

Études & Recherche

Rapport 2022/2023



→ 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 des salariés ;
- 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 (Carsat/Cramif/CGSS), des services de l'État, des entreprises, des services de prévention et 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'entreprise, salariés, chargés de sécurité, intervenants en prévention des risques professionnels, médecins du travail...

» QUELQUES CHIFFRES

Effectif

- 579 salariés basés à Paris (siège social) et à Vandœuvre-lès-Nancy (54)

Budget

- En 2023, 79 M€ issus à 98 % du Fonds national de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles de l'Assurance maladie

Public

- 20 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	14
Entretien avec Alain MARCHAND, Directeur scientifique de l'IRSST	17

■ Programme Études et recherche

Panorama des études conduites par thématique du plan stratégique INRS 2023 - 2027

Programmes de prévention

Prévention des risques biologiques	19
Prévention des risques chimiques	24
Prévention des risques physiques et mécaniques	49
Prévention des risques liés à l'organisation et aux situations de travail	61

Thématiques focus en santé et sécurité au travail

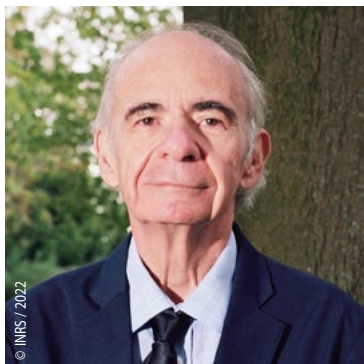
Exposition aux aérosols	74
Polyexpositions hétérogènes	75
Technologies numériques et impacts organisationnels	77
Perturbateurs endocriniens	78
Limitation de l'émission des gaz à effet de serre et impact en santé sécurité au travail	81

■ Composition de la Commission scientifique et des groupes de suivi

83

■ Liste des publications 2022

88



Louis LAURENT
Directeur des études et recherche,
INRS

➔ Éditorial

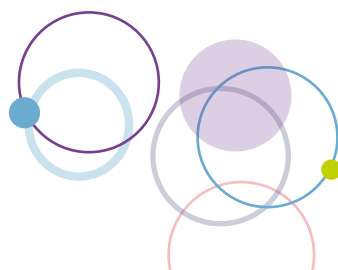
Cette 14^e édition du rapport annuel Études et recherche 2022-2023 est la première rédigée dans le cadre du nouveau plan stratégique 2023-2027 de l'INRS.

Elle met en lumière les **103 projets** conduits cette année, avec un résumé des **76 études en cours** en 2023, et une vision plus détaillée des **27 études terminées** en fin d'année 2022.

Ces travaux de recherche, dédiés à la prévention des risques professionnels, s'inscrivent dans un continuum d'activités qui couvre tout l'espace, entre la création de connaissances et le transfert aux entreprises et aux acteurs de la prévention, des démarches, méthodes et outils qui en découlent.

Les travaux menés dans le cadre de ces études sont de nature très variées pour couvrir l'ensemble des risques professionnels. Pour 38 % d'entre elles, il s'agit d'analyser des situations de travail, l'exposition des travailleurs, leur santé, sur le terrain des entreprises, tandis que 10,5% des études portent sur des situations de travail reconstituées en laboratoire, conditions un peu moins réalistes mais permettant des mesures bien plus détaillées. L'autre moitié des études implique surtout du travail de recherche en laboratoire (39 % des études) avec le développement de techniques de mesure, des études sur les dispositifs de prévention, des expériences *in vitro* ou *in vivo*. Elle concerne aussi le traitement de données issues de grandes bases de données (expositions des travailleurs, conditions de travail, santé, sinistralité) ou l'analyse de résultats d'enquêtes (12,5 %).

Un autre constat est le rôle croissant du numérique dans les travaux de recherche qui utilisent des codes numériques « classiques », ou plus récemment, des réseaux de neurones. Ces outils donnent la possibilité d'accéder à des données non mesurables directement ou à des simulations à grande échelle, en faisant varier différents paramètres dans des contextes ou situations de travail spécifiques (enceintes ventilées, chanter amiante, sollicitations biomécaniques). Ils simulent des dispositifs utilisés en prévention (absorbant optique, prélèvement d'aérosols semi-volatils) ou des procédés qu'il s'agit de rendre plus sûrs (cimentation, adsorption d'oxyde d'azote). Ils permettent d'inférer des propriétés (audibilité d'une alarme, toxicité d'une molécule). La démarche générale consiste à valider ces outils numériques par une série d'expérimentations puis à monter en généralité. Le numérique est également massivement utilisé pour réaliser des analyses statistiques de données, par exemple dans le cas d'études épidémiologiques.





