les bioaérosols évoqués ci-après.

La démarche générale consiste à mettre au point des méthodes d'analyse et à les tester sur le terrain, comme pour les première et troisième études présentées ci-après.

## ► MYCOTOXINES ET ENDOTOXINES

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.

2021

### Étude d'instruction sur la faisabilité de la recherche d'effets sur la santé d'une exposition professionnelle aux mycotoxines

■ Valérie DEMANGE, Eve BOURGKARD

*Département épidémiologie en entreprise*

■ Sophie NDAW

*Département toxicologie et biométrie*

Des études menées en milieu de travail ont mentionné une co-exposition possible à plusieurs mycotoxines. L'exposition, les mécanismes d'action et les effets sur la santé des mycotoxines en milieu professionnel sont mal connus et les mesures de prévention peu développées. Cette étude d'instruction vise à clarifier le type d'entreprise concerné, les mycotoxines cibles, les mécanismes physiopathologiques et les effets sur la santé, les biomarqueurs d'exposition, les matrices biologiques à prélever, les constituants du bioaérosol à prendre en compte..., en vue de définir un protocole d'étude épidémiologique qui s'appuiera sur des mesures biométrie.

## ► EXPOSITIONS AUX AGENTS PATHOGÈNES

2017 → 2020

### 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.

2020 → 2022

### Travaux d'intercomparaison en vue d'harmoniser la validation des méthodes de prélèvement et d'analyse des bioaérosols

■ Pauline LOISON, Xavier SIMON

*Département métrologie des polluants*

Les risques biologiques et la survenue d'affections respiratoires concernent plusieurs millions de salariés, qui sont exposés aux bioaérosols. Plusieurs méthodes de mesure ont été validées et transférées par l'INRS. Toutefois, il est nécessaire de poursuivre un effort de développement de méthodes afin de mieux appréhender et interpréter la complexité de ces expositions dans les environnements professionnels. Cette étude a pour objectif principal de proposer des préconisations sur la mise au point et la validation harmonisée des méthodes de prélèvement et d'analyse des bioaérosols.

## ➔ Prévention des risques chimiques

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

Pour autant, même si les niveaux d'exposition ont baissé et que 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 polyexpositions** (voir thématique focus page 69).
- **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, 31 études liées à ces objectifs généraux sont présentées.

Les treize premières s'inscrivent dans l'axe **développement de méthodes liées aux mesures d'exposition ou pour la prévention**:

- elles portent sur l'évaluation des expositions, qu'il s'agisse d'optimiser les méthodes de prélèvement destinées 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, mise au point de méthodes statistiques.

Huit études portent sur la **connaissance des expositions**. Il s'agit d'acquérir des données sur l'exposition de travailleurs à des postes divers tels que les locaux de stockage, les conteneurs, les travaux sur des métaux.

Dix autres études traitent de **protection collective et individuelle** :

- sept portent sur l'efficacité de systèmes associés à la protection collective par des procédés tels qu'abattage humide, ventilation, filtration ;
- une étude est liée aux équipements de protection individuelle ;
- deux portent sur la réduction à la source des émissions d'oxyde d'azote par des moteurs diesel de chantiers.

## ► DÉVELOPPEMENT DE MÉTHODES

ÉTUDE  
TERMINÉE

2013 → 2020

### 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



© Gael Kerbaol - INRS / 2021

#### Exposé des motifs et objectifs

L'évaluation des expositions professionnelles est une étape essentielle dans la démarche de prévention, mais elle est parfois négligée en raison de la complexité et des coûts associés à la métrologie. L'objectif de cette étude était de proposer une méthode alternative à l'extraction au solvant organique avant l'analyse des polluants organiques, simple à mettre en œuvre, rapide, peu coûteuse, n'utilisant pas de solvant, polyvalente et performante.

Cette méthode fait appel à la désorption des échantillons prélevés par du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) à l'état supercritique, couplée aux moyens traditionnels d'analyse chimique. L'état supercritique est un état intermédiaire entre les états liquide et gazeux. Les fluides possèdent alors une masse volumique et un pouvoir de solubilisation équivalents à ceux de l'état liquide et une viscosité équivalente à celle de l'état gazeux, ce qui leur confère d'excellentes propriétés de pénétration et d'extraction dans les matrices solides.

La méthode doit pouvoir être facilement transposable dans les laboratoires réalisant des mesures pour l'évaluation des expositions professionnelles en routine.

#### Démarche

L'étude s'est déroulée en deux parties, la première concernant le choix d'un support de prélèvement et la faisabilité de l'extraction sans solvant et, la seconde le développement d'un dispositif couplé d'extraction et d'analyse. Pour la première partie, des échantillons étalons ont été fabriqués sur des bancs de génération d'atmosphère avec des teneurs connues en polluants. Ils ont été ensuite extraits au CO<sub>2</sub> supercritique et l'efficacité de l'extraction a été évaluée par dosage des polluants restant sur les échantillons après extraction. Les conditions optimales de l'extraction ont ainsi été déterminées. Un travail d'optimisation du compartiment d'extraction a également été réalisé afin de le rendre compatible avec le prélèvement individuel. Dans une seconde partie, des solutions de couplage entre l'extraction et l'analyse ont été investiguées de manière à pouvoir proposer une solution facilement transférable vers les laboratoires extérieurs.

#### Résultats principaux

La désorption au CO<sub>2</sub> supercritique pourrait facilement être adaptée à l'analyse des prélèvements atmosphériques.

- Les résultats de la première partie de l'étude démontrent que l'extraction des supports de prélèvement atmosphériques au CO<sub>2</sub> supercritique est possible. Les conditions optimales d'extractions sont déterminées et la validation a été réalisées sur plusieurs couples substance-support. Dans les différentes configurations matérielles explorées, le temps de l'extraction reste toutefois relativement long. Il faudrait réaliser des dispositifs de prélèvement d'un nouveau type, dont les caractéristiques seraient compatibles avec une désorption de plus courte durée et dont le coût serait réduit. Les travaux réalisés dans cette étude établissent une base de travail pour le développement de tels dispositifs.
- De plus, un partenariat avec un fabricant de matériel a été mis en place dans l'objectif d'augmenter la pression de travail pour optimiser l'efficacité d'extraction, mais ce développement n'a pas été mené à terme par choix stratégique du partenaire.
- Le couplage entre l'extracteur et l'analyse a également été validé et pourrait être facilement automatisable pour une utilisation en routine.



2016 → 2020

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

■ Aurélie REMY

Département toxicologie et biométriologie

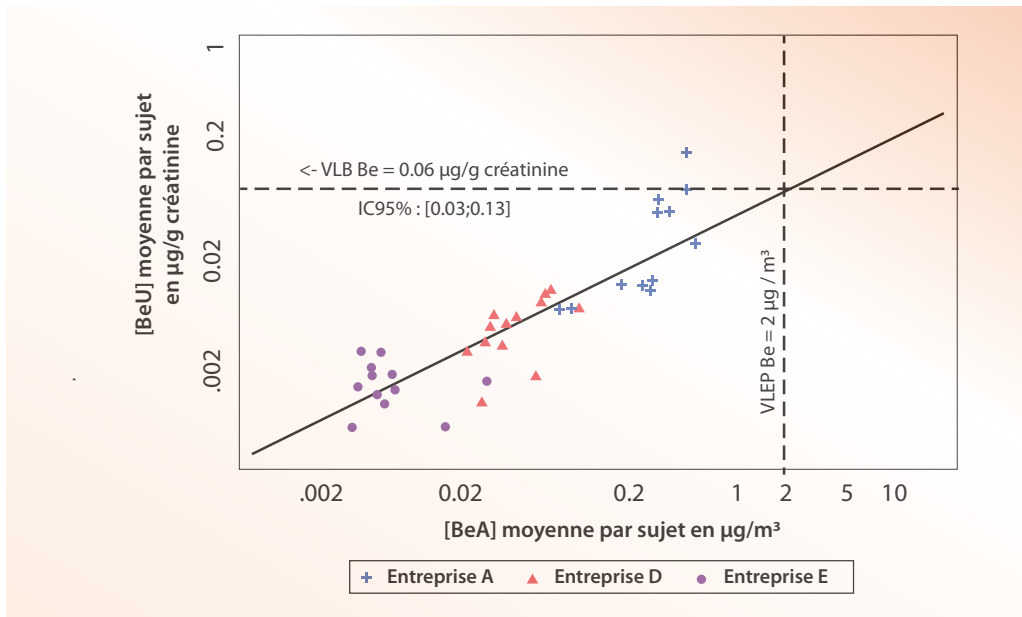
■ Thèse de doctorat : Aurélie REMY

Université de Lorraine - Pascal WILD

### Exposé des motifs et objectifs

Les études de biométriologie, à l'INRS, sont menées pour évaluer l'exposition professionnelle à des substances chimiques, en France, et proposer des valeurs de référence destinées à protéger la santé des salariés exposés à ces substances. Certaines de ces études consistent à mesurer simultanément l'imprégnation biologique et l'exposition atmosphérique de salariés exposés à des substances lorsque l'inhalation est la voie d'absorption principale. La relation entre ces mesures biologiques et atmosphériques est ensuite estimée à travers un modèle de régression linéaire. Lorsque que cette relation existe, il est alors possible de dériver une valeur limite biologique (VLB) à partir de la valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP-8h) du toxique. Deux caractéristiques de ces données ont été identifiées qui font qu'elles ne sont pas, ou sont seulement partiellement, prises en compte dans les modélisations statistiques courantes : la censure due aux limites de quantification (LQ) des mesures biologiques et atmosphériques et la corrélation intra-individuelle des mesures.

Les travaux menés dans le cadre de cette étude avaient pour objectif d'adapter le modèle de régression à ces deux caractéristiques, dans un cadre bayésien, puis d'appliquer cette nouvelle approche à des données d'exposition professionnelle au béryllium et au chrome. Le deuxième objectif était d'initier la construction d'une base interne de données historiques, regroupant l'ensemble des données biométriologiques recueillies dans le cadre d'études de biométriologie passées, et à venir. L'objectif de cette base est de centraliser et d'homogénéiser toute l'information recueillie afin d'en faciliter l'exploitation.



Représentation graphique des estimations des moyennes de béryllium urinaire [BeU] et de béryllium atmosphérique [BeA] spécifiques à chaque sujet par le modèle bayésien, et de la droite de régression estimée (ligne noire). Les différents symboles correspondent à des entreprises différentes.

## Démarche

L'approche statistique proposée repose, d'une part, sur la modélisation, dans un cadre bayésien, des mesures atmosphériques à l'aide de modèles à effets aléatoires prenant en compte les valeurs inférieures à la LQ et d'autre part, sur la modélisation simultanée des mesures biologiques, que l'on suppose linéairement dépendantes de l'exposition atmosphérique, tout en tenant compte de la corrélation intra-individuelle des mesures. Ce travail méthodologique a donné lieu à une publication scientifique dans une revue à comité de lecture.

Cette méthodologie a été appliquée à des données d'exposition professionnelle au béryllium et au chrome, en tenant compte des caractéristiques toxicocinétiques de ces deux substances. Quant à la base de données biométriologiques historiques, une collaboration a été mise en place avec le service informatique de l'INRS pour en définir les contours et les besoins.

## Résultats principaux

L'exploitation des mesures de béryllium a permis de proposer une VLB pour le béryllium : 0,06 µg/g créatinine. L'exploitation des mesures de chrome dans le secteur du chromage électrolytique, dans un contexte de co-exposition Cr(VI)/Cr(III), a permis de mettre en évidence que le chrome urinaire reflète essentiellement l'exposition au chrome VI. Ce résultat valide la pertinence du chrome urinaire comme biomarqueur d'exposition au Cr(VI) dans un contexte de co-exposition comme celui du chromage électrolytique. Une VLB comprise entre 1,9 et 2,6 µg/g créatinine pour un recueil en fin de poste, fin de semaine a été estimée pour l'exposition professionnelle dans le secteur du chromage électrolytique, ce qui est cohérent avec la VLB proposée par l'Anses dans ce secteur, à savoir 1,8 µg/g créatinine. Pour la base de données historiques, un modèle de données établi est en cours de validation.

## Discussion

L'application et l'adaptation de la méthodologie développée dans un cadre bayésien ont permis de répondre à des problématiques concrètes rencontrées dans les études de biométrie. La souplesse de l'approche bayésienne proposée rendra envisageable d'autres adaptations du modèle initial à d'autres configurations ou caractéristiques d'exposition professionnelles à travers de nouvelles hypothèses pour être force de proposition pour des VLB.

2017 → 2021

## 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 leur utilisation dans des conditions particulières.

2018 → 2021

## 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 méthode de prélèvement surfacique mise au point lors 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, ce qui facilitera 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. L'enjeu est de maîtriser les biais liés aux capacités de volatilisation et 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.

2020 → 2021

## Évaluation d'une méthodologie de mesure en temps réel pour la cartographie des concentrations en polluants dans les atmosphères de travail en vue de la réduction des risques

■ Philippe DUQUENNE, Karine GÉRARDIN et Bruno GALLAND

*Département ingénierie des procédés*

Les travailleurs peuvent être exposés à des agents chimiques et biologiques avec des variations dans l'espace et au cours du temps. Ces dernières années, l'utilisation de cartes de risques ou de concentrations s'est développée. Elles fournissent un moyen visuel pour identifier la source d'une exposition et examiner la dispersion d'un polluant, informations essentielles pour la formulation de stratégies de prévention. Aujourd'hui, il est possible de tirer profit de progrès techniques récents (localisation, réseaux de capteurs, etc.). Cette étude d'instruction s'appuiera sur une phase expérimentale pour concevoir une stratégie visant à mesurer les concentrations en polluants, l'évaluer au laboratoire puis réaliser une première application en conditions réelles d'exposition. Elle traitera également l'analyse des données et leur représentation.

2020 → 2025

## Prélèvement et caractérisation de nano-objets, leurs agglomérats et agrégats, par microscopie électronique (projet CEN1 : NOAA\_EM / Comité européen de normalisation)

■ Olivier WITSCHGER et Céline EYPERT-BLAISON

*Département métrologie des polluants*

Devant la multitude de situations d'exposition aux aérosols constitués en tout ou partie de nano-objets, leurs agrégats et agglomérats, il est nécessaire de développer des méthodes d'évaluation, pour le prélèvement et l'analyse par microscopie électronique. En réponse au mandat M/461 de la Commission européenne, un projet de recherche prénormative a été élaboré. Porté par le TNO (Pays-Bas), il rassemble cinq autres partenaires dont l'INRS et le LNE en France ; l'IFA, le BauA et l'IUTA en Allemagne. Il s'articule autour de plusieurs phases : revues bibliographiques, actions expérimentales en laboratoire, traitement et analyse des données, harmonisation des méthodes et élaboration des documents normatifs. Les objectifs pour l'INRS sont le développement de nouvelles connaissances techniques et l'acquisition de nouvelles pratiques en microscopie électronique.



2020 → 2024

## Performances et applications des capteurs d'aérosols à bas coût à des fins d'évaluation des expositions professionnelles (projet CEN2 : NOAA\_LCS / Comité européen de normalisation)

■ Benjamin SUTTER et Olivier WITSCHGER

*Département métrologie des polluants*

Les capteurs d'aérosols dits « à bas coût » (en anglais low-cost aerosol sensors, LCS) sont en plein essor et l'offre commerciale s'accroît. Pour autant, la connaissance de leur qualité métrologique est quasi inexistante. En réponse au mandat M/461 de la Commission européenne, un projet de recherche prénormative a été élaboré. Porté par l'IUTA (Allemagne), il mobilise quatre autres partenaires : l'INRS et le LNE en France ; l'IFA en Allemagne ; le TNO aux Pays-Bas. Il s'articule autour de plusieurs phases : revues bibliographiques, actions expérimentales en laboratoire et sur le terrain, développement d'une stratégie de mise en œuvre et élaboration du document normatif. Les objectifs pour l'INRS sont le développement de nouvelles connaissances techniques et l'acquisition de nouvelles pratiques en matière de mise en œuvre des capteurs dits « à bas coût » à des fins d'évaluation des expositions.

2016 → 2021

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

■ Virginie MATERA

*Département métrologie des polluants*

Les objectifs de cette étude sont d'évaluer les performances de différents impacteurs et de 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.

2020 → 2023

## Étude en laboratoire et sur le terrain des performances de la métrologie en temps réel de la concentration massique des aérosols pour l'élaboration de préconisations opérationnelles d'utilisation

■ Sébastien BAU, Xavier SIMON

*Département métrologie des polluants*



© Serge Morillon - INRS / 2021

L'évaluation des risques liés à l'exposition par inhalation aux aérosols chimiques repose sur le prélèvement d'une fraction spécifique puis la mesure de leur concentration en masse en différé. La métrologie en temps réel (MTR) de polluants particulaires dans les atmosphères de travail s'est démocratisée ces dernières années et permet de répondre aux enjeux de prévention des risques chimiques. De plus en plus d'acteurs disposent d'instruments qui permettent d'accéder en temps réel à la concentration massique, au cours de campagnes de mesurage sur le terrain. Cette étude a pour objectif d'élaborer des préconisations en matière de mise en œuvre de la MTR pour la mesure de la concentration massique des aérosols au poste de travail.

2021 → 2024

## Mesure en temps réel de la distribution granulométrique d'aérosols submicroniques au moyen de sélecteurs diffusionnels : développement d'une méthodologie innovante et conception d'une solution technique

■ Sébastien BAU

*Département métrologie des polluants*

En l'absence d'appareil de mesure en temps réel réellement adapté au terrain, cette étude a pour objectif de développer une solution innovante permettant la mesure de la distribution granulométrique en nombre des aérosols submicroniques, basée sur la mise en œuvre d'un couplage de dispositifs relativement peu coûteux, pouvant être aisément déployés en atmosphères professionnelles, et accessibles à des non spécialistes. Les résultats permettront de concevoir le prototype d'une solution métrologique « clé en main », ainsi que de documenter, via la base de données Colchic, les distributions granulométriques typiquement rencontrées dans différents secteurs d'activité.

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*

Thèse de doctorat : Abir AACHIMI

*Ecole des hautes études en santé publique Rennes*

– Nathalie BONVALLOT

■ Florian MARC

*Département Expertise et conseil technique*

Cette étude vise 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.



## ► CONNAISSANCE DES EXPOSITIONS

ÉTUDE  
TERMINÉE

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

#### Exposé des motifs et objectifs

Initiée par la méconnaissance des concentrations en composés chimiques dans les environnements professionnels où des produits neufs manufacturés sont stockés, manutentionnés, déballés, régulièrement renouvelés, cette étude portait sur la qualité de l'air intérieur (QAI) dans les commerces et espaces de stockage. Elle avait deux objectifs principaux : mieux renseigner la QAI de ces lieux professionnels où évoluent des salariés au contact de produits ayant un fort pouvoir émissif en composés organiques volatils (COV), et étudier l'impact des facteurs d'influence (ventilation, activité du magasin, type de produits vendus et agencement) pour améliorer la QAI de ces espaces en proposant des solutions de prévention adaptées.

#### Démarche

Pour répondre à ces deux objectifs, l'étude a été organisée en quatre axes : le premier vise à caractériser la QAI dans des locaux de stockage de produits manufacturés neufs par des mesures in situ dans dix commerces, et ce en vue d'estimer les niveaux d'exposition des salariés dans ce type de lieu professionnel. Le développement d'un outil prévisionnel des niveaux d'exposition, nécessaire au dégagement des pistes de prévention et à l'étude des facteurs impactant la QAI, nécessite à la fois la connaissance des phénomènes d'échange de COV entre les matériaux entreposés et l'air, mais aussi un modèle de simulation numérique spécifique à cette problématique couplant transport d'air et émissions de COV à l'échelle d'un bâtiment. Ces deux points constituent respectivement les axes 2 et 3 de ce projet. Enfin, dans une quatrième phase, l'utilisation de l'outil prévisionnel permet de dégager des pistes de prévention permettant de limiter l'exposition des salariés.



© Gael Kerbaol - INRS / 2021

#### Résultats principaux

La caractérisation de la QAI dans dix commerces ou entrepôts de stockage a révélé une signature chimique spécifique à chaque type de produit commercialisé, une occurrence systématique de certains COV (formaldéhyde, toluène et hydrocarbures aromatiques, terpènes) à des concentrations très inférieures aux VLEP mais à des niveaux variés selon le type de commerce, ainsi que l'émergence de certains composés comme les siloxanes ou le diméthylformamide, substance classée CMR. La détermination des paramètres d'échange de COV entre produits et air à travers le coefficient de partition  $K$ , la concentration initiale émissible  $C_0$  et le coefficient de diffusion  $D$  ont été déterminés pour un panneau de bois aggloméré et une paire de chaussures. Cette détermination a nécessité un déploiement expérimental conséquent qui a révélé le comportement atypique du composé « formaldéhyde » en fonction de la ventilation. Ces paramètres ont été

introduits dans un modèle numérique développé spécifiquement pour prendre en compte ces échanges et le transport de flux d'air. L'impact de la ventilation, de l'agencement et de la température sur les niveaux de concentrations de certains COV a pu être étudié.