Cette édition fait état de résultats particulièrement significatifs, dont trois me semblent intéressants à souligner pour illustrer la diversité des travaux.

Une **étude économétrique** visait à répondre à la question : « peut-on affirmer que plus une entreprise consacre des ressources en prévention des risques professionnels, plus elle est économiquement performante ? ». Une analyse de grande ampleur a été menée, à partir des bases de données de l'Insee et de la Cnam, sur près de 2 millions d'entreprises au cours de la période 2003-2017. L'enseignement majeur est que sinistralité et performance économique sont corrélées négativement, ce qui signifie que plus la sinistralité augmente, plus la performance économique des entreprises est affectée. Cet effet est d'autant plus important pour les petites entreprises qui sont plus fragiles face à la désorganisation provoquée par un accident (Cf. page 65).

En 2017, la Commission européenne lançait un programme de biosurveillance intitulé « **initiative européenne de biosurveillance** » (HBM4EU). Ce programme d'une durée de cinq ans regroupait 28 pays. Parmi les activités menées dans le cadre de ce projet, deux études de grande envergure de biosurveillance des travailleurs ont été conduites avec la contribution de l'INRS, l'une sur l'exposition au Chrome VI (neuf pays impliqués) et l'autre sur les di-isocyanates (cinq pays impliqués), fournissant une vision affinée des expositions de travailleurs à ces substances. Cette collaboration se poursuit dans le cadre d'un autre projet européen (PARC) qui est également mentionné dans cette édition (Cf. page 47).

Le dernier exemple concerne l'**industrie du futur**. De très grande ampleur (8 responsables d'études impliqués, 30 000 heures investies), cette étude, consacrée à l'émergence de systèmes de production connectés et reconfigurables, traitait notamment de l'intégration de la prévention des risques professionnels lors de leur conception et de l'impact de nouvelles technologies, telles que la robotique collaborative sur l'activité des opérateurs. Ont également été abordés des sujets plus exploratoires comme la cybersécurité et ses conséquences potentielles sur les risques professionnels (Cf. page 57). Cette étude a eu de nombreuses retombées : 18 publications, 25 communications à des congrès, une journée technique, un module de formation et l'enrichissement de l'offre d'information présente sur le site Internet de l'INRS.

J'espère que ces quelques exemples vous donneront envie de poursuivre la lecture de ce rapport, et qu'il vous apportera un éclairage utile sur les apports scientifiques et techniques de l'INRS à la santé et la 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 :

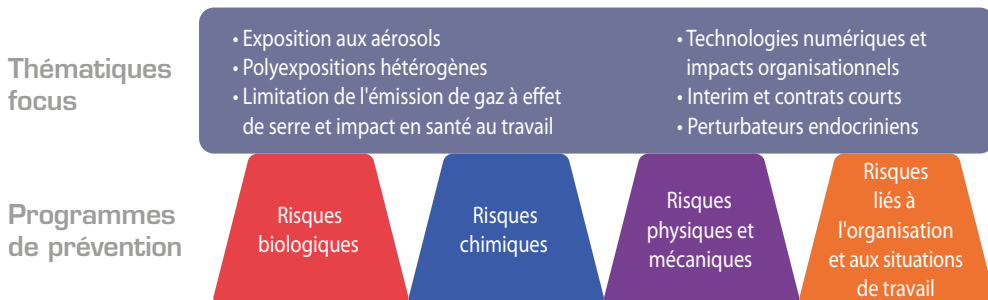
- études et recherche,
- assistance,
- formation,
- information.

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 20 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 14).

Fin 2022, les six départements comptaient environ 250 personnes (sur un effectif total de 579 postes permanents à l'INRS, dont environ 60 % au centre de Lorraine). Parmi eux, 60 % sont des chercheurs ou ingénieurs, 32 % sont impliqués dans des activités de support technique. Les 8 % restants recouvrent diverses activités (expertise, coordination, support administratif...). A cet effectif de personnels permanents il faut ajouter environ 25 doctorants. 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 2023 - 2027, **l'activité de l'INRS** se répartit en quatre programmes de prévention, complétés de six thématiques focus.



Descriptif des activités selon le plan stratégique 2023 - 2027 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, le management algorithmique, l'essor du télétravail.

En même temps, il subsiste une forte demande liée à la prévention de risques répertoriés depuis longtemps mais toujours présents, comme les nuisances chimiques, 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 103 études présentées dans ce rapport montre que 38 % d'entre elles comportent un volet terrain et que 10,5 % impliquent des sujets simulant en laboratoire une tâche de travail. La seconde moitié des travaux est soit réalisée en laboratoire (développement de techniques, expérience *in vitro* ou *in vivo*) pour 39 % d'entre elles, soit basée sur l'utilisation de bases de données (grandes bases de données, enquêtes, bibliographie) pour 12,5 % d'entre elles. Un volet également à souligner, 14 % des études figurant dans ce rapport relèvent de la loi Jardé relative à la protection des personnes participant à la recherche biomédicale.

» Continuum recherche – transfert de connaissances

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

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

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. Il est important de souligner que celles-ci sont en libre accès sur le site Internet de l'INRS. Sur la période 2018-2022, 275 articles ont été publiés dans des revues nationales, dont 252 soit 91 % concernent l'une ou l'autre de ces deux revues.

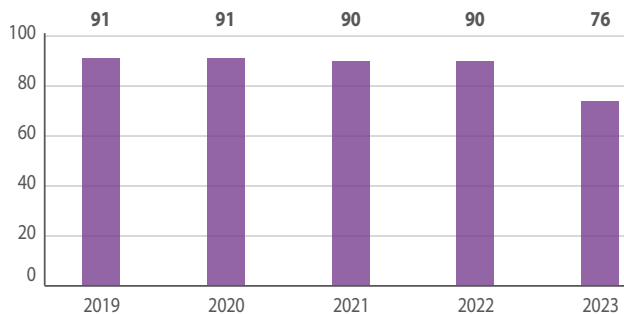
ÉTUDES & RECHERCHE



Exemple de transfert de connaissances : les travaux concernant la prévention des vibrations transmises aux membres supérieurs, qui touchent plus de 11 % des salariés et dont les effets sont à l'origine de pathologies neuro-vasculaires et ostéo-articulaires. Pour accompagner la réglementation et améliorer notamment le mesurage et la prise en compte de ces risques, les équipes de recherche de l'INRS ont produit des savoirs, transférés aux entreprises par le biais de publications, de communications, de supports d'information (tels le dépliant ED 6204 ou le guide ED 6342), d'outils (OSEV) et par l'organisation récente de deux événements.

» Une organisation par étude

Les travaux de recherche sont **structurés en études**. Chacune d'entre elles représente en moyenne 8 000 heures de travail, réparties sur trois ans, suivie par une période de valorisation des résultats. Il existe quelques études de plus grande ampleur associant plusieurs départements. En 2023, une diminution du nombre d'études en cours est observée. Celle-ci s'explique en partie par un effet retardé de la pandémie, l'année 2022 ayant vu la fin de nombreuses études qui avaient été décalées, combiné avec un flux d'études nouvelles plus faible depuis 2020.



Évolution du nombre d'études en cours entre 2018 et 2023

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 d'une vingtaine de membres issus des groupes de suivi des départements qui représentent l'ensemble des disciplines des laboratoires de l'INRS (voir la composition de la commission et des groupes de suivi page 83).

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, Inrae, Inria...), le réseau régional de l'Assurance maladie – Risques professionnels (Carsat/Cramif/CGSS), des services de prévention et de santé au travail, ou divers instituts ou centres techniques (comme le LNE ou le CEA). De même, l'INRS s'associe à ses homologues étrangers. Parmi les partenaires les plus fréquents figurent les membres du réseau européen PEROSH, et l'IRSST (Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail) au Québec.

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 ce sont 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 103 études présentées dans ce rapport, 62 (soit 60 %) impliquent des collaborations avec 126 partenaires (possiblement plusieurs par étude et un même partenaire peut être présent dans plusieurs études). Deux autres études sont des projets européens avec beaucoup de partenaires, non décomptés ici pour ne pas fausser les statistiques.