## Discussion

Bien que basée sur un panel restreint de commerces investigués, cette étude offre des données inédites en France quant à la QAI dans ce type d'environnement de travail. Les commerces ayant peu de leviers d'action sur les produits vendus, la ventilation des locaux constitue le moyen de prévention collective privilégié. Son impact a été étudié en laboratoire à petite échelle et à l'échelle réelle, mais aussi en mettant en œuvre un outil de simulation numérique développé pour étudier cette problématique. Différents moyens de prévention peuvent maintenant être préconisés dans ce type de lieux de travail : ventiler les stocks, modifier la diffusion d'air neuf (privilégier la ventilation par déplacement), limiter les températures excessives pouvant favoriser le dégazage de COV, optimiser l'adéquation entre l'agencement des commerces et la ventilation, augmenter les débits d'air neuf. Cependant, une limitation de l'étude est apparue, relative à la fois aux effets thermiques pouvant être impactants (bâtiment, occupants et saisonnalité), mais aussi au manque de données sur une ventilation efficace des locaux de grands volumes, devant allier confort thermique, faible consommation énergétique et bonne qualité de l'air.



2016 → 2020

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

■ Ronan LEVILLY

*Département ingénierie des procédés*

### Exposé des motifs et objectifs

La problématique liée à l'exposition aux fluides de coupe est toujours d'actualité. Initialement axée sur les huiles entières minérales, elle s'est élargie au cours des années vers les fluides de coupe aqueux. Les expositions à ces substances peuvent représenter un risque pour la santé des salariés. Pour améliorer le volet évaluation des risques chimiques et biologiques liés à l'utilisation des fluides de coupe dans l'industrie, cette étude visait à mieux appréhender la composition des brouillards d'huile par une approche métrologique plus détaillée. Pour accroître la compréhension des phénomènes mis en œuvre, l'évaluation de l'influence des paramètres du procédé devait également être investiguée.

### Démarche

L'étude est venue s'adosser à une collaboration Unisanté de Lausanne / INRS / CHU de Lille dans le cadre d'un projet Anses baptisé Oxigenocom présenté ci-dessous. Des synergies fortes sur les objectifs à atteindre entre cette étude et le projet Anses nous ont conduits à prendre en charge le recueil des déterminants de l'exposition ainsi que la réalisation des mesures dans l'air des lieux de travail (concentration en brouillards d'huile, particules ultrafines, teneur en carbone organique, évaluation du potentiel oxydant des atmosphères, concentration en aérosols métalliques et en aldéhydes) sur un certain nombre de sites volontaires. Un questionnaire sur les déterminants a été rédigé pour permettre la collecte sur site des informations pertinentes et des tâches de chaque travailleur (suivi de poste). L'ensemble des données a ensuite été traité statistiquement pour évaluer la contribution de chaque déterminant sur les concentrations en brouillards d'huile mesurées.

### Résultats principaux

En termes de mesures, des dépassements de la valeur recommandée pour les brouillards d'huile ont été relevés (10% des mesures). Il est également apparu que la fraction volatile du brouillard, non prise en compte par la méthodologie actuelle de prélèvement, n'est pas négligeable et est particulièrement importante lorsque des huiles entières sont utilisées. L'analyse des déterminants de l'exposition a permis d'identifier les plus explicatifs : l'absence de capotage des machines, la configuration de l'atelier (hall industriel versus atelier cloisonné), le mode de traitement des bains fluides, la ventilation à la source, l'utilisation de solvants, la température de l'atelier et « certaines tâches spécifiques de travail ». Ce dernier facteur joue un rôle très important dans l'explication de la variance de la modélisation, suggérant qu'à circonstances égales c'est le type d'activité qui prédit l'exposition du salarié.

## Discussion

L'approche par déterminant d'exposition est prometteuse mais demande à être affinée pour expliquer davantage les concentrations mesurées. La non-prise en compte de la fraction volatile des brouillards d'huile interroge sur l'évaluation des risques et l'efficacité des mesures de prévention mises en place par les industriels, notamment les épurateurs d'air couplés aux machines d'usinage. La problématique microbiologique n'a pu être investiguée que partiellement dans le cadre de ce travail. La poursuite des travaux sur ce thème paraît nécessaire compte tenu des observations faites en entreprises et des données publiées.



© Gael Kerbaol - INRS / 2021

2017 → 2021

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

■ Eve BOURGKARD et Valérie DEMANGE

*Département épidémiologie en entreprise*

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, conduite dans le cadre d'un projet financé par l'Anses, 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, du ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, a lancé une initiative européenne dont l'objectif est la construction d'un dispositif de biosurveillance européen pérenne. L'action de l'INRS dans le cadre de ce projet de la Commission européenne 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 servant, dans un premier temps, du groupe des bisphénols comme modèle.

2016 → 2021

## 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 chrome et au nickel 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



© Louis Martin - INRS / 2019

Cette étude a pour objectif de 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 pour divers métaux, et d'éventuels effets précoces seront recherchés pour compléter cet objectif. L'étude vise, à terme, à fournir aux hygiénistes du travail une liste des biomarqueurs les plus sensibles pour une surveillance biologique adaptée à ces opérations de recyclage.

2018 → 2021

## Étude 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 travaillant sur des métaux et des 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.

2017 → 2021

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

■ 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 → 2021

## 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.

2019 → 2022

## Étude de l'incidence de l'amélioration de l'écoulement d'une poudre sur sa propension à générer de la poussière en vue de limiter l'empoussièrément dans les locaux de travail

■ Fabien GÉRARDIN et Éric SILVENTE

*Département ingénierie des procédés*

Thèse de doctorat : Maria JIMENEZ

*Laboratoire de réactions et de génie des procédés de Nancy -  
Véronique FALK*

Les matériaux pulvérulents sont utilisés dans un grand nombre de secteurs industriels. Lors de leur mise en œuvre, les salariés sont exposés à des poussières, au cours de manutentions. Il en est de même à l'occasion de maintenances associées à des difficultés d'écoulement. Pour réduire la fréquence de ces situations, les industriels ont recours à des modifications de formulation, par ajout d'additifs, qui aident à l'écoulement, mais qui peuvent conduire à une amplification du caractère pulvérulent de la poudre à l'origine de l'empoussièrément. Le but de cette étude, menée en collaboration avec le Laboratoire de réactions et de génie des procédés de Nancy, est de développer une méthodologie et des outils à destination des industriels, en vue d'évaluer et d'anticiper les conséquences de telles modifications et limiter l'exposition des salariés.



2017 → 2021

## 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.

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. Il s'agit 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.

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 (COV) dans les atmosphères de travail ?

■ Fabien GÉRARDIN  
Département ingénierie des procédés

Thèse de doctorat : Perla TRAD  
Université Paris-Saclay- Faculté d'Orsay - Nicole Blin-Simiand

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.



2020 → 2022

## Évaluation de l'efficacité des dispositifs de réduction des expositions au Méopa

■ Eddy LANGLOIS

*Département métrologie des polluants*

Le mélange équimolaire d'oxygène et de protoxyde d'azote (Meopa) est utilisé en secteur hospitalier pour ses propriétés anxiolytiques et analgésiques lors de la réalisation d'actes médicaux de courte durée. Les personnels soignants sont exposés de manière régulière à ce gaz qui a des effets toxiques chez l'homme. Il est possible de réduire ces expositions en captant à la source les émissions, à l'aide de dispositifs d'aspiration localisés : masques double enveloppe nez-bouche ou nez uniquement. Trois dispositifs ont été identifiés pour les masques complets et les masques nasaux. Cette étude a pour objectif d'en mesurer l'efficacité sur la réduction des expositions.

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*

Thèse de doctorat : Ioannis KARAMANIS

*Université de Lorraine - Michael BADAWI*

Dans un objectif de réduction et d'épuration à la source des oxydes d'azote (NOx) présents dans certaines atmosphères de travail, différents matériaux adsorbants, notamment les zéolithes, sont étudiés pour déterminer leur capacité à capturer le NO et le NO<sub>2</sub> 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 théoriques en termes de capacité d'adsorption seront comparés aux données expérimentales. D'autre part, 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 NOx, et donc des activités professionnelles considérées.

2021 → 2024

## Recherche et caractérisation de nouveaux matériaux sélectifs pour le développement d'un procédé d'adsorption des oxydes d'azote (projet NOA / ANR)

■ Hubert MONNIER

*Département ingénierie des procédés*

L'émission d'oxydes d'azote (NOx) par les moteurs dans un environnement de travail confiné sans ventilation ni traitement d'échappement, génère des problèmes de santé et de sécurité. Ce projet, financé par l'ANR, vise à développer un procédé d'adsorption efficace des NOx, pour les véhicules non routiers, transportable et placé en sortie d'échappement des véhicules. Il est conçu, dimensionné et développé, en vue d'un transfert de technologie vers les entreprises à la fin du projet.

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 des interactions entre ces polluants et l'appareil ;
- 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 aérodynamique des cartouches filtrantes.

## » 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 et une études liées aux objectifs généraux, 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 ces travaux par types de substances :

- quatre études traitent de substances cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (particules diesel, HAP, nanomatériaux) ou la mise au point de tests à caractère carcinogène de certaines substances ;
- quatre portent sur des substances allergisantes (isocyanates) ou la mise au point de test générique du caractère allergisant ;
- une étude vise à mesurer l'impact du vent sur le confinement d'un chantier de désamiantage ;
- quatre ont trait aux nanoparticules ;
- une étude porte sur les perturbateurs endocriniens (en plus de trois autres qui sont décrites dans le chapitre consacré à la thématique focus « reproduction et travail » page 66) ;
- deux études portent sur le développement de méthodes pour caractériser le danger associé à certains solvants.

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



2015 → 2020

### 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*

#### Exposé des motifs et objectifs

Les émissions d'échappement de moteur diesel sont classées cancérigènes pour l'homme (Groupe 1) depuis juin 2012 par le Centre international de recherche contre le cancer. La directive (UE) 2019/130 du Parlement européen et du Conseil du 16 janvier 2019 fixe une VLEP-8h contraignante pour ces émissions. Reprise au niveau français, cette VLEP-8h est de 0,05 mg.m<sup>-3</sup>, exprimée en carbone élémentaire avec prise en compte de la fraction conventionnelle alvéolaire pour

L'évaluation de l'exposition du salarié, avec mise en application le 21 février 2023. C'est dans ce contexte d'obligation de mesurer le carbone élémentaire, constituant du squelette des particules diesel, que cette étude a été inscrite. L'objectif était de définir et de valider une méthode fiable et accessible, permettant de discerner le carbone élémentaire de la particule diesel au sein d'une matrice riche en carbone organique.

### Démarche

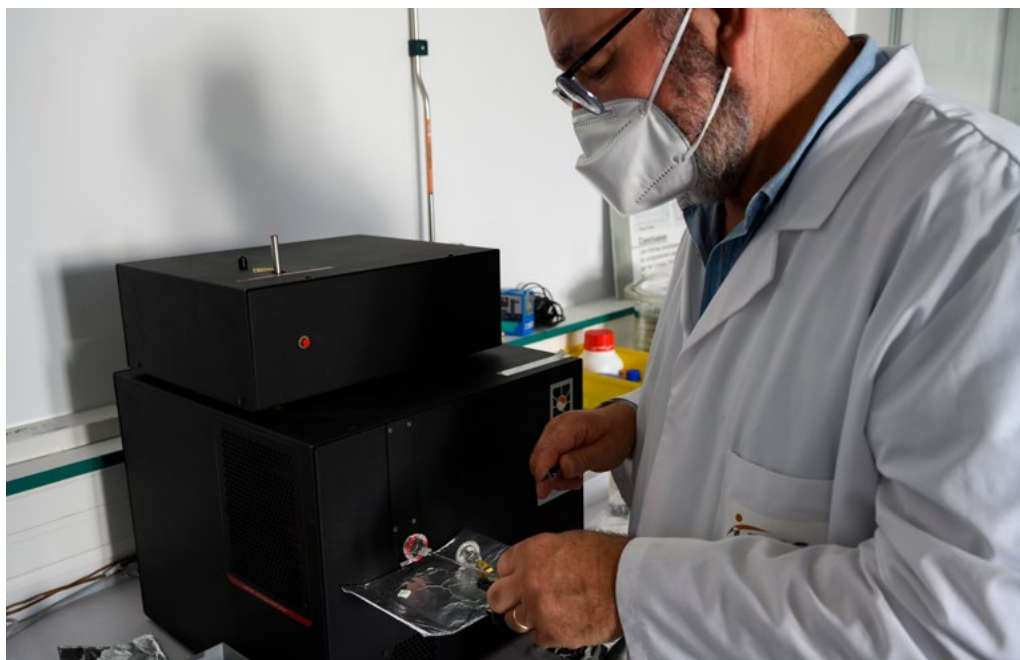
La méthode de mesure intègre un prélèvement de la fraction alvéolaire des aérosols par un dispositif de type cyclone. L'analyse est réalisée avec un analyseur de carbone thermo-optique. Des prélèvements sur site et sur banc de génération ont permis de valider trois types de cyclones et de tester différentes approches analytiques. Le protocole thermique de l'analyseur et le mode de correction optique ont ainsi été définis pour maîtriser et gérer la formation du carbone pyrolytique, interfèrent important difficile à dissocier du carbone élémentaire. Une référence synthétique renfermant une quantité connue de carbone élémentaire dans une matrice de carbone organique dont une part importante est pyrolysable, a permis de valider le protocole le plus efficace pour différencier les diverses espèces carbonées. Les performances de la méthode ont ensuite été estimées au regard des critères à satisfaire pour la valider. En parallèle un  $\mu$ -aéthalomètre portable, analyseur de suies par infra-rouge en temps réel différé, a été évalué pour diagnostiquer les atmosphères susceptibles d'être polluées par les émissions diesel.

### Résultats principaux

Les prélèvements peuvent être réalisés avec des cyclones Dorr-Oliver, Dust cyclone ou Higgins-Dewel (Simpeds), renfermant un filtre fibre de quartz décarboné de 37 mm de diamètre. L'analyse est réalisée à l'aide d'un analyseur thermo-optique de carbone avec le protocole normalisé EUSAAR 2 et le mode de correction optique en transmission. Une fiche méthodologique Metropol a été publiée et reprend l'ensemble du protocole de dosage des émissions d'échappement de moteur diesel, exprimées en carbone élémentaire. La méthode permet d'évaluer dans la fraction alvéolaire des aérosols prélevés, 0,1 à 2 fois la VLEP-8h de 0,05 mg de carbone élémentaire par mètre cube d'air.

### Discussion

Cette étude comble l'absence d'une technique d'évaluation des émissions des moteurs diesel sur les lieux de travail. La technique de dosage sera transférée courant 2021 vers un laboratoire de Carsat et la méthode de diagnostic par la mesure avec un  $\mu$ -aéthalomètre sera reprise par un second laboratoire de Carsat.



2018 → 2021

## 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. Cette transformation est le processus de conversion de cellules normales en cellules qui présentent des caractéristiques de cellules cancéreuses. 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 repart 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.

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

Thèse de doctorat : Fatima MATAMOROS-MARIN  
Université de Lorraine – Abderrazak LATIF

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

ÉTUDE  
TERMINÉE

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

#### Exposé des motifs et objectifs

Les allergies professionnelles provoquées par l'exposition des salariés à des produits chimiques sont un problème important de santé au travail. Chaque année, de nouvelles substances chimiques apparaissent dans le domaine industriel, certaines ont un potentiel sensibilisant qu'il est impératif d'identifier pour ajuster les mesures de prévention : substitution, étiquetage adéquat, mesures de protection collective et individuelle adaptées, aménagement des postes de travail. Lors d'études précédentes, un modèle original basé sur l'utilisation de cellules dendritiques (BMDC) a été mis au point au laboratoire. L'objectif de cette étude était d'évaluer les performances de ce modèle *in vitro* sur un panel de plus de 100 substances, ceci afin d'explorer la possibilité de le proposer comme modèle alternatif pouvant se substituer aux modèles animaux décrits dans les lignes directrices de l'OCDE et imposés par la réglementation européenne pour l'évaluation du pouvoir sensibilisant.

#### Démarche

Cent vingt-deux substances chimiques ont été testées dont 85 sensibilisantes et 37 non sensibilisantes, au regard du test LLNA (*Local Lymph Node Assay*), considéré comme test 'gold standard' en expérimentation animale. L'effet de ces substances sur les cellules dendritiques a été évalué à l'aide des marqueurs membranaires d'activation étudiés et sélectionnés lors d'études précédentes. Une analyse multiparamétrique des réponses obtenues a également été menée afin d'établir la



sensibilité, la spécificité et la précision du modèle BMDC par rapport au test LLNA. Cette analyse a permis de classer les produits selon leur catégorie : sensibilisants vs non sensibilisants, et selon la puissance de sensibilisation.

### Résultats principaux

Au final, 32 substances non sensibilisantes ont été retenues pour le calcul des performances du modèle BMDC. Vingt-cinq d'entre elles ne montrent aucun effet, comme attendu, et 7 montrent un effet positif pour au moins un des marqueurs analysés. Parmi les 79 substances sensibilisantes retenues, 74 montrent un effet positif, comme attendu, tandis que 5 ne montrent aucun effet. Le modèle BMDC a donc d'excellentes performances avec une sensibilité de 94 %, une spécificité de 78 % et une exactitude du test de 89 %.

### Discussion

Cette étude a permis de montrer que le modèle *in vitro*, développé au sein du laboratoire, a des performances égales, voire supérieures, aux modèles alternatifs déjà validés. Il permet de discriminer un sensibilisant d'un non sensibilisant avec une excellente fiabilité et de les classer en fonction de leur puissance de sensibilisation. Les résultats indiquent également une bonne corrélation du modèle avec les cas cliniques d'allergie ce qui confère au modèle un intérêt supplémentaire pour la prévention de la dangerosité des substances chimiques mises sur le marché. De plus ces résultats ont été obtenus avec seulement deux paramètres de mesure, ce qui rendra ce modèle simple et peu coûteux. Une fois validé par les instances européennes, il pourra être mis à disposition des laboratoires d'évaluation du danger des substances industrielles. En conclusion, ce modèle *in vitro* sera proposé comme modèle alternatif aux modèles animaux décrits dans les lignes directrices de l'OCDE et imposés par la réglementation européenne pour l'évaluation du pouvoir sensibilisant.

2016 → 2021

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

■ Danièle 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 les gants de protection utilisés par les salariés diagnostiqués, et in fine, permettre leur maintien en poste.

2018 → 2021

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

■ Marianne GUILLEMOT

*Département métrologie des polluants*

Les composés isocyanates (NCO) 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 → 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.

## ▶ AMIANTE ET FIBRES

2020 → 2022

## Préservation du confinement dynamique d'un chantier de désamiantage exposé au vent

■ Romain GUICHARD  
Département ingénierie des procédés

Thèse de doctorat : Anjali Krishnan  
Université Technique d'Eindhoven – Bert BLOCKEN

Les professionnels du désamiantage sont démunis face à l'impact du vent sur le confinement dynamique des zones à traiter. L'objectif de cette étude est de fournir des solutions permettant de prévenir des ruptures de confinement dues à une exposition au vent et, en cas d'impossibilité technique ou économique, de fournir un seuil au-delà duquel les processus de désamiantage ne doivent plus être mis en œuvre. La démarche consistera à reproduire un chantier de désamiantage à échelle réduite et de l'étudier en soufflerie. Cela permettra de valider une méthodologie prédictive décrite ci-dessus et de tester différentes configurations et leur impact sur la qualité du confinement dynamique. Des préconisations seront proposées à l'issue de ces travaux pour améliorer la prévention du risque d'exposition aux fibres d'amiante par inhalation.