	National	International
Partenaires académiques : organismes de recherche, universités	63	7
Services de prévention et de santé au travail	6	-
Carsat-Cramif -CGSS	15	-
Homologues INRS	1	4
Réseau PEROSH	-	11
Entreprises	2	0
Ministères	3	-
Instituts ou centres techniques	9	2
Autres	2	1
Total	101	25

Répartition des 126 partenariats dans les 103 études présentées dans ce rapport 2022-2023

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 actuellement deux 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 : 52 % des études sont concernées. S'ajoutent 8 % des études qui sont financées par des agences, telles que l'Union européenne, l'Agence nationale de la recherche (ANR) ou l'Anses, sur appel à projets. Ainsi, sur les 103 études citées dans ce rapport, neuf s'inscrivent dans des actions collaboratives financées (quatre financements européens, trois de l'ANR, un financement de l'Anses et un issu de l'Observatoire national Interministériel de la Sécurité routière).

■ **L'accueil des doctorants co-encadrés** par les responsables d'études de l'INRS et des universitaires.

Chaque année 25 doctorants sont impliqués dans des études de l'INRS. Parmi eux une petite proportion de salariés de l'INRS. Le co-encadrement de doctorants 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. Ces doctorants et à travers eux les collaborations engagées concourent de manière significative à la production scientifique de l'INRS.

Sur les 103 études décrites dans ce document, 36 ont fait ou feront l'objet d'une thèse, soit 35 %.



Journée des doctorants de l'INRS le 21 mars 2023

**Prix obtenus en 2022
par des doctorants**

Lucien Hammen : 2^e meilleur article
au colloque EMC Europe 2022

Simon Vauthier : 1 des 5 meilleurs
posters présentés lors du séminaire
annuel de FEMTO-ST

Valentin Tallandier : Prix de thèse
de la Société française de toxicologie

Hélène Barthel : Meilleure
communication orale à la journée
jeunes chercheurs de la Société de
toxicologie cellulaire et moléculaire

» 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 de l'INRS.

■ 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 créent des équipements intégrant la sécurité dès la conception. La prévention primaire 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, qui vient de fêter son vingtième anniversaire, sert de support à des activités communes. Il est notamment utile pour partager des informations au travers d'ateliers spécifiques, voire mener des activités de recherche sur des sujets de préoccupation communs.

Parmi les exemples :

- Des cycles de conférences : le groupe « Bien-être au travail » qui contribue à l'organisation d'un cycle de conférences. La dernière conférence a été organisée en ligne en juin 2022 par l'homologue polonais de l'INRS. De même l'équipe « prolongeons la durée de vie au travail » a organisé en septembre 2022 une conférence hybride (Oslo/ en ligne).
- Un travail collectif de neuf établissements visant à analyser les différentes techniques de mesures de l'amiante existant en Europe.
- Un projet de six établissements sur le thème « Management algorithmique et systèmes fondés sur l'intelligence artificielle comme nouvelle forme d'organisation ».
- L'organisation de deux ateliers, l'un sur les exosquelettes, l'autre sur les activités en relation avec le public.



© Lasse Nivér - Agences suédoise pour l'opretteise en matière d'environnement de travail



© Jan Michiel Meeuwssen

5^e conférence du réseau PEROSH, organisée du 6 au 8 septembre 2023 à Stockholm (Suède). Présidé depuis janvier 2023 par l'INRS, le réseau qui fête ses 20 ans cette année, compte plus de 2000 experts et chercheurs des 14 instituts membres qui contribuent à la recherche en santé et sécurité au travail en Europe et dans le monde.

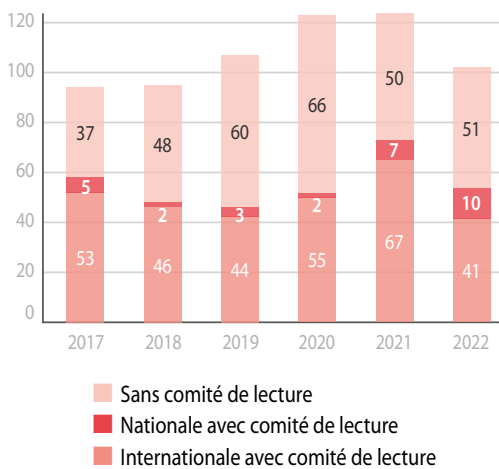
Session « anticipation des futures questions en santé travail ».

La validation des projets et des résultats

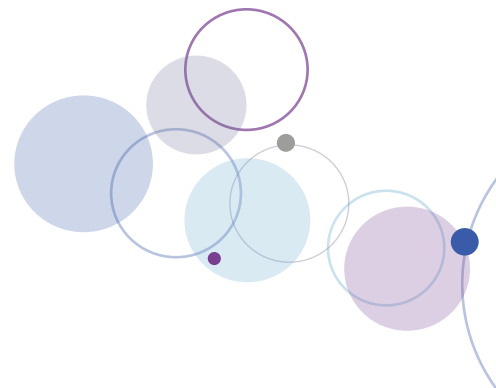
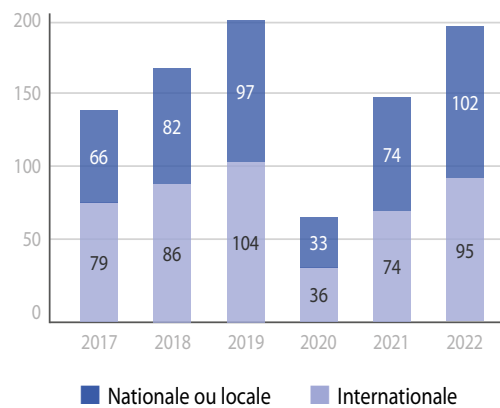
Il s'agit pour l'INRS de produire des résultats robustes et non discutables, validés par une évaluation externe des publications, par les pairs. Lorsque le sujet de l'étude s'y prête (il faut exclure les travaux à caractère trop exploratoire ou à caractère purement applicatif), les équipes publient leurs résultats dans des revues à comité de lecture, la plupart du temps internationales. Ces publications s'ajoutent à celles en français à destination des préventeurs. La moyenne annuelle pour l'INRS est d'environ 100 publications, avec un pic à 120 durant la pandémie et un retour au niveau d'origine en 2022.

De même, la présentation des résultats à des colloques internationaux constitue un moyen de mettre en débat des résultats.

Nombre de publications dans des revues

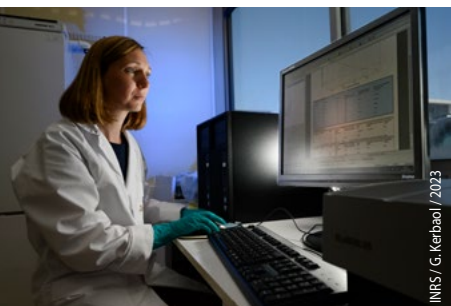


Nombre de communications à des colloques de portée nationale ou internationale



➔ Présentation des laboratoires de l'INRS

En 2022, 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 250 personnes.



INRS / G. Kerbaol / 2023

» 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



© INRS / S. Morillon / 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

Aéraulique,
ventilation, thermique
et qualité d'air

Procédé et épuration
des polluants



INRS / G. Kerbaol / 2021

» 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

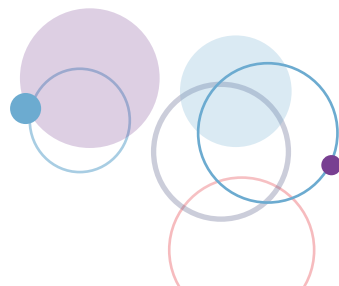
Cancérogénèse,
mutagénèse
et reprotoxicitéOtotoxicité
et neurotoxicitéImmunologie, sensibilisation
et allergieToxicocinétique, inhalation
et passage cutané

© INRS / S. Morillon / 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 les salariés.

Laboratoires

Acoustique
au travailConception – équipements
de protection – interfaces
homme-machineÉlectromagnétisme,
vibrations, optiqueSécurité des équipements
de travail et des
automatismes



» 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 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



» 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 physiques et 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.





Alain Marchand

Directeur scientifique à la direction de la recherche de l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) - Québec

➔ Entretien avec Alain Marchand

L'IRSST évoque sur son site Internet sa volonté « d'éclairer l'action en santé et en sécurité du travail et pour cela d'être fédérateur de connaissances ». Comment votre action s'organise-t-elle ?

L'IRSST est plus qu'un centre menant des travaux de recherche pour répondre au besoin des milieux de travail. Il cumule également les fonctions de fonds subventionnaire, de services de laboratoires ainsi que de centre de liaison et de transfert des connaissances. En s'appuyant sur les synergies de ces quatre leviers scientifiques, l'Institut contribue au développement de connaissances scientifiques et techniques en santé et en sécurité du travail (SST). Il demeure à l'affût des besoins des milieux de travail et offre des réponses à des questions spécifiques formulées par des partenaires SST, grâce à la mobilisation des connaissances produites autant à l'interne, qu'au Québec et ailleurs dans le monde.

Quels sont les axes ou domaines de recherche qui sont actuellement considérés par vos équipes et quelles sont vos grandes orientations pour les années à venir ?