## ▶ NANOPARTICULES ET PARTICULES ULTRAFINES

ÉTUDE  
TERMINÉE

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

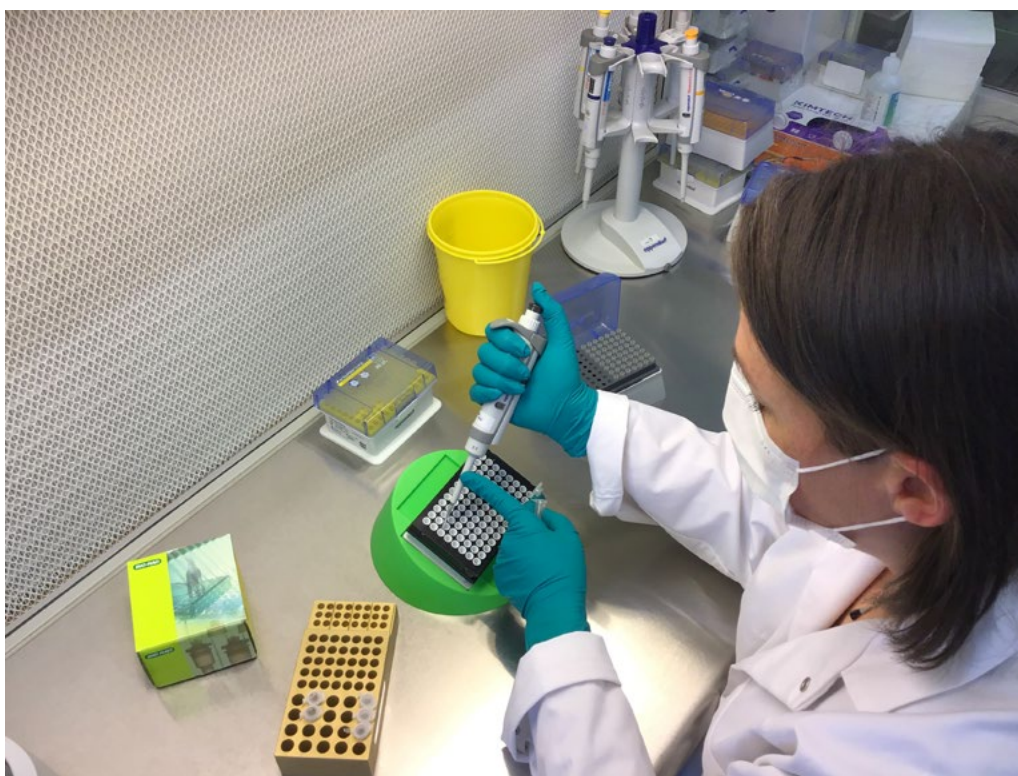
### Exposé des motifs et objectifs

L'évaluation du danger que représentent les nanomatériaux (NMs) pour la santé des salariés reste un enjeu majeur. Comme l'intérêt industriel des NMs repose sur leurs propriétés physico-chimiques qui peuvent être également responsables de leur toxicité, il est important d'identifier celles qui peuvent poser problème. Une telle approche pourrait servir de base au développement de NMs moins dangereux pour la santé dès leur conception. De plus, la possibilité de prédire les effets nocifs à long terme des NMs via des tests *in vitro* et *in silico* réduirait à la fois le temps d'évaluation et le besoin d'avoir recours à l'expérimentation animale. Le projet SmartNanoTox de la Commission européenne (mars 2016 – septembre

2020), regroupant 12 partenaires dont 3 homologues de l'INRS (NRCWE, FIOH et STAMI), visait à apporter des réponses à cette problématique.

Ses objectifs étaient :

- 1) d'identifier les principaux effets nocifs pulmonaires induits par les NM et d'identifier les mécanismes d'action et les voies toxicologiques associées conduisant à ces effets néfastes ;
- 2) d'établir des relations entre les propriétés physico-chimiques des NMs et les mécanismes toxicologiques conduisant aux effets néfastes, et de proposer des descripteurs pour regrouper les NMs en fonction de leur mode d'action toxicologique ;
- 3) de créer une base de données des interactions entre les NMs et les biomolécules qui permettra le développement d'outils de lecture croisée des leurs effets toxiques et de leur structure ;
- 4) de développer une approche de criblage intelligent prédictive de la toxicité d'un NMs qui serait basée sur des tests de dépistage *in vitro* et *in silico* orientés sur les interactions entre NMs et biomolécules.



© INRS - Département TB / 2021

## Démarche

Le consortium SmartNanoTox a contribué au développement de cinq AOP (Adverse Outcome Pathway ou voie conduisant à des effets néfastes) pertinentes pour l'exposition pulmonaire aux NM. L'INRS a construit l'une d'entre elles (AOP 303: Cancer du poumon induit par la phagocytose incomplète des NMs) qui a été déposée sur la base de données de l'OCDE dédiée. Une telle approche qui a pour but d'expliciter le mécanisme d'action toxique d'un agent chimique permet d'identifier les tests *in vitro* utiles pour anticiper sa toxicité et ainsi alerter sur sa dangerosité.

D'un point de vue expérimental, l'INRS a principalement réalisé des études par inhalation sur animaux avec plusieurs matériaux (silice cristalline DQ12, TiO<sub>2</sub> p25, noir de carbone Printex 90 et nanotube de carbone Mitsui 7). A la suite de ces expositions, des analyses toxicologiques et histologiques d'échantillons ont été réalisées tout comme l'évaluation des effets néfastes. Ces travaux ont été complétés par des analyses globales d'expression des gènes et des protéines qui permettent d'identifier des signatures de gènes pouvant être prédictives des effets néfastes à long terme des NMs. Les



travaux de l'INRS associés à ceux d'autres partenaires ont également permis de montrer une corrélation entre la quantité de NMs retenus dans les poumons (exprimée en fonction de la surface spécifique des NMs) et la réponse inflammatoire induite par de nombreux NMs. Au-delà des essais *in vivo*, des tests *in vitro* et *in silico* ont été réalisés par d'autres partenaires afin d'étudier les effets toxiques des NMs sur des modèles cellulaires représentatifs du système pulmonaire, de suivre les interactions des NMs avec les membranes cellulaires mais aussi les macromolécules et d'identifier les propriétés physico-chimiques des NMs responsables des interactions avec les biomolécules.

## Discussion

Les travaux menés dans le cadre du projet SmartNanoTox ont permis de développer et valider une nouvelle stratégie de test qui peut être utilisée pour l'évaluation des risques des nouveaux NMs. Elle s'appuie sur les avancées acquises dans la mise en place d'un nouveau modèle *in vitro* d'essai de toxicité (culture de cellules à l'interface air-liquide mimant l'organisation et le fonctionnement des alvéoles pulmonaires) mais aussi d'autres tests ciblant les différentes étapes clés conduisant à l'apparition d'effets néfastes. Cette stratégie bénéficie aussi de l'approche numérique qui simule des mécanismes reliant les propriétés physico-chimiques des NMs à leurs activités biologiques. Ces approches pourraient ainsi être utilisées dans le développement de nouveaux NMs en identifiant dès leur conception ceux pouvant conduire à des effets néfastes à long terme en raison de leurs propriétés physico-chimiques préoccupantes.

2016 → 2021

## Caractérisation multiparamétrique des particules ultrafines métalliques

■ Davy ROUSSET

*Département métrologie des polluants*

Thèse de doctorat : Manuella GHANEM

*Ecole des Mines de Douai - Patrice CODDEVILLE*

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.

2018 → 2021

## 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.

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.

## ▶ PERTURBATEURS ENDOCRINIENS

2021 → 2025

### Etude et prévention des expositions aux retardateurs de flamme dans les déchets d'équipements électriques et électroniques

■ Marie-Thérèse LECLERC et François ZIMMERMANN

*Département ingénierie des procédés*

■ Williams ESTEVE

*Département métrologie des polluants*

Les plastiques des équipements électriques et électroniques contiennent des retardateurs de flammes (RF) pour répondre aux normes d'inflammabilité. Ces composés suscitent des inquiétudes en matière de santé au travail ; certains sont considérés comme des perturbateurs endocriniens, voire des cancérigènes. En vue d'améliorer la prévention des expositions à ces composés, les objectifs de cette étude sont d'une part, de connaître les niveaux d'exposition des salariés travaillant dans les entreprises de traitement des déchets d'équipements électriques et électroniques en France et d'évaluer les pratiques et procédés générateurs d'émissions de RF. D'autre part il s'agira de comprendre les mécanismes d'émission des RF dans l'atmosphère et d'étudier les facteurs qui influencent ces émissions pour proposer des solutions de prévention.

## ▶ AUTRES SUBSTANCES

ÉTUDE  
TERMINÉE

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 - Gérome GAUCHARD et Pierre CAMPO*

#### Exposé des motifs et objectifs

La littérature scientifique montre que l'inhalation de solvants aromatiques, présents dans de nombreux secteurs industriels, génère des phénomènes d'ébriété et de troubles de l'équilibre chez les travailleurs exposés. Aujourd'hui, la question d'une atteinte du récepteur de l'équilibre, le vestibule, par les solvants, reste sans réponse. Pourtant, tout porte à penser que les solvants pourraient endommager le vestibule, tout comme ils endommagent la cochlée, récepteur périphérique de l'audition ; les deux récepteurs sont localisés dans l'oreille interne et partageant une forte homologie structurale. Cette étude avait pour objectif principal d'adapter un modèle d'explants vestibulaires pour évaluer le potentiel *vestibulotoxique* des solvants aromatiques les plus utilisés en milieu professionnel. Le modèle *in vitro* consiste en des cultures d'explants vestibulaires qui, en se refermant, forment des sphères, appelées « cystes », comportant toutes les cellules du vestibule ; les cystes sont remplis d'un liquide proche de l'endolymphe, dont la concentration élevée en K<sup>+</sup> permet le bon fonctionnement du récepteur vestibulaire. Sa mesure pourrait être un marqueur fonctionnel de *vestibulotoxicité*.

#### Démarche

Les vestibules, prélevés chez des rats nouveau-nés, étaient mis en culture pendant plusieurs jours jusqu'à ce qu'ils forment des cystes, dont le compartiment endolympatique permet ainsi la mesure de la concentration de K<sup>+</sup> avec une électrode

échangeuse d'ions  $K^+$ . La validité de la concentration en  $K^+$  comme marqueur a été vérifiée en utilisant des inhibiteurs de canaux et pompes impliqués dans l'homéostasie potassique. Ensuite, les cystes ont été exposés à des doses croissantes (0,25 à 1mM) de styrène pendant 2 ou 72 h afin de distinguer les effets aigus des effets cytotoxiques. Enfin, le toluène, l'éthylbenzène et les 3 isomères du xylène (ortho, méta et para) ont été étudiés à 0,75 mM pendant 2 et 72 h. Des études histologiques ont été réalisées pour observer les anomalies histopathologiques suite aux expositions.

### Résultats principaux

Dans ce modèle, l'o-xylène et le styrène ont généré des baisses de  $K^+$  et des dommages histopathologiques. L'éthylbenzène, quant à lui, n'a provoqué qu'une baisse de  $K^+$ . Si l'on s'appuie sur la seule baisse de  $K^+$ , les trois solvants

cités peuvent donc être considérés comme *vestibulotoxiques*. A l'inverse, le toluène, le p-xylène et le m-xylène n'ont pas engendré de baisse de  $K^+$  et n'ont pas été considérés comme *vestibulotoxiques*. Il apparaît donc que des solvants connus pour leur *cochléotoxicité*, comme le toluène ou le p-xylène, ne sont pas pour autant *vestibulotoxiques* au regard des résultats obtenus avec ce modèle. Dans de telles conditions expérimentales, la variation de concentration en  $K^+$  de l'endolymphe s'est avérée être un indicateur de *vestibulotoxicité* pertinent, et plus sensible que les dommages histopathologiques, pour évaluer les effets néfastes des solvants industriels.



© Gael Kerbaol - INRS / 2021

### Discussion

Pour la première fois, cette étude a mis en évidence une *vestibulotoxicité* périphérique provoquée par des solvants aromatiques. Mais la robustesse de ce test *in vitro* doit être éprouvée par des mesures *in vivo*, puisqu'une différence notoire a été constatée entre *cochléotoxicité* (approche *in vivo*) et *vestibulotoxicité* (approche *in vitro*). Il est possible que le métabolisme, ou la voie d'intoxication, soient déterminants dans le processus de *vestibulotoxicité*. Ce test constitue aujourd'hui le seul outil permettant d'effectuer un tri entre les molécules suspectées de *vestibulotoxicité* ; l'utilisation des cystes permet également une réduction du nombre d'animaux expérimentés à cet effet.

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, de mettre en évidence des marqueurs neurophysiologiques précoces d'exposition aiguë et d'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.

## ➔ 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 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'ÉTUDES 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.**

**Treize études traitent des expositions à différents agents physiques : bruit, chutes, vibrations, champs électromagnétiques, rayonnements optiques.** C'est ainsi que :

- sept études traitent du bruit. Elles visent à mieux appréhender les nuisances sonores dans l'industrie ou dans le tertiaire et s'intéressent à la question des protecteurs auditifs pour les personnes normo ou malentendantes sur le lieu de travail.
- une étude propose de caractériser les effets des perturbations dynamiques sur la marche afin de prévenir les risques de chutes ;
- trois études portent sur l'exposition aux champs électromagnétiques ou les rayonnements optiques ;
- deux portent sur les effets des vibrations corps entier et système main-bras.



## ► BRUIT

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*

Thèse de doctorat : Lucas LENNE

*Institut national des sciences appliquées Lyon - Etienne PARIZET*

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 consisteront 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 intègrera 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.

2018 → 2021

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

■ Patrick CHEVRET

*Département ingénierie des équipements de travail*

L'objectif principal de ce projet, financé par l'Anses, est de mettre au point une démarche rigoureuse 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 → 2021

### 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, auditive, psychologique et fonctionnelle. Les résultats faciliteront le choix d'un protecteur adapté et donc contribueront à l'amélioration de la prévention pour les personnes exposées au bruit, tant en matière d'atténuation que de confort, afin que les protections soient effectivement utilisées.

2018 → 2021

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

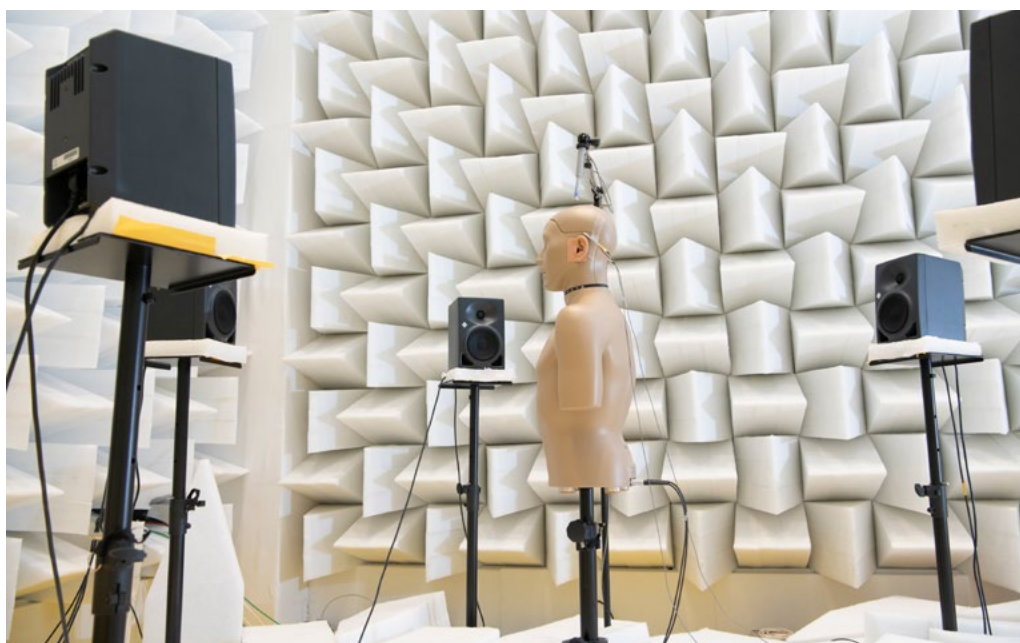
■ Patrick CHEVRET

Département ingénierie des équipements de travail

Thèse de doctorat : Antoine MALRIN

Université de Lorraine - Joël DUCOURNEAU

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.



© Serge Morillon - INRS / 2021

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.

2021 → 2025

## Étude de la fatigue cognitive des salariés malentendants appareillés dans les bureaux ouverts (projet FABO / ANR)

■ Laurent BROCOLINI et Patrick CHEVRET

*Département ingénierie des équipements de travail*

Des travaux ont été menés depuis plusieurs années pour déterminer les caractéristiques de l'environnement sonore sur la charge mentale. Ce projet, financé par l'ANR, vise à aller plus loin dans la compréhension du phénomène et de la situation de travail vécue par les opérateurs en identifiant les facteurs responsables de la fatigue ressentie, en portant une attention particulière à certaines caractéristiques des salariés, telles que les capacités d'inhibition attentionnelle, l'âge et les pertes auditives. Des analyses d'activité seront conduites dans différents types de bureaux ouverts et différentes conditions sonores, complétées d'expériences et de simulations en laboratoire ; un modèle de fatigue sera finalement construit.

2021 → 2024

## Perception des alarmes dans le bruit : développement de méthodes d'évaluation de l'audibilité ressentie

■ Jean-Pierre ARZ

*Département ingénierie des équipements de travail*

Thèse de doctorat : François EFFA

*MEGA Université de Lyon – Nicolas GRIMAUULT*

*LORIA Université de Lorraine – Romain SERIZEL*

L'audibilité des signaux acoustiques indiquant un danger (par exemple une alarme de recul d'un engin de chantier) est impérative pour assurer la sécurité des travailleurs face au risque d'accident, mais ces alarmes sont souvent jugées trop fortes et susceptibles d'engendrer une réaction et mise en danger des salariés. L'objectif de cette étude est d'établir de nouveaux critères de dimensionnement des alarmes sonores par le biais de deux voies de développement : l'amélioration du modèle de détection TDS (Théorie de la détection du signal) développé au cours d'une précédente étude et la mise en œuvre d'une approche basée sur des réseaux de neurones. Une expérimentation en laboratoire sur des sujets normo-entendants permettra d'évaluer le jugement de l'audibilité d'alarmes dans le bruit.

## ▶ CHUTES

2020 → 2022

## Caractérisation de l'effet des perturbations dynamiques sur la stabilité de la marche et sur les risques de chute dans un environnement mobile

■ Pierre LEMERLE

*Département Homme au travail*

Dans les secteurs aérien, maritime ou ferroviaire, les travailleurs partagent des conditions de travail spécifiques dont une composante est l'exposition aux mouvements parasites (houle, turbulences, secousses), combinée à la marche ou à la station debout. Les excitations dynamiques représentent un risque majeur de chutes de plain-pied, à l'origine de 16 % des accidents du travail. L'INRS propose d'étudier ces effets en laboratoire, en collaboration avec son homologue italien l'INAIL et l'école polytechnique de Milan. Il s'agira d'établir un modèle de marcheur humanoïde pour caractériser les perturbations dynamiques, selon leur amplitude ou la fréquence de leurs oscillations par rapport aux modifications observées dans le cycle de la marche et au risque de chute de plain-pied. Les résultats visent à améliorer les connaissances pour prévenir les risques dès le stade de la conception des locaux et des situations de travail en environnement mobile.

## ► CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

2020 → 2022

### Compatibilité électromagnétique des dispositifs médicaux implantables actifs au poste de travail

■ Gérard FLEURY et Lucien HAMMEN

Département ingénierie des équipements de travail

Thèse de doctorat : Lucien HAMMEN

Centrale Supélec GEEPS – Lionel PICHON



© Gael Kerbaol - INRS / 2021

L'objectif de cette étude est d'améliorer les connaissances sur la compatibilité électromagnétique des implants médicaux actifs, portés par des salariés exposés à des champs électromagnétiques industriels. La première étape consistera à caractériser certains équipements émissifs. La seconde vise le développement d'une fonction de transfert permettant de passer du champ magnétique externe à la tension induite sur les électrodes de l'implant et inversement. Il sera ainsi possible d'estimer le risque et d'établir des recommandations. Les conclusions de l'étude pourront permettre d'améliorer les normes de compatibilité électromagnétique des implants et fournir des repères objectifs aux médecins du 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 sa mise à jour. L'utilisation d'un modèle pour évaluer la transmission des filtres optiques à partir de leur composition chimique permettra d'étendre la gamme des données proposées sur les protecteurs.



2020 → 2022

## Évaluation de l'exposition aux rayonnements optiques artificiels issus de matières incandescentes par analyse d'images

■ Jean-Marc DENIEL

*Département ingénierie des équipements de travail*

De nombreux procédés industriels nécessitent de porter des matières à incandescence. Celles-ci émettent alors des rayonnements infrarouges nocifs pour la peau et les yeux des salariés. Évaluer le risque nécessite le recours à des appareils de mesure (radiomètres ou spectroradiomètres) onéreux et contraignants. Cette étude a pour objectif de tester la faisabilité d'une méthode d'évaluation simplifiée, basée sur l'estimation de la température et de l'émissivité d'une surface incandescente, à partir de l'analyse colorimétrique de son image dans le domaine visible, qui renseignera également sur l'origine géométrique du rayonnement. Associer ces informations à des durées d'exposition devrait permettre d'estimer des valeurs d'exposition aux rayonnements optiques artificiels. La méthode, une fois validée, sera mise en pratique sur le terrain avec l'aide des Carsat.