L'actuel cadre de référence de l'IRSST pour la recherche est né d'une démarche stratégique réalisée avec plusieurs acteurs concernés par la SST au Québec, incluant la communauté scientifique. Il comprend trois axes :

- 1) prévention des atteintes à l'intégrité physique et psychique,
- 2) réadaptation, retour et maintien au travail,
- 3) surveillance et prospection des données en SST.

Ces trois axes structurent le cadre général dans lequel s'articulent six thèmes de recherche : identification des dangers ; estimation et évaluation des risques ; élimination des dangers et maîtrise des risques ; santé mentale et psychologique ; métrologie appliquée à la SST ; organisation du travail ; ainsi que population, société et SST. L'Institut s'est doté également d'un mécanisme de priorisation souple permettant d'être proactif et de réagir rapidement aux enjeux de santé et de sécurité émergents dans les milieux de travail.

Les grandes orientations en recherche que nous sommes amenés à examiner pour les années à venir se profileront assurément autour des problématiques touchant l'impact des changements climatiques, la santé mentale et psychologique, les risques associés à l'électrification des transports, la robotisation, la digitalisation, les risques associés à l'intégration de l'intelligence artificielle, de même que la diversité des populations au travail.

En qualité de Directeur scientifique, pourriez-vous nous éclairer sur votre politique de partenariats universitaires. Quels enrichissements directs ou indirects ce partage de connaissances et de compétences apporte-t-il à vos recherches ?

L'intégration des chercheurs de l'IRSST au réseau universitaire québécois, par l'obtention d'une affiliation au titre de professeur associé, ou en devenant membre collaborateur au sein d'un autre centre ou institut de recherche, a grandement favorisé l'attractivité et l'influence qu'exerce l'Institut sur les orientations de

recherche en SST. Ces appartenances multiples du personnel de recherche facilitent la formation d'équipes multidisciplinaires, permettent la mise en commun d'approches méthodologiques variées et l'accès à ou le partage de certains équipements de pointe. De plus, les chercheurs s'impliquent dans la formation en SST par la co-supervision d'étudiant(e)s en études supérieures et l'encadrement de stagiaires postdoctoraux. Le personnel de recherche de l'IRSST agit ainsi comme un catalyseur auprès de la communauté scientifique. Cet esprit collaboratif et partenarial, inscrit au cœur de la politique scientifique de l'Institut, constitue un levier favorisant l'accroissement de la capacité collective de recherche en SST.

L'ouverture et l'engagement de l'IRSST à l'établissement de partenariats de recherche, de développement et d'innovation avec des partenaires universitaires témoignent de sa capacité à produire des retombées significatives et à pérenniser son impact pour le développement des connaissances.

En tant qu'Institut homologue francophone, l'INRS entretient avec vos experts des liens étroits, privilégiés. Sur quels sujets d'intérêt commun porte actuellement cette entente ? Et comment ces savoirs sont transposés auprès des milieux professionnels canadiens que vous ciblez ?

Nos collaborations avec l'INRS sont nombreuses. Nous avons développé des activités dirigées vers la prévention des risques chimiques et biologiques, comme la veille documentaire sur la biométrie et la ressource Mixie qui est un outil d'aide à la décision pour les interactions toxicologiques. Nous sommes également engagés dans des collaborations sur les risques mécaniques et physiques, en particulier la sécurité des machines, le développement d'un indice de confort des protecteurs auditifs ainsi que le « *Memorandum of Understanding* » pour la tenue de la conférence « *Safety of Industrial Automated Systems (SIAS)* ». On retrouve également des thématiques faisant l'objet d'échanges entre les chercheurs des deux instituts,

tel Protecpo (logiciel pour la présélection des matériaux de protection cutanée), le système inertiel pour la mesure de la charge physique de travail, les exosquelettes (actions de normalisation, acceptabilité sociale, impact à court et à long termes sur la réduction des TMS et la charge physique de travail), la culture organisationnelle en SST, les robots collaboratifs, les collisions engins-piétons ainsi que la polyexposition aux substances.

Les connaissances acquises dans le cadre cette entente, et plus largement les travaux de l'IRSST, font l'objet d'activités de transfert vers les milieux de travail à travers la production de rapports, conférences, ateliers de formation, fiches de synthèse, utilitaires web, séries télé et, prochainement, une série en baladodiffusion¹.

1. Au Québec, mode de diffusion de fichiers audio ou vidéo, qui permet aux internautes de les télécharger automatiquement et de les transférer sur un baladeur numérique (podcast)

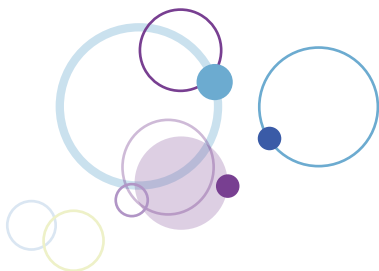
» Carte d'identité de l'IRSST*

- Création en 1980
- Effectif de 150 personnes, dont 80 experts scientifiques
- L'IRSST est un organisme paritaire privé, sans but lucratif, administré par un Conseil d'administration
- Sa mission est de contribuer à préserver la santé et à la sécurité des travailleurs par la recherche, l'expertise de ses laboratoires, ainsi que la diffusion et le transfert des connaissances, et ce, dans une perspective de prévention et de retour durables au travail.

Contact : directionscientifique@irsst.qc.ca

Site : www.irsst.qc.ca

* Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail – Québec



PROGRAMMES DE PRÉVENTION 2023 - 2027

Les pages qui suivent proposent une présentation détaillée des 27 études qui se sont achevées fin 2022, ainsi qu'un résumé des 76 études en cours en 2023.

Ces études sont classées selon la thématique principale à laquelle elles sont rattachées au sein du plan stratégique de l'INRS pour les années 2023 - 2027.

➔ Prévention des risques biologiques

Dans de nombreux secteurs d'activité (milieux de soins, agroalimentaire, déchets/recyclage...) les travailleurs sont exposés à des agents biologiques (bactéries, champignons, virus...) qui peuvent être à l'origine de pathologies professionnelles : infections, intoxications, allergies, voire cancers. La prévention des risques associés nécessite de connaître les dangers et les effets sur la santé, ainsi que les expositions, pour dimensionner et déployer des solutions de protection efficaces. L'amélioration des connaissances sur les dangers, les expositions professionnelles et leurs effets pour la santé est un volet essentiel pour renforcer la prise en compte de ces risques en entreprise et protéger la santé des salariés.

»» OBJECTIFS GÉNÉRAUX

- Mettre en œuvre des méthodes de détermination du potentiel sensibilisant de certains agents biologiques.
- Concevoir des méthodes pour identifier plus finement l'exposition à des agents biologiques par inhalation ou contamination de surfaces de travail.
- Identifier les expositions des salariés à différents agents biologiques dont les virus présents dans l'environnement de travail.
- Réaliser des tests d'efficacité des systèmes de protection collective et individuelle.

▶ DÉVELOPPEMENT DE MÉTHODES

2020 → 2023

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

■ Pauline LOISON, Xavier SIMON et Lise ALONSO

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 faire des préconisations sur la mise au point et la validation harmonisée des méthodes de prélèvement et d'analyse des bioaérosols.

2022 → 2024

Évaluation de milieux de culture généralistes adaptés au dénombrement des microorganismes dans l'air des lieux de travail

■ Lise ALONSO, Pauline LOISON et Catherine COULAIS

Département métrologie des polluants

La survenue d'affections respiratoires concerne beaucoup de salariés qui sont exposés aux bioaérosols. Cette étude a pour objectif d'identifier des milieux de culture adaptés au dénombrement des microorganismes rencontrés dans l'air des lieux de travail à des fins de caractérisation des expositions professionnelles. Des essais en laboratoire et sur le terrain seront réalisés et enrichiront la fiche Metropol M-147.

»» OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

Des stratégies complémentaires seront 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 porteront principalement sur le **développement de méthodes de mesure et de recherche d'effets sur la santé** d'expositions des travailleurs à des **risques infectieux, allergiques, ou toxiques**, et **l'amélioration des systèmes de protection à la source, collective et individuelle.**

► RISQUES TOXINIQUES

ÉTUDE
TERMINÉE

2019 → 2022

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

■ Xavier SIMON, Catherine COULAIS et Pauline LOISON

Département métrologie des polluants

Exposé des motifs et objectifs



Les endotoxines sont des constituants de la membrane externe de certaines bactéries qui peuvent être mises en suspension dans l'air au cours de certaines tâches professionnelles générant des aérosols. On estime que plusieurs centaines de milliers de salariés sont concernés par cette exposition, susceptible d'engendrer des effets délétères sur la santé. Une méthode de mesure a été proposée en 2003 (Metropol M-154) mais l'évolution des connaissances, le retour d'expérience des utilisateurs et le manque de certaines données de validation impliquaient d'engager de nouveaux travaux de recherche. L'objectif principal de l'étude était de proposer une méthode optimisée de dosage des endotoxines au poste de travail. Pour répondre à cet objectif, l'étude comportait quatre grands axes :

- 1) amélioration de la récupération des endotoxines captées et simplification de l'étape d'extraction ;
- 2) étude des conditions de conservation des échantillons afin de faciliter leur gestion par les utilisateurs ;
- 3) caractérisation d'une méthode alternative de mesure et appréciation de ses limites et avantages ;
- 4) mise à jour des données de validation, notamment l'incertitude globale de la nouvelle méthode.