### ► VIBRATIONS

ÉTUDE  
TERMINÉE

2017 → 2020

## 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*

### Exposé des motifs et objectifs

Les conducteurs d'engins mobiles sont exposés à des vibrations de l'ensemble du corps susceptibles d'être à l'origine de troubles lombalgiques. Le travail en position assise prolongée et les mouvements liés à la tâche de conduite sont des facteurs de risque supplémentaires.

L'INRS cherche à améliorer la prévention du risque vibratoire par la mise au point d'une méthode d'évaluation prenant en compte la position du corps et les mouvements des conducteurs. L'objectif de cette étude était de mesurer la réponse dynamique du corps humain en tenant compte de ces deux facteurs.

### Démarche

Des sujets volontaires ont été exposés en laboratoire, assis sur un siège, à des vibrations contrôlées dans des gammes d'amplitudes et de fréquences rencontrées dans les principales familles d'engins vibrants. Les variables suivantes ont été notamment prises en compte dans le plan d'expérience :

- les effets combinés des paramètres vibratoires (amplitude, fréquence) et posturaux (segments du corps, amplitude des déviations angulaires) ;
- l'environnement ergonomique de la cabine (siège, dossier, volant, etc.).

Des mesures de la masse apparente et la transmissibilité tête-siège du corps humain en position assise ont été effectuées dans les trois directions de l'espace. Elles ont d'abord été effectuées dans la position de référence définie par la norme ISO 2631-1 (utilisée pour l'évaluation du risque vibratoire) et comparées aux valeurs caractéristiques disponibles dans la littérature. Elles ont ensuite été répétées pour 9 autres positions du corps (définies d'après des mesures préalables d'exposition au poste de conduite) et pour les déviations angulaires pertinentes pour l'étude des effets sur la colonne vertébrale. Ces courbes ont finalement été comparées à celles mesurées dans la position de référence pour estimer les effets de la posture.

## Résultats principaux

Les valeurs des principales fréquences de résonance ainsi que les valeurs maximales de masse apparente et de transmissibilité ont ainsi été obtenues pour chaque position et chaque direction étudiées.

Il apparait que les déviations de la tête, du thorax ou de ces deux segments simultanément dans le plan sagittal ont les effets les plus importants dans les directions avant-arrière et verticale. On constate notamment, sur la masse apparente, une augmentation de la fréquence de résonance combinée à une augmentation de la sensibilité du corps aux basses fréquences. Dans la direction verticale la transmissibilité des vibrations est également augmentée autour d'une fréquence assez basse. Les autres déviations angulaires (inclinaison dans le plan frontal, torsions dans le plan horizontal) ont des effets plus faibles.

## Discussion

Les résultats de cette étude sont directement exploitables par les ergonomes qui s'intéressent à la sensibilité du corps aux vibrations. Ils permettront de valider des modèles numériques du corps humain, de mieux prédire l'efficacité des suspensions de siège, ainsi que de formuler des préconisations techniques pour les constructeurs d'engins et les équipementiers. Ces travaux sont valorisés par des échanges réguliers avec les Carsat et les préventeurs en entreprise, par des communications et des publications scientifiques internationales, ainsi que par des contributions aux normes internationales sur le sujet.

2017 → 2021

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

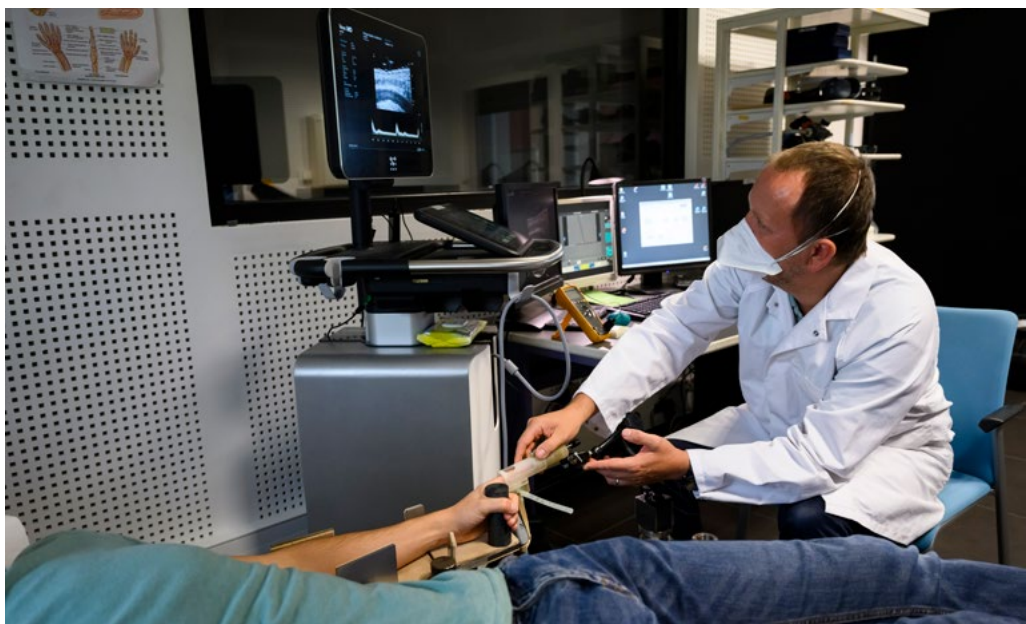
■ Christophe NOËL

*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.



## ➔ 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'ÉTUDES ET RECHERCHE

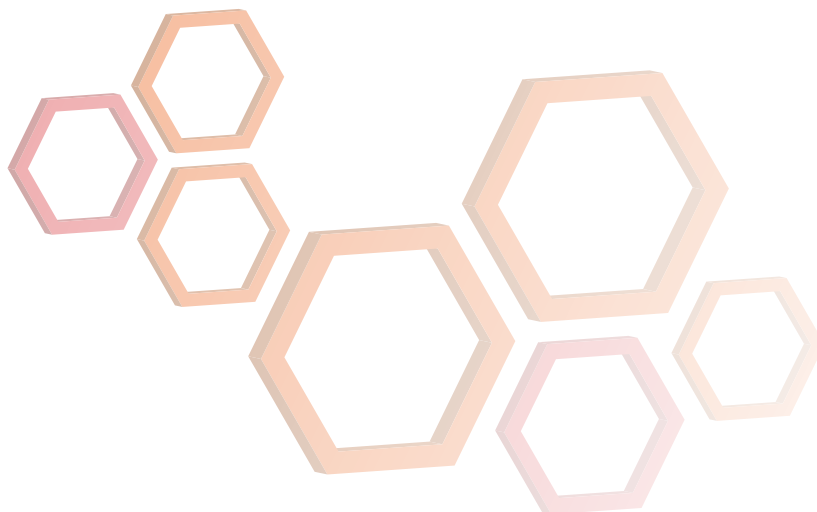
- **Évaluer les pratiques organisationnelles des entreprises** en matière d'horaires et de rythme de travail, de modes de production, de configuration des lieux, de circulation des marchandises, de gestion d'interventions extérieures ou d'opérations de maintenance.
- **Analyser les modalités de conception 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 sont conduits dans l'objectif **de développer des solutions de prévention que les acteurs puissent effectivement s'approprier.**

Dans cette rubrique, vingt et un projets sont menés :

- cinq études portent sur divers aspects de l'organisation du travail en termes de conception des lieux et des situations de travail, de planification des activités en logistique ou d'horaires atypiques ;
- sept études portent sur l'organisation de la prévention et la culture de prévention à travers des questions telles que l'élaboration et l'évaluation d'une méthode d'analyse des accidents, l'impact de l'usage de la grille de positionnement en santé et sécurité au travail, l'impact économique de la prévention, les nouvelles formes de travail et d'emploi, ou encore les perceptions et représentations des risques ;
- six études traitent des risques psychosociaux ou des troubles musculosquelettiques ;
- trois projets traitent du vieillissement et du retour au travail.



## ► CONCEPTION DES LIEUX ET DES SITUATIONS DE TRAVAIL

2018 → 2021

### 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

*Département ingénierie des équipements de travail*

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.

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, financé par l'ANR, a pour objectif le développement d'un ensemble de connaissances 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, dans le cadre de 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. Elle est 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.

## ► ORGANISATION DE LA PRÉVENTION ET CULTURE DE PRÉVENTION

ÉTUDE  
TERMINÉE

2016 → 2020

### 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*

#### Expose des motifs et objectifs

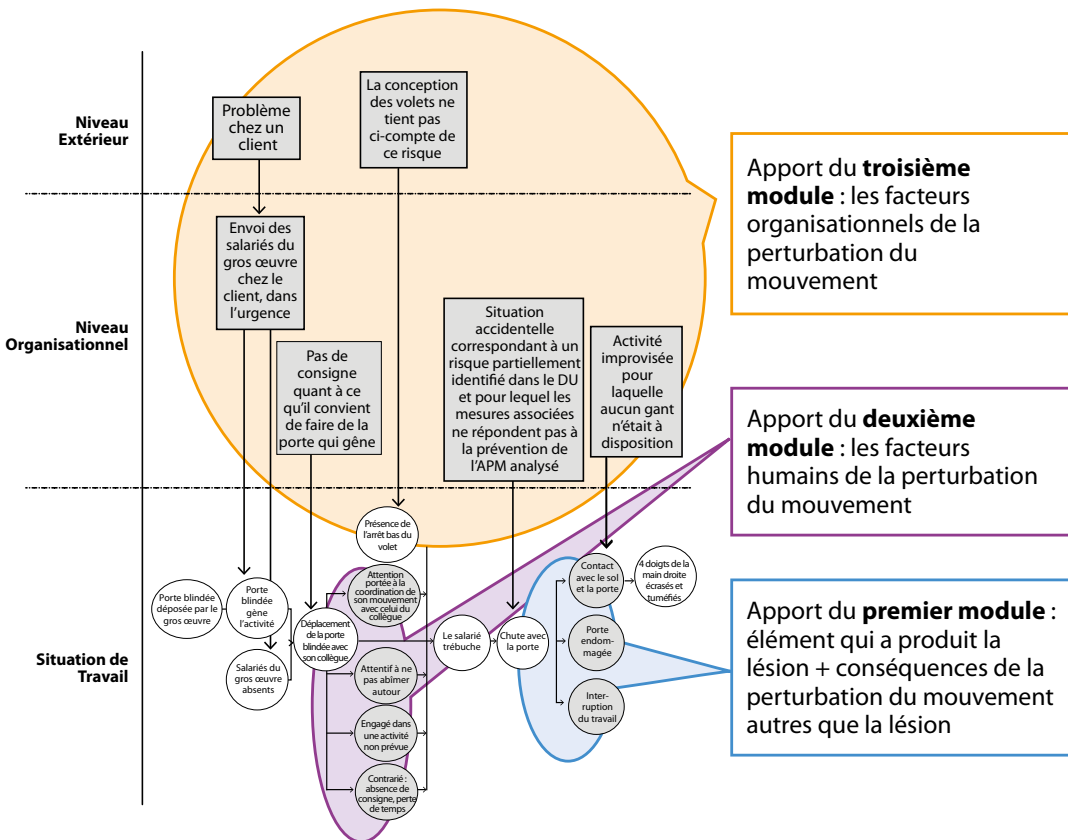
Les accidents avec perturbation du mouvement (APM) occasionnés par une glissade, un heurt, un coincement ou toute autre perturbation du mouvement au cours de l'activité correspondent à plus de 30 % des accidents du travail (AT) avec arrêt dont de nombreux sont des accidents graves. Tous les secteurs d'activité et toutes les catégories socioprofessionnelles sont touchés. Seules les glissades et les chutes de plain-pied sont rendues visibles. De plus, les recherches et les pratiques ne sont pas à la mesure du risque. L'objectif de l'étude menée en coopération avec l'Université de Bretagne Sud est double : développer une méthode d'analyse des APM et étudier sa mise en œuvre dans une dizaine d'entreprises.

### Démarche

La démarche adoptée a comporté trois étapes : l'élaboration d'une version initiale de la méthode, l'évolution de cette version vers une version à tester en entreprise sur la base des avis de 6 préventeurs d'entreprise, l'étude de la mise en œuvre de cette nouvelle version dans 8 entreprises au cours de l'analyse de 16 APM, après que les préventeurs de ces entreprises aient reçu une formation à l'usage de la méthode.

### Résultats principaux

Les avis de 6 préventeurs d'entreprise sur la version initiale de la méthode d'analyse des APM ont conduit à abandonner cette méthode, distincte de la méthode de l'arbre des causes (AdC), au profit du complément de la méthode AdC par trois modules révélant les dommages autres que la lésion (module 1), les facteurs humains (module 2) et les facteurs organisationnels (module 3) des APM. Les 16 perturbations du mouvement étudiées sont diverses (heurt, glissade, coïncement, ...). Elles se sont produites le plus souvent lorsque la victime manœuvrait ou manipulait un objet (7 cas). D'un point de vue global, l'usage des 3 modules a permis d'identifier significativement plus d'éléments dans les résultats d'analyses d'APM. La mise en œuvre des modules et les résultats produits sont cependant disparates au sein des 8 entreprises. Le plus souvent, l'opinion des préventeurs quant à l'utilité des modules est neutre ou positive. Leurs avis sont partagés concernant l'utilisabilité des modules. Ils expriment des difficultés rencontrées, des besoins en formation, en accompagnement plutôt que des modifications des contenus des modules eux-mêmes. Enfin, l'absence d'un cadre cohérent pour l'évaluation des risques d'AT est constatée.



*Développement et mise à l'épreuve d'une méthode d'analyse des accidents avec perturbation du mouvement (APM) à destination des préventeurs d'entreprise (d'après Ergonomics, 64(1), 46-128)*

## Discussion

La sinistralité importante liée au risque d'APM rend nécessaire une meilleure mise en visibilité du risque de perturbation accidentelle du mouvement au cours de l'activité. La majorité des préventeurs associés à l'étude ont spontanément évoqué l'intérêt des modules proposés pour l'ensemble des AT et pas seulement pour les APM, ce qui interroge la portée de ces modules. Les enseignements proposés à l'adresse des préventeurs mériteraient d'être complétés pour une meilleure appropriation d'une part du phénomène « accident du travail » dont les trois quarts correspondent à des risques qui se manifestent à travers les mouvements des travailleurs, d'autre part des modèles centrés sur les régulations opérées par un travailleur à travers son activité pour assurer à la fois la réalisation de la tâche et sa propre sécurité. Les formations devraient également permettre une progression dans la conduite d'entretiens et d'enquêtes post-accidents. La proposition d'un cadre cohérent pour l'évaluation des risques d'AT pourrait contribuer à rendre visibles les APM.

**ÉTUDE  
TERMINÉE**

2016 → 2020

## 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*

### Exposé des motifs et objectifs

Cette étude contribue à l'action prioritaire d'aide des entreprises pour organiser la prévention par la production de connaissances sur les pratiques d'incitation à la prévention, les cultures de prévention ainsi que les outils d'évaluation de l'organisation de la prévention. Elle a été réalisée à partir d'une observation approfondie des usages des grilles de positionnement en santé et sécurité au travail (GPSST) mises à disposition depuis 2007 par le réseau Prévention des risques professionnels de l'Assurance maladie pour accompagner les entreprises dans un diagnostic des manières de s'organiser en prévention et l'identification de pistes de progrès.

© Gael Kerbaol - INRS / 2021

Ces outils d'évaluation et d'aide à la décision occupent une place importante dans l'institution prévention depuis qu'ils sont mobilisés dans de nombreuses actions (formations, audits, programmes du réseau Prévention, ...). L'objectif de l'étude était de montrer dans quelle mesure les usages de ce type d'outil favorisent des changements organisationnels dans le respect des valeurs de l'institution prévention. Il s'agissait de caractériser les effets organisationnels associés aux usages de l'outil GPSST et de développer la compréhension des facteurs favorisant ou freinant le passage entre le diagnostic et la mise en œuvre d'actions de prévention.

### Démarche

L'étude a d'abord consisté à mettre en évidence les principes incorporés dans l'outil GPSST, ses modalités de mise en œuvre ainsi que ses divers cadres d'utilisation. L'étude s'est focalisée ensuite sur les effets organisationnels associés aux utilisations de cet outil d'évaluation par des entreprises engagées dans des plans d'action mis en œuvre par des acteurs institutionnels en prévention. Une comparaison sociologique de trois plans d'action mobilisant un outil GPSST a été effectuée. Elle avait pour but d'identifier les mécanismes sociaux expliquant dans quelle mesure une évaluation des pratiques de prévention peut être réactive et vectrice de changements. Les informations ont été recueillies grâce

à trois techniques d'enquête qualitative : la réalisation de 94 sessions d'observation directes, l'examen approfondi de 289 documents et la conduite de 39 entretiens semi-directifs individuels ou collectifs avec les personnes directement concernées par ces plans d'action.

### Résultats principaux

Le travail de comparaison des plans d'actions mobilisant un outil GPSST a révélé les mécanismes par lesquels les évaluations sont devenues réactives. Dans les cas où des actions de prévention ont été mises en œuvre, l'évaluation a agi principalement en transformant les connaissances sur les situations et les processus d'acquisition des connaissances. Les repères et notions proposés dans l'outil GPSST ont contribué à mieux cerner des problématiques organisationnelles, à faciliter la compréhension mutuelle entre acteurs et à les inciter à se conformer davantage aux dimensions considérées comme importantes selon les critères définis. Dans de nombreux cas, les passages entre l'évaluation et la mise en œuvre d'actions de prévention ont été freinés ou bloqués par plusieurs facteurs, notamment par des changements d'acteurs, de stratégie et d'organisation venus perturber les actions en cours. Au-delà de ces problèmes, l'étude a mis en évidence des difficultés relatives aux modalités d'évaluation. Elle a permis de souligner l'importance d'un accompagnement pour réaliser une évaluation avec GPSST (de préférence par une personne ayant des connaissances et compétences suffisantes en SST) et d'un soutien méthodologique pour mettre en œuvre une évaluation collective et formative avec les acteurs concernés pour favoriser leur engagement ultérieur dans les actions concrètes proposées. L'étude a mis en évidence aussi le besoin de ressources ad hoc pour appliquer une approche de prévention par l'organisation et l'articuler avec des approches par risque plus habituelles en prévention.

### Discussion

Tout au long de l'étude, des informations ont été produites pour faire évoluer l'outil GPSST et les ressources à visée méthodologique pour accompagner ses usages. La prise en compte des demandes et besoins des utilisateurs de la GPSST ont abouti à la mise à disposition en décembre 2020 d'un outil plus convivial, plus maniable et plus adaptable aux contextes et besoins des entreprises. Elle s'est accompagnée d'un guide d'utilisation, d'actions de promotion et de l'enrichissement du contenu de formations visant à mieux comprendre les dimensions organisationnelles de la prévention et inciter les (futurs) préventeurs et managers en entreprise à mieux intégrer ces dimensions dans leurs activités.



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*

### Exposé des motifs et objectifs

La culture de prévention occupe une place centrale dans les travaux sur la maîtrise des risques et la santé ou la sécurité au travail. Bien définie par l'Organisation internationale du travail (OIT) à l'échelle nationale et internationale, à l'échelle de l'entreprise cette culture est souvent évoquée mais rarement caractérisée ou étudiée. À l'interface des trois principaux composants des systèmes à risques (l'individu, le process et l'organisation), elle constitue pourtant un moyen essentiel de prévention primaire.

Pour opérationnaliser cette notion, l'étude visait trois objectifs :

- valider la notion de culture de prévention et documenter ses fondements du point de vue du travail de prévention (et de ses dimensions techniques, sociales et juridiques) ;
- tester les conditions de gestion d'une telle culture de prévention à partir de l'observation de quelques dispositifs de prévention et l'analyse des apprentissages associés ;
- vérifier les conditions d'instrumentation et les formes possibles d'évaluation d'une culture de prévention.

### Démarche

Quatre phases ont composé cette étude. Une revue de littérature a permis d'abord de recenser et comparer les définitions existantes de cultures organisationnelles au sein des principales disciplines intéressées par la notion dans le champ de la sûreté, de la sécurité, de la santé et de la prévention. En complément, nous nous sommes associés à un projet



international de recherche de consensus sur une définition partagée qui a été discutée, remaniée et validée au sein de la communauté scientifique. Ensuite un travail d'enquête de terrain a été conduit pour étudier les manifestations de la culture et son management au sein de trois organisations distinctes en termes d'activités, de taille, et de risques dans l'industrie agro-chimique, l'aide à la personne et les chantiers routiers. Chaque organisation a fait l'objet d'une description et d'un accompagnement de son programme de prévention durant plusieurs mois. Enfin un travail d'analyse et de développement d'un outil de mesure de la culture de prévention a été mené pour mettre à disposition des préventeurs des moyens d'évaluation.

### Résultats principaux

Une nouvelle définition rigoureuse et complète de culture organisationnelle de prévention a été proposée. Elle permet de soutenir la mise en œuvre de programmes institutionnels ou opérationnels en santé et sécurité au travail. Les observations en situation montrent toutefois que les cultures se laissent peu prescrire. Elles sont le fruit de nombreuses occasions fortuites d'apprentissages en fonction des risques rencontrés. Articulées à d'autres cultures (professionnelles, de métiers, d'ateliers, etc.), elles se transforment en permanence en fonction des évolutions du travail, des personnes et des organisations. Elles ne sont pas forcément homogènes et totalement partagées à l'échelle des organisations. Il importe alors de soutenir les apprentissages et de les réguler au mieux, en favorisant la participation et la confrontation des points de vue pour actualiser et renforcer ces cultures. En matière de caractérisation et de mesure de la culture de prévention, aucune méthode ni aucun outil universel et validé n'existe. La grille de positionnement en santé et sécurité au travail (GPSST), développée par le réseau Prévention est un outil qui, plus que les questionnaires ou les audits, combine plusieurs moyens d'analyse. Cette approche intégrative est valorisée par l'Agence européenne. Elle a fait l'objet d'un renouvellement informatique en faveur d'analyse et de renouvellement des cultures propres à chaque organisation.

### Discussion

La mise à disposition d'une définition claire d'une culture de prévention basée sur le travail de prévention dessine un cadre de référence pour organiser l'action de prévention et la santé-sécurité au travail. Le développement des cultures repose sur des apprentissages qu'il s'agit de coordonner, entre personnes, process et organisation. Cette analyse culturelle suggère des pistes pour comprendre les dynamiques individuelles et collectives qui forgent la santé et la sécurité des personnes. Un modèle théorique d'interaction entre les cultures (nationale, organisationnelle, professionnelle, etc.) est proposé qu'il serait utile d'étudier plus avant. L'outil GPSST est mis à disposition des entreprises pour objectiver et renforcer le travail de prévention et les cultures associées.



2017 → 2020

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

■ Jacques MARC

*Département Homme au travail*

### Exposé des motifs et objectifs

Les encadrants intermédiaires constituent des acteurs clés pour la prévention des risques professionnels dans les organisations, compte tenu des régulations qu'ils opèrent sur leur activité et celle de leurs subordonnés. Cette étude exploratoire qualitative, s'inscrivant dans le courant fiabiliste associé à la sécurité des systèmes à risque, portait sur la prise en compte et la gestion des risques pour la santé par l'encadrement intermédiaire. Le choix de ce niveau d'encadrement est apparu judicieux pour ancrer cette question sur un plan organisationnel et étudier les conditions de passage d'une sécurité gérée dans l'action à une sécurité pilotée par des règles. Une question cruciale en termes de fiabilité des systèmes sociotechniques porte notamment sur l'écart entre le moment où un événement à risque est détecté par l'encadrement et celui où il est inscrit comme événement au sein de l'organisation, justifiant la mise en œuvre d'actions de prévention. Il s'agissait ainsi dans cette étude d'envisager la gamme d'actions auxquelles peuvent recourir ces encadrants – de la détection d'événements à risque aux actions de prévention – et d'amener à clarifier les mécanismes par lesquels ils détectent et répondent aux éléments d'alerte relatifs aux risques pour leur sécurité et leur santé ou pour celle de leurs collaborateurs.

## Démarche

La méthodologie repose sur la réalisation d'entretiens individuels semi-directifs approfondis avec des cadres intermédiaires ainsi que sur des entretiens collectifs, assortis d'analyses de cas, réalisés lors de l'accompagnement de trois structures en prise avec des risques psychosociaux, dont deux accompagnements ponctuels et un au long cours. Cette approche a été complétée par une analyse documentaire et contextuelle lorsque cela était possible. Les résultats ont été organisés de manière à souligner la genèse des atteintes à la santé. En prenant appui sur les interactions avec les interlocuteurs rencontrés et sur le modèle de survenue des violences au travail (MSVT) utilisé comme une grille d'analyse de situations à risque pour la santé dans les structures accompagnées, les modalités de prise en compte par les encadrants de leur santé et de celle de leurs équipes ont été inférées, permettant de reconstruire des dynamiques de situations problèmes et de les mettre en discussion, en fonction des hypothèses principales formulées.

## Résultats principaux

En dehors des indicateurs généraux (absentéisme, les arrêts maladie...), aucun cadre intermédiaire rencontré n'a été en mesure de faire état d'indicateurs organisationnels précis, fiables et opérationnels permettant de prendre en compte la question des risques pour la santé. La question de la santé est pourtant bien présente de manière régulière dans les discours des cadres intermédiaires entendus. Il s'agit essentiellement des risques pour la santé des subordonnés, mais dans la discussion autour de situations problématiques, il arrive que les cadres évoquent aussi leur propre santé. La plupart des situations évoquées font état d'exposition chronique à de fortes tensions, du fait de la complexité des tâches à traiter et des arbitrages à réaliser ; viennent s'y ajouter des expositions aiguës. Du fait de la chronicité de l'exposition sans atteintes majeures à la santé et à la production, une partie des risques et des atteintes à la santé physique et mentale est souvent banalisée au point d'être assimilée à des situations normales. Cette banalisation nuit grandement à leur déclaration, freinant ainsi la possibilité de les prendre en compte de manière organisée. Pour les cadres intermédiaires, les difficultés à mettre en visibilité des informations relatives à leur propre santé et à celle de leurs équipes sont d'autant plus fortes que leur fonction implique de gérer ces atteintes : un signalement de ces atteintes peut alors partiellement apparaître comme un aveu de faiblesse. Enfin, les résultats montrent que les risques pour la santé sont principalement régulés dans l'action tant que les atteintes ne sont pas trop manifestes pour les subordonnés et les cadres eux-mêmes et qu'il est difficile d'identifier des critères d'alerte partagés.

## Discussion

Les prises en charge structurées et organisées des risques d'atteinte à la santé sont rares et coûteuses en ressources pour les organisations. Plusieurs actions de prévention peuvent toutefois être préconisées : utiliser des situations problématiques contextualisées pour amener l'ensemble des acteurs à échanger et « synchroniser » leurs représentations des risques pour la santé et ainsi envisager des pistes d'actions compatibles, concevoir des indicateurs de risque d'atteinte à la santé facilement utilisables « au quotidien » par les encadrants pour que leur utilisation puisse être vécue comme une ressource et pas seulement comme une contrainte de « reporting ». Les informations issues localement de ces indicateurs doivent pouvoir être concaténées pour permettre une mise à jour rapide du document unique d'évaluation des risques professionnels. Des publications et valorisations des résultats de cette étude ont déjà été réalisées, d'autres sont planifiées ou en cours de réalisation.

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*

Thèse de doctorat : Balla KHOUMA  
*Université de Lorraine – Olivier DAMETTE*

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'appuie 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 de l'INRS.

2019 → 2023

## Contraintes de l'activité dans les nouvelles formes d'emploi et de travail : quelle prévention ?

■ Corinne VAN DE WEERDT

*Département Homme au travail*

Thèse de doctorat : Raphael Haller

*Université de Lorraine - Valérie Saint-Dizier*

Les formes d'emploi et de travail se diversifient pour évoluer vers des statuts alternatifs au modèle du salariat traditionnel. De plus en plus de travailleurs du régime général sont concernés par ces évolutions, dont les spécificités interrogent les stratégies usuelles de prévention au sein des entreprises. Cette étude prévoit d'apporter une meilleure connaissance de ces nouvelles formes à travers l'analyse de l'activité réalisée par les salariés. Cette méthodologie d'approche des situations réelles permettra d'identifier les contraintes spécifiques aux contextes professionnels concernés et les facteurs de risques potentiels pour la santé et la sécurité. Ce travail pourra également mettre en évidence des facteurs de risques émergents dans ces organisations nouvelles.

## ► PERCEPTION ET REPRÉSENTATION DU RISQUE

2020 → 2024

## Comment interroger et intégrer les perceptions et représentations des risques anciens et émergents dans le travail de prévention ?

■ Mireille LAPOIRE-CHASSET

*Département Homme au travail*

L'objectif de ce projet est d'analyser les manières dont les acteurs de la prévention composent avec les perceptions et les représentations des risques de leurs interlocuteurs, dans deux domaines (l'exposition au bruit et l'exposition cutanée aux produits chimiques), puis d'évaluer les effets de ces pratiques, pour documenter quelles formes peut prendre le travail de prévention pour être efficace. Les résultats devraient enrichir les programmes d'information et de formation destinés aux acteurs de la prévention, sur les moyens de prendre en compte les perceptions multiples des risques, pour qu'une prise de conscience émerge et qu'un travail en santé et sécurité soit rendu possible.

## ► RISQUES PSYCHOSOCIAUX (RPS)

2020 → 2023

## Pratiques de prévention des risques psychosociaux mises en œuvre en entreprise : quels effets sur la santé des salariés ?

■ Stéphanie BOINI-HERRMANN et Harielle SAMBA

*Département épidémiologie en entreprise*

De causes complexes et multifactorielles, liées à la fois aux conditions d'emploi, aux facteurs organisationnels et aux relations de travail, les risques psychosociaux (RPS) représentent pour les entreprises et les acteurs en santé au travail un défi de prévention. L'objectif principal de l'étude est de déterminer l'effet des pratiques de prévention des risques psychosociaux menées en entreprise sur la santé des salariés, en tenant compte des conditions de travail, ainsi que des facteurs de l'environnement externe et des caractéristiques sociodémographiques pouvant influencer la relation.

## ► TROUBLES MUSCULOSQUELETTIQUES (TMS)

2017 → 2020

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

■ Jean THEUREL et Kévin DESBROSSES

Département Homme au travail

#### Contexte et objectifs

L'émergence récente des exosquelettes dans les entreprises est à l'origine de nouvelles questions relatives à la santé et sécurité des opérateurs, en particulier quant aux réelles conséquences physiologiques de l'usage de ces technologies. Définie en trois axes, cette étude avait pour objectifs d'investiguer les adaptations neuromusculaires et cinématiques liées à l'utilisation d'exosquelettes lors de différentes tâches de manutention, d'évaluer l'impact de ces nouvelles technologies sur les mécanismes de régulation de l'équilibre postural, et d'examiner les répercussions de l'usage d'un dispositif d'assistance de l'épaule sur le comportement fonctionnel de cette articulation.

#### Démarche méthodologique

Axe 1 : les participants ont réalisé quatre tâches expérimentales, basées sur des situations de travail simulées, avec ou sans exosquelette. Différents exosquelettes d'assistance du dos et des membres supérieurs ont été utilisés. L'activité des muscles assistés, des muscles antagonistes à la fonction d'assistance, et des muscles posturaux a été étudiée par électromyographie. Les régulations posturales ont été investiguées par une plateforme de force.

Axe 2 : les volontaires ont réalisé une extension bilatérale des membres supérieurs (MS) vers l'avant, dans le plan sagittal, à hauteur d'épaule. La tâche était répétée dans trois conditions expérimentales, avec un exosquelette d'assistance des membres supérieurs, avec un exosquelette d'assistance du dos, et sans équipement. L'activité électrique des principaux muscles impliqués dans les adaptations posturales a été enregistrée par électromyographie. L'amplitude d'oscillation du centre des pressions a été étudiée via les forces de réaction au sol. La performance motrice a été objectivée par la mesure de la vitesse maximale d'extension des MS.

Axe 3 : les participants ont pris part à une session de mesures, consistant à réaliser des mouvements d'élévation du bras droit contre résistance, avec (50 % ou 90 % de l'effort cible) ou sans assistance. L'activité électrique des principaux muscles superficiels mobilisant l'articulation de l'épaule a été unilatéralement recueillie. Un système optoélectronique a permis d'étudier le comportement fonctionnel de l'articulation avec et sans assistance. L'évolution de l'espace sous-acromial au cours du mouvement a été investiguée par une technique d'imagerie par ultrason.

#### Principaux résultats

Les résultats ont démontré les bénéfices, en termes de réduction des sollicitations musculaires, liés à l'usage d'exosquelettes. Ainsi, des réductions moyennes d'environ 7 % de l'activité des muscles du dos lors d'une tâche de manutention avec un exosquelette d'assistance du dos et d'environ 67 % de l'activité des muscles des épaules lors d'une tâche de travail impliquant le maintien des mains en hauteur avec un exosquelette assistant le membre supérieur, ont été observées. *A contrario*, il a aussi été observé des perturbations légères de l'équilibre lors du port d'exosquelettes. Toutefois, les résultats de cette étude ont permis de s'assurer que ces nouvelles technologies n'étaient pas à l'origine de risques majeurs liés au contrôle du mouvement, ou à l'intégrité fonctionnelle des articulations assistées. En revanche, ces travaux ont démontré que les bénéfices comme les limites liées à l'usage des exosquelettes dépendaient d'une forte interaction entre les caractéristiques de conception de ces dispositifs, et celles de la tâche effectuée.

#### Conclusions et perspectives

En l'absence de réponse générique, ces travaux engagent les entreprises dans une démarche méthodique basée sur des évaluations itératives des besoins en assistance physiques liés à la tâche, comme des performances d'assistance de l'exosquelette en situation de travail. En termes de valorisation, cette étude a fait l'objet de plusieurs propositions d'articles et de communications nationales et internationales. De plus, les résultats de cette étude ont été à l'origine d'une offre d'information complète (cinq brochures, une infographie, dossier web, deux webinaires, deux vidéos, un plateau télévisuel, une journée technique, diverses interventions techniques) visant à accompagner les entreprises dans cette démarche.

2018 → 2021

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

■ Adriana SAVESCU, Aude CUNY et Kevin DESBROSSES

*Département Homme au travail*

Thèse de doctorat : Clara SCHOOSE

*Université de Grenoble - Sandrine CAROLY*

Face aux enjeux de prévention des TMS dans un contexte d'évolution technologique, la robotique apparaît comme une possibilité de 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

## Conséquences physiologiques de l'usage d'exosquelettes robotisés au travail

■ Jean THEUREL et Kévin DESBROSSES

*Département Homme au travail*

Thèse de doctorat : Mathilde SCHWARTZ

*Université de Lorraine - Guillaume MORNIEUX*

Définie en deux axes, cette étude de laboratoire a pour objectif d'investiguer les adaptations neuromusculaires et cinématiques liées à l'utilisation d'exosquelettes robotisés d'assistance lors de différentes tâches de manutention. Au-delà des groupes musculaires directement assistés, l'analyse sera étendue aux muscles antagonistes (i.e., opposés à l'assistance) et aux muscles posturaux. Le second axe de recherche a pour enjeu d'évaluer l'impact d'un exosquelette robotisé sur le métabolisme énergétique et les réponses cardiovasculaires, ainsi que sur l'occurrence de la fatigue au cours d'une tâche prolongée. Les résultats permettront d'enrichir le débat sur le rôle des exosquelettes dans la prévention des TMS, en apportant notamment des connaissances quant à l'impact des technologies robotisées sur les coordinations motrices et gestuelles, ou encore sur les réponses métaboliques.

2019 → 2022

## Travail sur écran : effets des postures de travail et des dispositifs de pointage sur la dépense énergétique, les sollicitations biomécaniques du membre supérieur et la performance

■ Kévin DESBROSSES et Clarisse GAUDEZ

*Département Homme au travail*

Lors de l'utilisation d'un ordinateur, la posture la plus fréquemment observée est assise sur un siège traditionnel de bureau. Cette posture engendre une dépense énergétique réduite, délétère pour la santé. Pour pallier ce risque, des initiatives ont émergé en entreprise qui pourraient impacter le maniement de dispositifs de pointage tels que la souris qui, utilisée de façon intensive, peut générer des douleurs voire l'apparition de TMS du cou et des membres supérieurs. L'étude propose d'apporter des recommandations concrètes et applicables sur le terrain concernant, d'une part, les dispositifs de pointage à privilégier, ainsi que leur emplacement sur le plan de travail au regard des postures de travail adoptées lors d'activités sur écran, dans le but de réduire les TMS du cou et du membre supérieur et, d'autre part, les risques liés au maintien prolongé d'une posture assise sur un siège traditionnel.



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 que le secteur des soins, les collectivités et l'hôtellerie-restauration, génèrent une résistance au déplacement plus importante que celle des 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 DÉSINSERTION PROFESSIONNELLE

ÉTUDE  
TERMINÉE

2014 → 2020

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

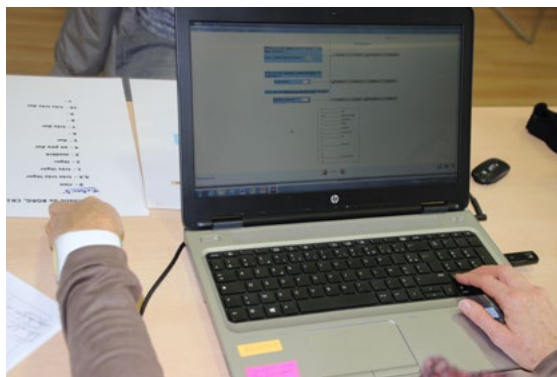
■ Emmanuelle TURPIN-LEGENBRE

*Département Homme au travail*

### Expose des motifs et objectifs

L'exposition répétée et/ou prolongée à des contraintes physiques et psychosociales peut entraîner la survenue d'atteintes de l'appareil locomoteur. Ainsi, le maintien des capacités fonctionnelles physiques (CFP) apparaît essentiel pour faire face aux exigences du travail.

De ce fait, identifier des liens entre des CFP et des expositions professionnelles pourrait participer à la prévention des phénomènes d'usure. Cette étude a consisté à évaluer rétrospectivement l'exposition aux contraintes physiques et psychosociales rencontrées au cours des parcours professionnels de salariés du BTP et leurs répercussions sur les CFP et la santé perçue. La connaissance d'associations entre expositions et CFP, observées à l'aide de tests fonctionnels pertinents, pourrait permettre de limiter la survenue de pathologies de l'appareil locomoteur et d'alerter sur la nécessité d'évolution du parcours professionnel.



© INRS - Département HT / 2021

### Démarche

En collaboration avec le Service inter-entreprises de santé au travail (Sist) du BTP Lorraine, 153 salariés masculins âgés entre 20 et 50 ans ayant eu un premier métier à forte charge physique, ont participé à l'étude. Au moment de l'étude, ces salariés avaient un métier soit à forte (83 salariés) soit à faible charge physique (70 salariés). La charge physique associée aux différents métiers a été caractérisée à l'aide d'une matrice emplois-expositions. Des questionnaires portant sur l'exposition à des contraintes physiques et psychosociales ont été élaborés et une batterie globale de douze tests physiques a été créée et mise en œuvre pour évaluer les CFP de chaque salarié inclus. Enfin, trois questionnaires ont

permis d'apprécier la santé perçue. Le recueil des questionnaires et la passation des tests physiques se sont déroulés dans les différents centres du Sist.

### Résultats principaux

Cette étude a permis d'identifier des relations entre une exposition à des contraintes physiques spécifiques (vibrations du corps entier, position accroupie, activité physique, force de préhension) et de faibles CFP (coordination motrice, dextérité manuelle, endurance musculaire des cuisses, équilibre). De même, des associations ont été trouvées entre une forte demande psychologique et une faible force maximale de l'épaule, entre une forte reconnaissance du travail et une bonne forme physique, entre un manque de latitude décisionnelle, de reconnaissance ou de soutien social et un faible équilibre. Par ailleurs, il a été observé des associations entre certaines contraintes (utilisation de la force de préhension, posture du dos sollicitante, faible reconnaissance) et une mauvaise santé perçue. Enfin, des relations ont été identifiées entre de faibles CFP (souplesse du dos, souplesse de l'épaule, coordination motrice, équilibre, endurance de l'effort de préhension) et une mauvaise santé perçue.

### Discussion

Cette étude met en évidence des associations entre contraintes physiques et psychosociales passées ou présentes et les CFP et la santé perçue. Entre autres, elle montre des associations entre des contraintes psychosociales actuelles et de faibles capacités fonctionnelles, aspects très peu décrits dans la littérature. Des tests fonctionnels sont apparus prometteurs dans la détection de faibles capacités fonctionnelles en relation avec certaines expositions professionnelles. Utiliser ces tests fonctionnels dans des études épidémiologiques longitudinales permettrait d'accroître les connaissances sur les processus d'installation des pathologies de l'appareil locomoteur. Ces tests pourraient alors être proposés aux médecins du travail pour un suivi longitudinal de la santé des salariés, afin d'alerter sur une baisse de CFP qui pourrait être le signe précurseur de l'installation d'une pathologie, mais aussi sur la nécessité d'évolution du parcours professionnel, notamment vers des métiers à plus faibles contraintes.

2015 → 2021

## 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 est réalisé auprès de 120 salariés. Il comporte 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 adopte 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 quatorze 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 d'accroître la 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.



2020 → 2022

## Prévention des risques professionnels liés à l'émergence des intelligences artificielles dans les machines : éclairer les enjeux

■ Michaël SARREY

*Département ingénierie des équipements de travail*

Quels risques pourraient induire, pour les opérateurs, l'intégration de l'intelligence artificielle dans les machines automatisées ? Cette étude se concentrera sur les risques d'ordre mécanique mais abordera également les facteurs humains. L'objectif est d'éclairer les préventeurs, concepteurs, intégrateurs et utilisateurs quant aux enjeux de santé et de sécurité spécifiques aux machines dont le système de commande est « intelligent ». Elle permettra également de mettre en perspective les implications potentielles de l'introduction des algorithmes d'intelligence artificielle vis-à-vis des exigences réglementaires et des prescriptions normatives « machines » et le cas échéant, de renforcer ou spécifier ces dernières.

2020 → 2024

## Adaptation du contrôle de robots collaboratifs à la variabilité des mouvements des opérateurs en situation de collaboration directe

■ Jonathan SAVIN

*Département ingénierie des équipements de travail*

Thèse de doctorat - Raphaël BOUSIGUES

*INRIA Nancy Grand-Est – David DANEY*

De nombreux secteurs d'activité s'équipent de robots (bras manipulateurs) qui entrent en interaction directe avec les opérateurs. L'objectif de cette étude est de développer des lois de commande permettant au robot d'adapter ses mouvements à ceux des opérateurs. Ainsi le robot peut prendre en compte la variabilité des mouvements des opérateurs, ce qui contribue à préserver leurs marges de manœuvre et leur sécurité. Ces travaux devraient permettre de proposer des recommandations pour la conception ou l'acquisition : élaboration des cahiers des charges par les entreprises utilisatrices, mise au point de tests permettant d'évaluer à quel point un bras collaboratif est capable de s'adapter à la variabilité motrice de l'opérateur et diffusion de modèles et d'algorithmes de contrôle que les fabricants ou intégrateurs de tels systèmes pourront décliner dans leurs solutions techniques.

2021 → 2023

## Prévention des risques liés à l'utilisation de lunettes connectées lors des déplacements à pied

■ Aurélien LUX et Patrice MARCHAL

*Département ingénierie des équipements de travail*

Ce projet vise à étudier les risques potentiels pour les salariés qui utilisent des lunettes dites « connectées » (LC) en se déplaçant à pied. Cette approche expérimentale associera les compétences d'ingénierie, d'ergonomie et de psychologie du travail. Environ quatre-vingt sujets seront amenés à suivre un protocole d'essais pour évaluer la qualité de leur déplacement lorsqu'ils utilisent des LC. Différentes configurations seront testées, avec des champs de vision plus ou moins dégradés et en faisant varier la complexité des messages affichés dans les lunettes. La réaction des sujets face à un événement imprévu dans leur environnement de test sera également analysée, notamment grâce à des entretiens semi-directifs. Enfin, une approche par questionnaire permettra d'étudier les effets perçus par les utilisateurs des LC sur leur santé physique et mentale. Des échanges avec des entreprises utilisatrices de LC seront aussi recherchés afin de collecter des retours d'expériences issus du terrain.



## ➔ Reproduction et travail

Étudier les liens entre le travail et les troubles de 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 certaines 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 pluririsque : chimiques, physiques, organisationnels
- Intervenir auprès de secteurs ciblés pour évaluer les réalités d'exposition

2018 ➔ 2021

### 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 un 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 de reprise du travail après congé de maternité, cette étude est également associée à un recueil d'informations sur les modalités de retour au travail. 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

### 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*

Le premier 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 → 2021

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

■ Sarah VALENTINO et Anne-Marie SAILLENAIT  
 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.



© Gael Kerbaol - INRS / 2021

2020 → 2022

## Passage percutané du bisphénol S et modélisation

■ Fabrice MARQUET et Lisa CHEDIK  
 Département toxicologie et biométrie

Les résultats d'une première étude de passage percutané réalisée *in vitro* chez l'homme ont montré que le flux de passage percutané du BPS est plus faible que celui du BPA, avec constitution possible d'un réservoir au niveau de la peau exposée. Ces travaux permettront d'appréhender les phases d'absorption, de distribution, de métabolisme et d'excrétion du BPS après une exposition par voie cutanée et ainsi d'évaluer les risques professionnels auxquels sont exposés les agents de caisse manipulant les papiers thermiques. Les résultats (passage percutané, modèle toxicocinétique) devraient également permettre d'estimer le passage percutané d'autres substituts du bisphénol A.



## ➔ 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 :

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

2020 ➔ 2023

### Usages et représentations des logiciels de soins dans les Ehpad : contraintes et opportunités pour la prévention des TMS/RPS du personnel soignant

■ Aude CUNY et Marjorie PIERRETTE

*Département Homme au travail*

A partir d'une méthodologie mixte, associant une démarche de recueil et d'interprétation des données à la fois qualitatives (entretiens, observations) et quantitatives (questionnaires), cette étude s'intéresse aux effets, en termes de contraintes et/ou ressources, de l'introduction de logiciels de soins sur le travail des soignants et de leurs encadrants. Les résultats de l'étude devraient permettre de mieux connaître les attentes, les représentations et les pratiques réelles d'utilisation des logiciels de soins dans les Ehpad privés. L'objectif final est d'identifier les déterminants à cibler pour, à la fois limiter les contraintes liées à l'introduction de ce type de technologie sur la santé physique et psychologique des opérateurs, et favoriser leur usage en tant que ressource individuelle et collective en faveur de la prévention des TMS et des RPS.



## ➔ Polyexpositions 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 polyexpositions soient supérieures à la somme de celles considérées individuellement si des synergies existent.

Mieux connaître et évaluer l'impact des polyexpositions 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 polyexpositions et évaluer leurs impacts
- Développer de nouveaux outils et méthodes pour estimer les risques potentiels sur la santé

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  
*Institut de recherche en santé environnement de travail –  
Pascal WILD*

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 repose 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 de développer 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.

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.

2020 → 2023

## Portrait de la polyexposition chimique professionnelle en France à partir des données de Colchic et Scola

■ **Andréa EMILI et Gautier MATER***Département métrologie des polluants*

Dans le milieu professionnel, les salariés sont souvent exposés à plusieurs agents chimiques ou à des substances chimiques associées à des facteurs physiques, qui peuvent avoir des effets délétères sur la santé. La finalité de cette étude est de dresser un portrait des situations de travail en France pour lesquelles une exposition à plusieurs substances chimiques est identifiée. Ce portrait sera réalisé à partir des données contenues dans les bases d'expositions professionnelles Colchic et Scola et enrichi avec des informations provenant de bases étrangères et d'inventaires issus d'évaluations. L'étude permettra de mieux connaître les situations de travail caractérisées par l'exposition à plusieurs substances chimiques, d'identifier les situations potentiellement à risque et de promouvoir une prise en compte de la polyexposition.

2021 → 2024

## Objectivation de la polyexposition chimique des travailleurs itinérants en contact avec les terres polluées

■ **Karine GERARDIN***Département ingénierie des procédés*

Les travailleurs impliqués dans la gestion des sites pollués sont présents sur des terrains dont les sols contiennent différents types de polluants organiques et inorganiques présentant un danger pour leur santé. Cette étude expérimentale vise à objectiver la polyexposition chimique des travailleurs aux substances chimiques sur les sites et sols pollués (SSP) et à comprendre ses origines. Elle impliquera des mesures sur les trois matrices sol, gaz de sol et atmosphère, sur un terrain expérimental ainsi que des mesures d'exposition sur deux groupes de travailleurs se déplaçant de site en site. Les différents dispositifs de mesure d'ambiance, individuels, temps réel et surfaciques, complémentaires, seront déployés lors de campagnes de mesures réalisées par l'INRS, mais également en autonomie par les travailleurs.

2021 → 2022

## Approche métabolomique appliquée à l'évaluation biométriologique des polyexpositions professionnelles : étude de faisabilité

■ **Sophie NDAW et Baninia HABCHI***Département toxicologie et biométriologie*

Cette étude a pour objectif principal de tester la faisabilité de la mise place d'un protocole de criblage non ciblé, basé sur une approche métabolomique, pour évaluer les polyexpositions professionnelles en utilisant la chromatographie en phase liquide à ultra-haute performance couplée à la spectrométrie de masse haute résolution. La construction, en interne, d'une base de données haute résolution, qui permettra d'identifier avec précision les biomarqueurs d'exposition et d'effets précoces à partir d'échantillons biologiques de salariés suivis en entreprises, constituera le deuxième objectif. L'approche métabolomique permettra d'apporter des réponses aux différentes demandes relatives à l'évaluation biométriologique, comme dans les secteurs de traitement des déchets d'équipement électrique et électronique ou des sols pollués.



# COMMISSION SCIENTIFIQUE DE L'INRS

## (Composition au 1<sup>er</sup> septembre 2021)

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

David VERNEZ	UNISANTE - Département santé au travail et environnement. Lausanne
--------------	--

### Vice-présidents

Annie JOLIVET	Centre d'études de l'emploi et du travail - Cnam
Jean-Claude SAGOT	Université de Bourgogne Franche-Comté (UBFC), UTBM - Département ergonomie, design et ingénierie mécanique (EDIM)

### Autres membres

Paul AVAN	UMR 1107 Inserm/Université Clermont Auvergne. Laboratoire Neuro-Dol
Sandrine CAROLY	UMR 5194 CNRS/UGA Université de Grenoble-Alpes/IEP Grenoble. Laboratoire PACTE
Barbara CHARBOTEL	UMR 9405 Université Gustave Eiffel/Université de Lyon. UMRESTTE
Elodie DEQUAIRE	Cetim
Alexis D'ESCATHA	UMR 1085 Inserm/Université Rennes 1/EHESP. IRSET Equipe Ester
Raphaël DUMAS	UMR T9406 Université Gustave Eiffel/Université Claude Bernard Lyon 1. Laboratoire de biomécanique et mécanique des chocs
Alain GARRIGOU	Université de Bordeaux 1 - Département hygiène, sécurité et environnement - IUT
Philippe GERARDIN	EA 4370 USC INRAE - Faculté des sciences et technologies - Université de Lorraine (LERMAB)
Benoît IUNG	UMR 7039 CNRS/ Université de Lorraine Centre de recherche en automatique de Nancy (Cran)
Sophie LANONE	U955 Inserm/ Université Paris Est Créteil. Institut Mondor de recherche biomédicale (IMRB)
Catherine LAVANDIER	UMR 8051 CNRS/ENSEA Cergy/ Université de Cergy-Pontoise. Equipes Traitement de l'information et systèmes (ETIS)
Laurence LE COQ	Institut Mines-Télécom Atlantique Bretagne - Pays de Loire
Pierre LEBAILLY	Centre de lutte contre le cancer François Baclesse - Université de Caen-Normandie
Benoît MAUNIT	UME 1240 Inserm/ IMoST Université Clermont Auvergne

Valérie PICHON	Ecole supérieure de physique et de chimie Industrielles de la ville de Paris
Alain PINEAU	Praticien hospitalier retraité de l'Université de Nantes
Christophe VIAL	UMR 6602 - Université Clermont Auvergne /CNRS/SIGMA. Institut Pascal - Axe Génie des procédés, énergétique et biosystèmes

## 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

Vincent BONNETERRE	CHU de Grenoble - Service de médecine du travail
Barbara CHARBOTEL	UMR 9405 Université Gustave Eiffel/Université de Lyon. UMRESTTE
Christine COHIDON	Policlinique médicale universitaire de Lausanne
Alexis D'ESCATHA	UMR 1085 Inserm/Université Rennes 1/EHESP. IRSET Equipe Ester
Pierre LEBAILLY	Centre de lutte contre le cancer François Baclesse - Université de Caen-Normandie
Martine LEONARD	Inspection médicale du travail - Direccte Lorraine

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

Christophe BONNAUD	Carsat Auvergne, département Risques professionnels
Sandrine CAROLY	UMR 5194 CNRS/UGA Université de Grenoble-Alpes/IEP Grenoble. Laboratoire Pacte
Nicolas DECHY	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire - IRSN - Pôle Sûreté nucléaire
Raphaël DUMAS	UMR T9406 Université Gustave Eiffel/Université Claude-Bernard Lyon 1. Laboratoire de biomécanique et mécanique des chocs
Claire EDEY GAMASSOU	Institut de recherche en gestion. Université Paris-Est Créteil
Alain GARRIGOU	Université de Bordeaux 1 - Département hygiène, sécurité et environnement - IUT
Maria GONZALEZ	Service de pathologie professionnelle et de médecine du travail - Hôpital civil Strasbourg
Annie JOLIVET	Centre d'études de l'emploi et du travail. Cnam
Romuald LEPERS	U 1093 Inserm, Université de Bourgogne. Cognition, action et plasticité sensorimotrice
Pascal MADELEINE	Head of Physical Activity and Human Performance group



Arnaud MIAS	UMR 7170 CNRS/INRA/Université Paris-Dauphine. Institut de recherche interdisciplinaire en sciences sociales. IRISSO
Valérie SAINT-DIZIER	Université de Lorraine - Département de psychologie

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

Daniel BRISSAUD	Université Grenoble-Alpes. Laboratoire sciences pour la conception, l'optimisation et la production
Arnaud DELAMEZIERE	Institut supérieur d'ingénierie de la conception
Élodie DEQUAIRE	Cetim
Émilie DUCHET	Carsat du Nord-Est
Jacques FELBLINGER	U 947 Inserm. Unité Imagerie adaptative diagnostique et interventionnelle. IADI
Emmanuel FOLTETE	UMR 6174 CNRS/UFC/UTBM/ENSMM Institut Femto-ST. Département mécanique appliquée
Benoît IUNG	UMR 7039 CNRS/ Université de Lorraine, Centre de recherche en automatique de Nancy (Cran)
Catherine LAVANDIER	UMR 8051 CNRS/ENSEA Cergy/ Université de Cergy-Pontoise. Equipes traitement de l'information et systèmes (ETIS)
Guy LEBERRE	Carsat Bretagne - Direction des risques professionnels
Gilles PARENT	UMR 7563 CNRS/Université de Lorraine. Laboratoire énergies et mécanique théorique et appliquée (LEMTA).
Judicaël PICAUT	UMR Université Gustave Eiffel/CEREMA. Acoustique environnementale (UMRAE)
Jean-Claude SAGOT	Université de Bourgogne Franche-Comté (UBFC), UTBM - Département ergonomie, design et ingénierie mécanique (EDIM)

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

François DURIER	CETIAT - Directeur du développement et des partenariat
Marie-Christine FOURNIER-SALAUN	IUT de Rouen - Laboratoire de sécurité des procédés chimiques
Philippe GERARDIN	EA 4370 USC INRAE ; Faculté des sciences et technologie - Université de Lorraine (LERMAB)
Pierre LAMBERT	Carsat Aquitaine
Laurence LE COQ	IMT Atlantique Bretagne - Pays de Loire - Ecole Mines-Télécom
Michel LEBRUN	Carsat Auvergne - Centre interrégional de mesures physiques
Fabrice LERAY	Carsat Pays de la Loire
Coralie SCHOEMAECCKER	UMR 8522 CNRS/Université de Lille. Physicochimie des processus de combustion et de l'atmosphère (PC2A)
Christophe SICOT	Ecole nationale supérieure de mécanique et d'aérotechnique - ENSMA
Anne TANIÈRE	UMR 7563 CNRS/Université de Lorraine. Laboratoire énergies et mécanique théorique et appliquée (LEMTA)

Christophe VIAL	UMR 6602 - Université Clermont Auvergne /CNRS/SIGMA. Institut Pascal - Axe génie des procédés, énergétique et biosystèmes
Dominique WOLBERT	Ecole nationale supérieure de chimie, équipe chimie et ingénierie des procédés

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

Delphine BARD	Laboratoire "Health and Safety Laboratory" (Royaume-Uni)
Denis BOULAUD	Association française d'études et recherches sur les aérosols
Martine CHOUVET	Laboratoire PRYSM d'Alcade. Technopole le Polygone. Institut technique des gaz et de l'air (ITGA)
Evelyne GEHIN	EA 3481 Université Paris Est- Créteil ; Centre d'études et de recherche en thermique environnement et systèmes (Certes) -
Catherine HEDOUIN-LANGLLET	Cramif - Laboratoire de toxicologie industrielle
Jérôme LAVOUE	Centre de recherche du CHU de Montréal (Canada)
Pierre LE CANN	Ecoles des hautes études en santé publique
Benoît MAUNIT	UMR 1240 Inserm/Université Clermont Auvergne (IMoST)
Valérie PICHON	Ecole supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris
David VERNEZ	UNISANTE - Département santé au travail et environnement (Suisse)

### Membres du groupe de suivi département toxicologie et biométrie

Paul AVAN	UMR 1107 Inserm/Université Clermont Auvergne. Laboratoire Neuro-Dol
Carine BOSSENMEYER-POURIE	U 1256 Inserm/Université de Lorraine. Nutrition génétique et exposition aux risques environnementaux. NGERE
Arnaud BRUYERE	Université de Rennes 1, UFR pharmacie
Sylvie CHEVILLARD	Institut de recherche en radiobiologie cellulaire et moléculaire (IRCM). CEA
Antoine DEPAULIS	U1216 Inserm/UGA/CHUGA/CEA. Institut des neurosciences de Grenoble (GIN)
Stéphanie GRANDEMANGE	UMR 7039 CNRS/ Université de Lorraine Centre de recherche en automatique de Nancy (CRAN)
Nancy HOPF	UNISANTE (Suisse)
Saadia Kerdine-Römer	UMR-S 996, LabEX LERMIT - Faculté de Pharmacie - Université Paris-Sud 11
Sophie LANONE	U955 Inserm/ Université Paris Est Créteil. Institut Mondor de recherche biomédicale (IMRB)
Patrick MENU	UMR 7365 CNRS/Université de Lorraine. Biopôle de l'Université de Lorraine - Ingénierie moléculaire et physiopathologie articulaire (IMoPA)
Alain PINEAU	Université de Nantes – Faculté de pharmacie

# PUBLICATIONS DE L'ANNÉE 2020

## ➔ PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES

### ► EXPOSITIONS AUX AGENTS PATHOGENES

#### Atmosphère

- BURZONI S., DUQUENNE P., MATER G., FERRARI L. - Workplace Biological Risk Assessment: Review of Existing and Description of a Comprehensive Approach. (Évaluation des risques biologiques en milieu de travail: examen de l'existant et description d'une approche globale). 2020, Vol. 11, Issue 741.

### ► AUTRES RISQUES BIOLOGIQUES

#### Elsevier Reference Collection in Life Sciences - Editions Elsevier, 2020

- SIMON X., LOISON P. - Airborne fungi in workplace atmospheres: overview of active sampling and offline analysis methods used in 2009-2019 published articles. (Aérosols fongiques dans les atmosphères de travail : état des lieux des méthodes de mesures utilisées dans les articles publiés entre 2009 et 2019), 10 p.

#### Hygiène et sécurité du travail

- DUQUENNE P. - Les risques biologiques professionnels, état des lieux des connaissances. Mars 2020, n° 258, mars 2020, pp. 82-90.

## ➔ PRÉVENTION DES RISQUES CHIMIQUES

### ► DÉVELOPPEMENT DE MÉTHODES

#### Molécules

- ILLUMINATI S., ANNIBALDI A., BAU S., SCARCHILLI C., CIARDINI V., GRIGIONI P., GIROLAMETTI F., VAGNONI F., SCARPONI G., TRUZZI C. - Seasonal evolution of size-segregated particulate mercury in the atmospheric aerosol over Terra Nova Bay, Antarctica. (Evolution saisonnière de la distribution du Mercure dans l'aérosol atmosphérique de Terra Novay Bay, Antarctique). 2020, Vol. 25, Issue 17.

#### Regulatory Toxicology and Pharmacology

- B. HOPF N., REALE E., BERTHET A., SCHENK L., MIDANDER K., JULANDER A., JOHANSON G., MARQUET F., CHAMPMARTIN C., CHEDIK L., KILO S., GASKIN S., LARESE FILON F., BUNGE A., B KASTING G., L. DU PLESSIS J., FRANKEN A., HAGVALL L. - Reflections on the OECD guidelines for in vitro skin absorption studies. (Réflexions sur les lignes directrices de l'OCDE pour les études d'absorption cutanée in vitro), Vol.117, November 2020.

## International Journal of Environmental Research and Public Health

- CLERC F., EMILI A., MATER G. - AltrexChimie, a software for the management and the interpretation of occupational exposure measurements to chemical substances. (AltrexChimie, un logiciel pour la gestion et l'interprétation des mesures d'exposition professionnelle aux substances chimiques). 2020, Vol. 17, 3375, 12 p.

## Journal of Nanoparticle Research

- BAU S., GAIE-LEVREL F., BREGONZIO-ROSIER L., PAYET R., ARTOUS S., JACQUINOT S., GUIOT A., OUF F.X., BOURROUS S., MARPILLAT A., FOULQUIER C., SMITH G., CRENN V., FELTIN N. An intercomparison exercise of good laboratory practices for nano-aerosol size measurements by mobility spectrometers. (Mesure de la taille d'aérosols de nanoparticules par spectromètres de mobilité électrique: résultat d'un exercice d'intercomparaison mené dans le cadre du Club nanométrie). 2020, Vol. 22, Issue 103, 13 p.

## Journal of Physics: Conference Series

- BAU S., PAYET R., TRITSCHER T., WITSCHGER O. - Intercomparison in the laboratory of various condensation particle counters challenged by nanoaerosols in the range 6 – 460 nm. (Intercomparaison en laboratoire de Compteurs de Noyaux de Condensation exposés à des aérosols variés dans une gamme de 6 à 460 nm). 2020.

## Hygiène et sécurité du travail

- LANGLOIS E., PELLETIER E. - Performance du prélèvement passif pour les polluants organiques volatils. *Mars 2020, n°258, nt81, pp. 66-72.*
- CLERC F. - Comment utiliser Altrex Chimie pour contrôler les expositions aux substances chimiques ? *Mars 2020, n°258, fi25, 2p.*
- GALLAND B., DIRRENBERGER P., GERARDIN K., LEVILLY R., MARTIN P., DUQUENNE P. - Analyse spatio-temporelle des expositions professionnelles aux agents chimiques et biologiques. *Septembre 2020, n°260, do30, pp. 50-56.*
- GALLAND B. - Evaluation des performances d'un détecteur à photo-ionisation (PID) équipé d'une lampe de 11,7 eV. *Septembre 2020, n°260, nt85, pp. 76-82.*
- COURRIER B. - La mesure : intérêts et limites dans la démarche de prévention du risque chimique. *Septembre 2020, n°260, do30, pp. 26-32.*
- BAU S., FAVRE G., FELTIN N. - Mesure de la taille de nanoparticules : retour sur un exercice de comparaison inter-laboratoires et inter techniques. *Septembre 2020, n° 260, nt83, pp 60-67.*
- GALLAND B., GERARDIN K., MONTA N., CHEVALLIER S., JARRAYA M. - Manipulation de carboglace : mesure de l'exposition individuelle au dioxyde de carbone à l'aide de détecteurs à lecture directe. *Décembre 2020, n° 261, ec29, pp. 92-98.*

## Références en santé au travail

- CLERC F., EMILI A., MATER G. - AltrexChimie, une application web pour le contrôle des expositions aux substances chimiques. *Juin 2020, n°162, act148, pp. 7-10.*

## In Manuel d'hygiène du travail : du diagnostic à la maîtrise des facteurs de risque, Mont-Royal, Québec, in Modulo-Griffon (Édit.), 2020.

- LAVOUE J., MATER G., SAUVE J.F., OUELLET C. - L'enquête approfondie en hygiène du travail : Stratégies d'évaluation de l'exposition et d'interprétation des données. *Chapitre 16, pp. 391-437.*

## ► SUBSTANCES CMR

### Occupational and Environmental Medicine

- GUSEVA-CANU I., GAILLEN-GUEDY A., WILD P., STRAIF K., LUCE D. - Lung cancer mortality in the French cohort of titanium dioxide workers: some aetiological insights. (Mortalité par cancer du poumon dans la cohorte française de travailleurs du dioxyde de titane: quelques aperçus étiologiques). *31 Jul 2020, Vol. 77, Issue 11, pp. 795-797.*

### Chemico - Biological Interactions

- KIRSCH A., DUBOIS-POT-SCHNEIDER H., VION C., SCHOHN H., GATE L., GUICHARD Y. - Predictive early gene signature of the mouse Bhas 42 cell transformation induced by synthetic amorphous silica nanoparticles. (Signature de gènes prédictive de la transformation des cellules murines Bhas 42 induite par des nanoparticules de silice amorphes synthétiques). *2020, Vol. 315.*

### Thèse de doctorat en biologie-santé-environnement «Sciences de la vie et de la santé», Mars 2020, Université de Lorraine, Nancy

- KIRSCH A. - Signatures moléculaires impliquées dans la transformation des cellules Bhas 42 induite par les silices amorphes synthétiques. *Mémoire de thèse, 138 p.*

## ► SUBSTANCES ALLERGISANTES

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

- BATAIS F. - De nouveaux tests pour évaluer le caractère sensibilisant d'une substance industrielle. *2020, Vol. 81, pp. 489-491.*

## ► AMIANTE ET FIBRES

### Hygiène et sécurité du travail

- GUICHARD R. - Risque chimique : prédire l'impact du vent sur les systèmes de ventilation. *Mars 2020, n° 258, do28, pp. 44-47.*

## ► NANOPARTICULES ET PARTICULES ULTRAFINES

### Particle and Fibre Toxicology

- HALAPPANAVAR S., VAN DEN BRULE S., NYMARK P., GATE L., SEIDEL C., VALENTINO S., ZHERNOVKOV V., HOGH DANIELSEN P., DE VIZCAYA A., WOLFF H., STOEGER T., BOYADZIEV A., SOS POULSEN S., BIRKELUND SORLI J., VOGEL U. - Adverse Outcome Pathways as a tool for the design of testing strategies to support the safety assessment of emerging advanced materials at the nanoscale.. (Les voies conduisant à des effets indésirables (Adverse Outcome Pathways) comme outils pour l'élaboration de stratégies d'essais pour évaluer le risque associé à l'exposition à des nanomatériaux.). *2020, Vol. 17, Issue 16.*

### Nanotoxicology

- SEIDEL C., ZHERNOVKOV V., CASSIDY H., KHOLODENKO B., MATALLANAS D., COSNIER F., GATE L. - Inhaled multi-walled Carbon Nanotubes differently modulate global Gene and Protein Expression in Rat Lungs. (L'inhalation des nanotubes de carbone multi-parois modulent différemment l'expression globale des gènes et des protéines dans les poumons de rat). *2020.*

- DEVOY J., NUNGE H., BONFANTI E., SEIDEL C., GATE L., COSNIER F. - Quantitative measurement of carbon nanotubes in rat lung. (Mesure quantitative des nanotubes de carbone dans le poumon de rat.). 2020.

### International Journal of Molecular Sciences

- LEROUX M., DOUMANDJI Z., CHEZEAU L., GATE L., NAHLE S., HOCQUEL R., ZHERNOVKOV V., MIGOT S., GHANBAJA J., BONNET C., SCHNEIDER R., RIHN B., FERRARI L., JOUBERT O. - Toxicity of TiO<sub>2</sub> nanoparticles: validation of alternative models. (Toxicité des nanoparticules de TiO<sub>2</sub> : validation de modèles alternatifs). 2020, Vol. 21.

### Journal of Breath Research

- SAUVAIN J., EDME J., WILD P., SUAREZ G., BEZERRA O., TALVANI A., ALGRANTI E., CARNEIRO A., CHEROT-KORNIBIS N., SOBASZEK A., HULO S. - Does exposure to inflammatory particles modify the pattern of anions in exhaled breath condensate? (L'exposition aux particules inflammatoires modifie-t-elle le schéma des anions dans le condensat respiratoire expiré ?). 2020, Vol. 14.

### Journal of Loss Prevention in the Process Industries

- BAU S., SANTANDREA A., PACAULT S., OUDART Y., VIGNES A., PERRIN L., DUFAUD O. - Safer and stronger together ? Effects of the agglomeration on nanopowders explosion. (Plus sûrs et plus forts ensemble ? Effets de l'agglomération sur l'explosion des nanopoudres). 2020, Vol 69.

### Applied Ergonomics

- GALEY L., AUDIGNON S., WITSCHGER O., BAU S., JUDON N., LACOURT A., GARRIGOU A. - What does ergonomics have to do with nanotechnologies? Methodological development to take work activity into account in exposure assessment to nanoparticles. (Qu'est-ce que l'ergonomie a à voir avec les nanotechnologies ? Développement méthodologique pour la prise en compte de l'activité professionnelle dans l'évaluation de l'exposition aux nanoparticules). September 2020, volume 87, 11 p.

### Atmosphere

- ROUSSET D., GHANEM M., PERDRIX E., Y ALLEMAN L., CODDEVILLE P. - Bioaccessibility and oxidative potential of single metals or multi-element particles in welding fumes. (Bioaccessibilité et potentiel oxydant des métaux présents dans les fumées de soudage). 2021, Vol. 12, Issue 30.

### Toxicology Letters

- HEMMENDINGER M., WILD P., SHOMAN Y., GRAILLE M., BERGAMASCHI E., HOPF N., GASEVA CANU I. - Reference ranges of oxidative stress biomarkers selected for non-invasive biological surveillance of nanotechnology workers: Study protocol and meta-analysis results for 8-OHdG in exhaled breath condensate. (Gammas de référence des biomarqueurs de stress oxydant sélectionnés pour la surveillance biologique non invasive des travailleurs en nanotechnologie: protocole d'étude et résultats de la méta-analyse pour le 8-OHdG dans le condensat expiré). March 2020, Vol. 327, pp. 41-47.

## ▶ PERTURBATEURS ENDOCRINIENS

### International Archives of occupational and Environmental Health

- FERRY N., SANTONEN T., PORRAS S., FUCIC A., LESO V., BOUSOUMAH R., CORNELIU R., EL YAMANI M., KOLOSSA-H M., NDAW S., VIEGAS S., IAVOCOLI I. - Biomonitoring of occupational exposure to phthalates: a systematic review. (Biosurveillance de l'exposition professionnelle aux phtalates : une revue systématique). 2020, 229, 22 p.

## Hygiène et sécurité du travail

- LECLER M.T., ZIMMERMANN F., SILVENTE E. - Les retardateurs de flamme dans les filières de traitement des DEEE. *Décembre 2020, n° 261, do31, pp. 34-41.*

## ► PROTECTION COLLECTIVE ET INDIVIDUELLE

### Process Safety and Environmental Protection

- KHIROUNI N., CHARVET A., THOMAS D., BEMER D. - Regeneration of dust filters challenged with metallic nanoparticles: influence of atmospheric aging. (Régénération des filtres à particule exposés aux nanoparticules métalliques : influence du vieillissement atmosphérique). *2020, Vol. 138, 8 p.*

### Emission Control Science and Technology

- BEMER D., THOMAS D., PACAULT S. - Performance of a Diesel Particle Filter Damaged by Drilling Holes in the Filter Walls to Simulate Internal Micro-cracks. (Performance d'un filtre à particule diesel endommagé par le percement de trous dans les parois du filtre pour simuler des micro fracturations internes), *published online 7 oct-2020, 10 p.*

## Hygiène et sécurité du travail

- BELUT E., FONTAINE J.R., AUDARD F., FEDE P., SIMONIN O. - Poussières : simuler pour mieux respirer. *Mars 2020, n° 258, do28, pp. 48-51.*

## Références en santé au travail

- AUBLET-CUVELIER A., CLAUDON L. - Effets physiologiques liés au port d'un masque à usage médical ou d'un demi-masque filtrant et conséquences potentielles sur le confort et la santé. *Septembre 2020, n° 163, TP 42, p. 89-94.*

## ESCAPE30, 30th European Symposium on Computer Aided Process Engineering, May, 24-27, 2020, Milano, Italy

- CARDENAS SARABIA C., MARSTEAU S., SIGOT L., VALLIERES C., LATIFI A. - Analysis of an Industrial Adsorption Process based on Ammonia Chemisorption: Modeling and Simulation. (Analyse d'un procédé industriel d'adsorption basé sur la chimisorption de l'ammoniac : modélisation et simulation). *Proceedings, 6 p.*
- MATAMOROS F., GLAUDE P.A., BOUNACEUR R., MONNIER H., LATIFI A. - Modelling and Simulation of Low Pressure Carburizing Furnaces. (Modélisation et simulation des fours de cémentation gazeuse à basse pression). *Proceedings, 6 p.*

## Thèse de doctorat en Science, « Ingénierie et Environnement », 17 décembre 2020, Université Gustave Eiffel

- HALIM ATALLAH G. - Simulation numérique des écoulements d'air et de polluants induits par le mouvement d'une personne : effets sur les dispositifs de confinement dynamique. *Mémoire de thèse, 224 p.*



## ► AUTRES RISQUES CHIMIQUES

### Indoor Air

- ROBERT L., GUICHARD R., KLINGLER J., COCHET V., MANDIN C. - Indoor air quality in shopping and storage areas. (Qualité de l'air intérieur dans les commerces et lieux de stockage). *2021, Vol 31, pp 1238-1251.*
- GLORENNEC P., SHENDELL D., RASMUSSEN P., WAEBER R., EGEHY P., AZUMA K., PELFRENE A., LE BOT B., ESTEVE W., PEROUEL G., PERNELET JOLY V., NOACK Y., DELANNOY M., KEIRSBULCK M., MANDIN C. - Towards setting public health guidelines for chemicals in indoor settled dust?. (Vers la mise en place de valeurs guides sanitaires pour les polluants chimiques sur les poussières intérieures sédimentées). *2021, Vol 31, Issue 1, pp 112-115.*

### International Journal of Molecular Sciences

- GRAILLE M., WILD P., SAUVAIN J.J., HEMMENDINGER M., GUSEVA CANU I., HOPF N. - Urinary 8-OHdG as a Biomarker for Oxidative Stress: A Systematic Literature Review and Meta-Analysis. (8-OHdG urinaire comme biomarqueur du stress oxydatif: revue systématique de la littérature et méta-analyse). *2020, Vol. 21.*

### Atmosphere Environment

- CARON F., GUICHARD R., ROBERT L., VERRIELE M., THEVENET F. - Behaviour of individual VOCs in indoor environments: how ventilation affects emission from materials. (Comportement des COV individuels dans les environnements intérieurs : comment la ventilation affecte les émissions des matériaux). *June 2020 online, Vol. 243.*

### Toxicology Letters

- GRAILLE M., WILD P., SAUVAIN J.J., HEMMENDINGER M., GUSEVA CANU I., HOPF N. - Urinary 8-isoprostane as a biomarker for oxidative stress. A systematic review and meta-analysis. (8-isoprostane urinaire en tant que biomarqueur du stress oxydatif. Une revue systématique et une méta-analyse). *2020, Vol. 328, pp. 19-27.*

### Toxicology *in vitro*

- TALLANDIER V., MERLEN L., BOUCARD S., THOMAS A., VENET T., CHALANSONNET M., GAUCHARD M., CAMPO P., POUYATOS B. - Styrene alters potassium endolymphatic concentration in a model of cultured utricle explants. (Evaluation de la vestibulotoxicité du styrène sur des explants d'utricules en culture). *2020, Vol. 67, 10 p.*

### Annals of Work Exposures and Health

- ROBERT L., GUICHARD R., KLINGLER J. - Work exposure to VOC in storage areas of retail stores. (Exposition professionnelle aux COV dans les stocks des commerces de détail). *2021, Vol 65, Issue 3, pp 319-331.*

### Revue française d'histotechnologie

- THOMAS A., TALLANDIER V., BOUCARD S., MERLEN L., CHALANSONNET M., POUYATOS B. - Analyse histologique d'explants vestibulaires pour évaluer la toxicité de produits chimiques. *2020, Vol. 32, n°1, pp. 119-136.*

### Hygiène et sécurité du travail

- SAUVE J.F., MATER G. - Portrait des expositions aux poussières inhalables et alvéolaires mesurées par le réseau de prévention entre 2014 et 2018. *Mars 2020, n° 258, bd6, pp. 74-79.*
- SAUVE J.F., MATER G. - Portrait de l'exposition professionnelle aux substances chimiques visées par la mise à jour des valeurs limites d'exposition professionnelle effectives au 1<sup>er</sup> juillet 2020. *Juin 2020, n°259, bd7, pp. 84-90.*



- COSSEC B., REMY A., POUYATOS B. - Prise en compte du passage percutané lors d'expositions à la n-méthyl-2-pyrrolidone (NMP) : analyse de treize campagnes de mesures. *Septembre 2020, n°260, nt86, pp. 84-91.*
- BINET S., BELUT E., CHAZELET S., GATE L., GUICHARD R., HEDELIN G., MALARD S., OURY B., RICAUD M., ROUSSET D. - Noir de carbone nanostructuré : vers une valeur limite d'exposition professionnelle. *Mars 2020, n° 161, pp 19-38.*
- HANSER O. - Recyclage des piles et accumulateurs portables : biométrie des expositions aux métaux. *Décembre 2020, n°261, do31, pp 42-50.*
- ROBERT L. - Commerces et entrepôts de stockage : une pollution variable selon les produits. *Décembre 2020, n° 261, do31, pp. 67-71.*
- LANGLOIS E., OURY B. - La méthode screening : une aide précieuse au diagnostic initial et à l'évaluation de la poly-exposition aux composés organiques volatils. *Décembre 2020, n°261, do31, pp. 80-82.*
- SAVARY B., EMILI A. - Portrait rétrospectif des expositions aux brouillards d'huile de fluides de coupe en France de 2010 à 2019. *Décembre 2020, n°261, bd8, pp. 100-106.*
- ROBERT L., KLINGLER J., GUICHARD R. - Port de masques chirurgicaux : des émissions chimiques très faibles. *Décembre 2020, n°261, nt88, pp. 86-91.*

In *An introduction to interdisciplinary Toxicology – From molecules to man*, Oklahoma, Reno, United States, in Carey N. Pope and Jing Liu (Édit.), 2020.

- POUYATOS B., K. BOYES W., LLORENS J. - Sensory Function. (Fonction sensorielle). *Chapter 19, 2020, pp 245-260.*

## ➔ PRÉVENTION DES RISQUES PHYSIQUES ET MÉCANIQUES

### ► AMBIANCES THERMIQUES

#### Hygiène et sécurité au travail

- TURPIN-LEGENDRE E. - Physiologie des échanges thermiques du corps humain. (Physiology of heat exchange in the human body). *Juin 2020, n° 259, do29, pp. 38-42.*
- TURPIN-LEGENDRE E. - Mesures physiologiques et données subjectives pour l'évaluation des risques. *Juin 2020, n° 259, do 29, pp. 55-58.*
- ROBERT L. - Chaud, froid : comment évaluer le risque. *Juin 2020, n° 259, do29, pp. 49-54.*
- ROBERT L. - Prévention : des solutions. *Juin 2020, n° 259, do29, pp. 59-63.*

### ► BRUIT

#### Journal of Occupational Medicine and Toxicology

- CARRERES-PONS M., CHALANSONNET M., VENETT., THOMAS A., MERLEN L., BOUCARD S., COSNIER F., NUNGE H., BONFANTI E., LLORENS J., CAMPO P., POUYATOS B. - Effects of co-exposure to CS2 and noise on hearing and balance in rats: continuous versus intermittent CS2 exposures. (Effets sur l'audition et l'équilibre de la co-exposition CS2 et bruit : exposition continue versus exposition intermittente). *2020, Vol 15, Issue 9.*

## Journal of Occupational and Environmental Hygiene

- TROMPETTE N., LEGAL L. - Reverberation time recommendations for noisy industrial workshops. (Recommandations sur le temps de réverbération pour les ateliers industriels bruyants). *2020, Vol 17, n°9, pp. 426-436.*

## Références en santé au travail

- ARZ J.P. - Risque bruit, protecteurs auditifs et alarmes : comment garantir la sécurité des salariés ? *Juin 2020, n°162, QR 148, pp. 107-108.*
- TERROIR J. - Bruits impulsionnels, un danger mal connu ? *Mars 2020, n°161, mars 2020, tp38, pp. 89-96.*
- PIERRETTE M., CHEVRET P. - Le bruit dans les bureaux ouverts : comprendre pour agir. *Septembre 2020, n° 163, tf281, pp. 27-33.*

## Hygiène et sécurité du travail

- CHATILLON J. - Apports des modèles numériques et des logiciels de calcul à la prévention. *Mars 2020, n° 258, DO28, pp. 26-32.*
- CHEVRET P., CHATILLON J., LENNE L. - Bruit : prévoir le niveau sonore dans un local. *Mars 2020, n° 258, DO28, pp. 33-38.*

## Note scientifique et technique

- PIERRETTE M., CHEVRET P. - GABO : Résultats de l'enquête in-situ 5 ans après la création du questionnaire. *NS 368, Décembre 2019, 24 p.*
- TROMPETTE N., VENET T. - Exposition sonore et risque auditif pour les professionnels de la musique et du son : revue bibliographique. *NS 370, Janvier 2020, 60 p.*

## ► CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

### Hygiène et sécurité du travail

- FLEURY G., HAMMEN L. - Champs magnétiques : évaluer les perturbations électriques à l'intérieur du corps humain. *Mars 2020, n° 258, DO28, pp. 39-43.*

## ► EQUIPEMENTS DE TRAVAIL

### International Journal of Occupational Safety and Ergonomics

- GRAND G. - Safety net ageing: level of confidence in the degradation evaluation. (Vieillesse des filets de sécurité: niveau de confiance dans l'évaluation de la dégradation). *Août 2020, 14 p.*

## ► RAYONNEMENTS OPTIQUES

### International Journal of Sustainable Lighting

- DENIEL J.M. - Computing spatial distribution of tube and louvre luminaires efficiency from their description. (Calcul de la photométrie d'un luminaire à grilles de défilement à partir de sa description). *Juin 2020, Vol. 22, pp 12-27.*

### Référence en santé au travail

- BARLIER-SALSI A., GAUTIER M.A., BRISSINGER D., DENIEL J.M. - Diodes électroluminescentes : risques pour les travailleurs exposés à la lumière bleue. *Septembre 2020, n° 163, TC 171, pp.17-26.*

## ► VIBRATIONS

### Computer methods in Biomechanics and Biomedical engineering

- REDA M., NOEL C., SETTEMBRE N., CHAMBERT J., LEJEUNE A., JACQUET E. - Agent-based modelling of the smooth muscle cells migration induced by mechanical vibration: a preliminary study. (Modélisation multi-agents de la migration des cellules musculaires lisses induite par les vibrations : une étude préliminaire). *November 2020, Vol. 23, N. S1, S255-S256.*

### Références en santé au travail

- DONATI P. - Vibrations transmises par les machines portatives : faut-il privilégier les machines thermiques ou électriques ? *Mars 2020, n°161, qr146, pp 119.*

### Hygiène et sécurité du travail

- REBELLE J., KLINGLER A., DOFFIN F. - Prévention de l'exposition aux vibrations des caristes lors des passages sur quais de chargement. *Septembre 2020, n° 260, NT84, p. 68-75.*
- AMARI M. - Prévention du risque vibratoire : évaluation de l'exposition et dosimètres intégrés aux machines. *Septembre 2020, n° 260, DO30, p. 40-45.*



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

### ► CONCEPTION DES LIEUX ET SITUATIONS DE TRAVAIL

#### Journal of Workplace Learning

- QUILLEROU E., BOULNOIS S. - Analysing Human activity development through (work)spaces in a Human Centered Design project for commercial airline pilots. (Analyse du développement de l'activité humaine à travers les espaces (de travail), dans le cadre d'un projet de conception centrée sur l'homme pour les pilotes de ligne). 2020, Vol 33, Issue 1, pp. 62-80.

#### International Journal of Occupational Safety and Ergonomics

- LAMY P., PERRIN N. - Approach to analyse hazardous situations tied to recurrent production dysfunctions, by observing the work situation. (Démarche de prévention des situations dangereuses liées à des dysfonctionnements récurrents de la production, par l'observation de la situation de travail). Juillet 2020, 10 p.

#### Hygiène et sécurité du travail

- DUVAL C., MARSOT J., CANETTO P. - Outil d'aide à la conception MavImplant : repenser les espaces de travail afin de respecter les nouvelles règles de distanciation. Juin 2020, n° 259, AO01, pp. 6-7.

#### 30<sup>th</sup> European Safety and Reliability Conference and the 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference, 1-6 November 2020, Venice, Italy

- DUPONNOIS R., LAMY P., LEVRAT E., SIADAT A. - Working situation's reference model for Risk assessment on automated assembly lines. (Modèle de situation de travail de référence pour l'évaluation des risques sur lignes d'assemblage automatisées). Proceedings, 8 p.

### ► HORAIRES ATYPIQUES

#### Nutrients

- BUCHER DELLA TORRE S., WILD P., DORRIBOV., DANUSER B., AMATI F. - Energy, nutrient and food intakes of male shift workers vary according to the schedule type but not the number of nights worked. (Les apports énergétiques, nutritifs et alimentaires des travailleurs postés masculins varient selon le type d'horaire mais pas le nombre de nuits travaillées). 2020, Vol. 12, Issue 4, 919.

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

### Soins cadres

- MORVAN E., DELECROIX B. - Implantation du Lean Healthcare : préserver la santé des personnels ? *Mars 2020, n° 118, mars 2020, p. 20-23.*

### Hygiène et sécurité du travail

- MALENFER M., GOVAERE V., BINGEN A., TRIONFETTI M.C. - Impacts des usages des outils numériques sur les conditions de travail : l'exemple du commerce en ligne. *Mars 2020, n° 258, VP26, 7 p.*
- MALENFER M., HERY M., DE JOUVENEL F., GRZESIAK L. - Quelles évolutions des organisations de travail dans les cinq prochaines années ? *Décembre 2020, n° 261, VP29, pp. 122-128.*

## ► CULTURE DE PREVENTION ET PERCEPTION DU RISQUE

### Ergonomics

- LECLERCQ S., MOREL G., CHAUVIN C., CLAUDON L. - Analysis method for revealing human and organizational factors of occupational accidents with movement disturbance (OAMDs). (Méthode d'analyse pour révéler les facteurs humains et organisationnels des accidents avec perturbation du mouvement (APM)). *2020, Vol 64, Issue 1, pp. 113-128.*

### Education permanente

- MARC J., VIDAL-GOMEL C. - Risques et troubles psychosociaux : quelles questions pour la formation ? *Septembre 2020, n° 224, p. 28-37.*
- DRAIS E., BONNET T. - Former à la sécurité au travail : l'enjeu d'une culture organisationnelle de prévention. Illustration dans l'aide à domicile. *Septembre 2020, n°224, pp. 105-114.*

### Hygiène et sécurité du travail

- WIOLAND L., LAPOIRE-CHASSET M., CHAZELET S. - Porter un masque alternatif au travail : comprendre pour favoriser l'acceptation. *Juin 2020, n°259, pp. 17-21.*

## ► RISQUES PSYCHOSOCIAUX

### British Journal of General Practice

- COHIDON C., WILD P., SENN N. - Job stress among general practitioners: associations with the organisational characteristics of practices in eleven high-income countries. (Stress professionnel chez les médecins généralistes : associations avec les caractéristiques organisationnelles des pratiques dans onze pays à revenu élevé). *September 2020, 70 (698).*

### International Archives of Occupational and Environmental Health

- BOINI S., KOLOPP M., GRZEBYK M., HEDELIN G., CHOUANIERE D. - Is the effect of work psychosocial exposure on depressive and anxiety disorders short-term, lagged or cumulative? (Est-ce que l'effet sur les troubles dépressifs et anxieux de l'exposition aux facteurs psychosociaux est à court terme, décalé ou cumulatif ?). *January 2020, Vol. 93, Issue 1, pp. 87-104.*

## Références en santé au travail

- SAMBA H., BOINI S., LANGEVIN V., PIERRETTE M., PATY B. - Équité au travail : concept, mesure et effets sur la santé. *Juin 2020, n°162, tp41, pp. 91-104.*

## L'interdisciplinarité au travail. Du travail interdisciplinaire à la transformation du travail, Nanterre, Presses universitaires de Paris, Février 2020

- FAVARO M., MARC J. - Modéliser les pratiques de prévention des risques au travail. Une opportunité de lecture et d'action pluridisciplinaire avec l'exemple des violences au travail. Chapitre « Transformer le travail, subvertir les disciplines », pp. 163-179.

## ► TRANSPORT, LOGISTIQUE, RISQUE-ROUTIER

### Hygiène et sécurité du travail

- GOVAEREV., WIOLAND L. - Etude d'intégration d'un système informatique embarqué dans le transport routier de marchandises. *Septembre 2020, n° 260, EC28, p. 92-99.*

## ► TROUBLES MUSCULOQUELETTIQUES

### Annals of Physical and Rehabilitation Medicine

- SETTEMBRE N., MAURICE P., PAYSANT J., THEUREL J., CLAUDON L., KIMMOUN A., LEVY B., HANI H., CHENUÉL B., IVALDI S. - The use of exoskeletons to help with prone positioning in the intensive care unit during COVID-19. (Utilisation d'exosquelettes professionnels pour soulager les personnels soignants lors des manoeuvres de décubitus ventral en unité de soins intensifs COVID-19). *Juillet 2020, vol. 63, pp. 379-382.*

### Scandinavian Journal of Work, Environment and Health

- NAMBIEMA A., BODIN J., FOUQUET N., BERTRAIS S., STOCK S., AUBLET-CUVELIER A., DESCATHA A., EVANOFF B., ROQUELAURE Y. - Upper extremity musculoskeletal disorders: how many cases can be prevented? Estimates from the Cosali cohort. (Troubles musculosquelettiques des membres supérieurs : combien de cas peuvent être évités ? Estimation de la cohorte Cosali). *2020, 46(6), pp. 618-629.*

### BMC Public Health

- NAMBIEMA A., BERTRAIS S., BODIN J., FOUQUET N., AUBLET-CUVELIER A., EVANOFF B., DESCATHA A., ROQUELAURE Y. - Proportion of upper extremity musculoskeletal disorders attributable to personal and occupational factors: Results from the French Pays de la Loire study. (Proportion de troubles musculosquelettiques des membres supérieurs imputables à des facteurs personnels et professionnels : résultats de l'étude française des Pays de la Loire). *2020, 20, n°456, 13 p.*

### Ergonomics

- GAUDEZ C., MOUZE AMADY M. - Which subject-related variables contribute to movement variability during a simulated repetitive and standardised occupational task? Recurrence quantification analysis of surface electromyographic signals. (Quelles sont les variables liées au sujet qui contribuent à la variabilité des mouvements lors d'une tâche professionnelle répétitive et standardisée simulée ? Analyse de quantification de la récurrence des signaux électromyographiques de surface). *2021, Vol 64(3), pp. 366-382.*

## Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering

- GAUDEZ C., CLAUDON L., WILD P. - Effort self-assessment - Resultant external force - Muscular activities. Which physical exertion assessment method? Case of clip fitting in a Female population. (Auto-évaluation de l'effort - Force externe résultante - Activités musculaires. Quelle méthode d'évaluation de l'effort physique? Cas de montage de clip dans une population féminine). *Novembre 2020, Vol. 23, Issue 15, pp. 117-118.*

## International Journal of Occupational Safety and Ergonomics

- GAUDEZ C., CAIL F., WILD P. - Comparing learning during the familiarization phase with a slanted mouse and a vertical mouse when performing a repeated pointing-clicking task. (Comparaison de l'apprentissage durant la phase de familiarisation entre une souris inclinée et une souris verticale lors de l'exécution d'une tâche répétée de pointage - cliquage). *Avril 2020, 21p.*

## Activités

- SAVESCU A., SIMONET P., GAUDEZ C., FERNANDEZ G. - Méthodologie interdisciplinaire de prévention des TMS : association de la Biomécanique et de la Clinique de l'activité. *Activités, 2020, vol. 17, n°2, pp 1-31.*

## Le Concours médical

- THEUREL J. - Exosquelettes professionnels : Bénéfices et limites pour la prévention des troubles musculo-squelettiques. *Mai 2020, Tome 142, pp. 36-38.*

## Références en santé au travail

- GAUDEZ C., GAUTIER M.A., KERANGUEVEN L. - Dispositifs de pointage : lequel choisir ? Comment l'utiliser ? *Septembre 2020, n° 163, QR 151, pp. 97-99.*
- DESBROSSES K. - Evaluation du comportement sédentaire au travail : quels outils ? *Juin 2020, n°162, TM 57, pp. 51-60.*

## Hygiène et sécurité du travail

- CUNY A. - Cabinets dentaires : intégrer la prévention des risques de Covid-19 aux pratiques. *Juin 2020, n°259, Actu3-covid, pp. 12-16.*
- THEUREL J., AUBLET-CUVELIER A., ATAIN-KOUADIO J.J., KERANGUEVEN L., WIOLAND L. - Exosquelettes au travail : intérêts et limites pour la prévention des TMS ? *Juin 2020, n° 259, CC32, pp. 94-98.*
- DESBROSSES K., CLAUDON L., SAVESCU A. - La mesure de terrain en physiologie du travail : intérêts, outils et précautions d'usage. *Septembre 2020, n° 260, DO30, p. 31-39.*

## Thèse de doctorat en exercice de la médecine, 2020, Université Claude Bernard Lyon 1

- GALLET A. - Exosquelettes professionnels : Rôle et besoins des services de santé au travail pour leur intégration en entreprise. *Mémoire de thèse, 101 p.*

## ► VIEILLISSEMENT, RETOUR AU TRAVAIL, PDP

### Environmental Research

- HOPF N., DANUSER B., BOLOGNESI C., WILD P. - Age related micronuclei frequency ranges in buccal and nasal cells in a healthy population. (Intervalle de fréquence des micronoyaux liés à l'âge dans les cellules buccales et nasales de la population en santé). 2020, Vol. 180.

### Applied Ergonomics

- CLAUDON L., DESBROSSES K., GILLES M., PICHENEHOUE A., REMY O., WILD P. - Temporal leeway: can it help to reduce biomechanical stress for older workers performing repetitive light assembly tasks?. (Marges de manœuvre temporelles : peuvent-elles aider pour réduire les sollicitations biomécaniques des opérateurs âgés lors de tâches répétitives légères d'assemblage). Juillet 2020, vol. 86.

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

- TURPIN-LEGENDRE E., CLAUDON L. - Prévenir l'usure professionnelle : contraintes professionnelles cumulées et capacités fonctionnelles physiques. 2020, Vol. 81, n°5, p. 516.

### La revue des conditions de travail

- SALMON I., JUBAN J.Y., DELECROIX B. - La gestion de l'employabilité et des parcours par la santé au travail : analyser les pratiques de GRH pour remettre la question de la santé au cœur des débats. *Revue de l'Anact*, octobre 2020, n°11, pp. 92-106.

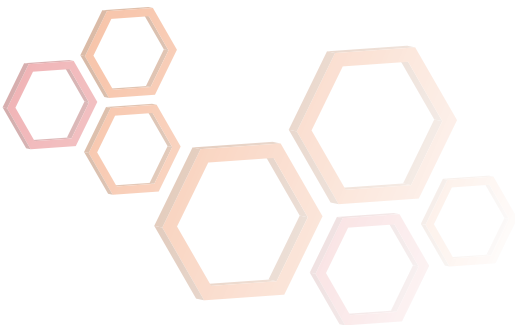
### Références en santé au travail

- GUYOTS., PICHENEHOUE A., GILLES M. - Vieillesse, maintien en emploi et retour au travail : état des lieux et perspectives de prévention. Juin 2020, n° 162, TP 170, p. 17-39.

## ► AUTRES RISQUES

### International Journal of Molecular Sciences

- SHOMAN Y., WILD P., HEMMENDINGER M., GRILLE M., SAUVAIN J.J., HOPF N., GUSEVA CANU I. - Reference ranges of 8-Isoprostane concentrations in exhaled breath condensate (EBC): a systematic review and meta-analysis. (Plages de référence des concentrations de 8-isoprostane dans le condensat expiré (EBC) : une revue systématique et une méta-analyse). 2020, Vol. 21.





## ➔ THÉMATIQUES FOCUS

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

#### Références en santé au travail

- BRUN L. - Cybercinéose en milieu professionnel. *Mars 2020, n°161, TP40, pp. 107-115.*

### ► INDUSTRIE DU FUTUR ET PREVENTION

#### Scientific Reports

- TAKAGI A., DE MAGISTRIS G., XIONG G., MICAELLI A., KAMBARA H., KOIKE Y., SAVIN J., MARSOT J., BURDET E. - Analogous adaptations in speed, impulse and endpoint stiffness when learning a real and virtual insertion task with haptic feedback. (Étude de l'adaptation de la vitesse, de l'impulsion et de la rigidité au point final lors de l'apprentissage d'une tâche d'insertion réelle et virtuelle avec retour haptique). *Décembre 2020, Vol. 10, 9 p.*

#### SST MAG

- TIHAY D. - Robots collaboratifs : les enjeux pour la Santé Sécurité au Travail et les moyens de prévention. *Décembre 2020-Janvier-Février 2021, n°15, pp 28-30.*

### ► MULTI-EXPOSITIONS AU TRAVAIL

#### Techniques sciences méthodes

- DIRRENBARGER P. - Méthanisation (partie 1) : Principe, paramètres et polluants émis – Etat de l'art. *Septembre 2020, pp. 15-30.*
- DIRRENBARGER P. - Méthanisation (partie 2) : Technologies de digestion et procédés utilisés – Etat de l'art. *Septembre 2020, pp. 33-56.*

#### La Revue du praticien, médecine générale

- POUYATOS B., CAMPO P. - Prévenir les risques auditifs : une approche globale ! *Mars 2020, tome 34, n°1037, pp. 212-213.*

#### Hygiène et sécurité du travail

- LAROCCA B., CLERC F. - Des outils pour évaluer les polyexpositions. *Décembre 2020, n°261, DO31, pp 72-74.*
- GERARDIN K. - Les sites et sols pollués : des terrains propices à la polyexposition chimique. *Décembre 2020, n° 261, DO31, pp. 61-66.*
- DUQUENNE P., DIRRENBARGER P. - Compostage et méthanisation des déchets : une polyexposition à prendre en compte. *Décembre 2020, n° 261, DO31, pp. 51-60.*
- DARNE C., GUICHARDY., NDIAYE D., SEIDEL C., GATE L. - La toxicologie expérimentale à l'épreuve des polyexpositions. *Décembre 2020, n° 261, DO31, pp. 75-79.*

## Note scientifique et technique

- BERTRAND N., BINET S., CAMPO P., CLERC F., COATES L., HEDELIN G., LAROCCA B., MALARD S. - Guide d'utilisation de MiXie France. *NS 358, septembre 2020, 20 p.*

## ► REPRODUCTION ET TRAVAIL

### Chemosphere

- CHAMPMARTIN C., MARQUET F., CHEDIK L., DECRET M.J., AUBERTIN M., FERRARI E., GRANDCLAUDE M.C., COSNIER F. - Human in vitro percutaneous absorption of bisphenol S and bisphenol A: a comparison study. (Absorption percutanée in vitro du bisphénol S et du bisphénol A sur peau humaine : une étude comparative). *March 2020, Vol. 252.*

### Occupational and Environmental Medicine

- HENROTIN J.B., FEIGERLOVA E., ROBERT A., DZIURLA M., BURGART M., LAMBERT XOLIN A.M., ANDRE F., WERYHA G. - Decrease in serum testosterone levels after short-term occupational exposure to diisobutyl phtalate in male workers. (Diminution de la testostéronémie après une brève exposition professionnelle au diisononyl phtalate chez des travailleurs masculins). *2020, Vol. 77, pp. 214–222.*

### International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health

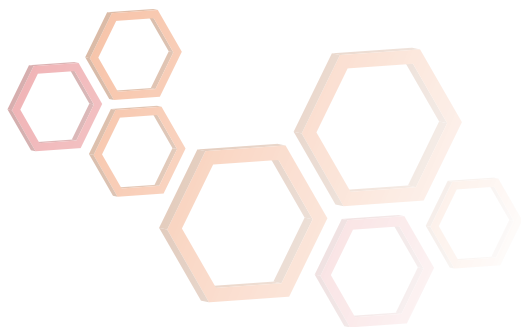
- RADAUCEANU A., BOUSLAMA M. - Risks for adverse pregnancy outcomes and infections in daycare workers: an overview of current epidemiological evidence and implications for primary prevention. (Risques pour la grossesse et risques infectieux chez les personnels de la petite enfance : une revue de la littérature épidémiologique et implications pour la prévention primaire). *2020, Vol. 33, Issue 6.*

### Eljarrat E. (eds) Pyrethroid Insecticides. The Handbook of Environmental Chemistry, Barcelona, Spain, March 2020

- SAILLENAIT A.M., MALARD S. - Human risk associated with long-term exposure to pyrethroid insecticides. (Risques pour la santé associés à des expositions prolongées aux insecticides pyréthrinoïdes). *Vol 92. Springer, 46 p.*

### Références en santé au travail

- NDAW S., JARGOT D., REMY A., CHAMPMARTIN C., CHEDIK L., MARQUET F., ROBERT A. - Bisphénol S dans le papier thermique : quelle exposition cutanée pour les agents de caisse ? *Mars 2020, n°161, TF277, pp. 59-66.*
- JARGOT D., MELIN S., PELLETIER E. - Recherche des substituts du bisphénol A dans les papiers thermiques : résultats de l'étude INRS. *Septembre 2020, n°163, AC149, pp. 5-9.*



---

■ Directeur de publication

Stéphane PIMBERT

■ Rédaction en chef

Louis LAURENT

■ Direction rédactionnelle et coordination générale

Patricia BERNARD, Agnès AUBLET-CUVELIER

■ Crédits photos de la couverture :

Gaël KERBAOL/INRS, Serge MORILLON/INRS

■ Ont également contribué à la publication

Les responsables d'études de l'INRS, Olivier REMY

■ Conception graphique

Trait d'Union

■ Mise en page

Valérie LATCHAGUE CAUSSE

■ Impression

CORLET



## 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)

[YouTube](#)



[in](#)