Démarche

La démarche expérimentale a reposé sur la complémentarité entre des essais de laboratoire et des essais dans des atmosphères professionnelles. Des concentrations en endotoxines variées (20 à 104 UE/m³) et maîtrisées ont été générées en laboratoire à partir d'un mélange standardisé de trois bactéries. L'influence de plusieurs paramètres comme la nature du filtre (FV, PC, PTFE et PVC) ou les modalités d'une élution directe dans la cassette fermée (différents volumes et durées d'extraction) a été étudiée. La conservation des échantillons pendant 8 jours à 3 températures (-20, 4 et ~20°C) a également été évaluée. Ces essais de laboratoire ont permis de fixer certains paramètres qui ont ensuite été investigués dans différents secteurs professionnels : méthanisation, fromagerie, environnements fermiers, station d'épuration et plateforme de compostage. Des méthodes de mesure alternatives à la mesure « LAL » utilisée ont également été évaluées.

Résultats principaux

Les résultats permettent de mettre à disposition et de transférer une méthode optimisée, simplifiée et validée pour le dosage des endotoxines émises dans les atmosphères professionnelles. Une diminution du volume d'élution à 5 mL ainsi qu'une élution directe dans la cassette permettent une récupération de l'ensemble des endotoxines captées. Cette amélioration permet aux prélèvements d'être pleinement représentatifs de la fraction inhalable, fraction conventionnelle cible pour les bioaérosols. Cette nouvelle méthode permet également une amélioration et une flexibilité de la gestion des échantillons grâce à la diminution du temps d'élution à 20 minutes, une plus grande souplesse dans le choix du filtre et surtout la possibilité de transporter et conserver les échantillons jusqu'à 8 jours, à température ambiante avant l'analyse. Les données de validation obtenues montrent une incertitude globale (prélèvement et analyse) satisfaisante (CV < ~20%). Les méthodes alternatives au dosage « LAL » ont montré des résultats intéressants mais des investigations supplémentaires apparaissent nécessaires.

Discussion

Ces améliorations rendent plus robustes les résultats de mesures de concentration en endotoxines et participeront à une appropriation plus aisée de cette méthode de mesure par un grand nombre d'utilisateurs (préventeurs, hygiénistes du travail, etc.). La mise à disposition de la nouvelle méthode de mesure des endotoxines dans la base de données Metropol sera accompagnée de la publication d'un article dans la revue *Hygiène et sécurité du travail* qui explicitera les modifications de la méthode Metropol M-154.



2021 → 2022

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

■ Valérie DEMANGE et Ève BOURGKARD

Département épidémiologie en entreprise

■ Sophie NDAW

Département toxicologie et biométrie

Exposé des motifs et objectifs

Produites par des moisissures se développant sur les produits agricoles, les mycotoxines sont responsables d'effets sanitaires néfastes lors de l'ingestion de produits alimentaires contaminés. L'environnement de travail peut représenter une source d'exposition par inhalation ou contact cutané. Les expositions, mécanismes d'action et effets sur la santé des mycotoxines en milieu professionnel sont mal connus.

Démarche

Une recherche bibliographique des années 1960 à nos jours a identifié les publications d'études sur les mécanismes d'action des mycotoxines et/ou les publications d'études en contexte professionnel. Des échanges avec des préventeurs et des experts ont complété cette recherche. Les concentrations en mycotoxines mesurées de 2011 à 2020 par les laboratoires du réseau prévention (Carsat, Cramif, CGSS) ont été consultées dans la base Colchic.

Résultats principaux

Très peu de travaux sur les effets toxiques d'une exposition atmosphérique aux mycotoxines ont été menés chez l'animal ou chez l'humain. Malgré des limites, les études de métrologie et de biométrie conduites démontrent des multi-expositions aux mycotoxines dans certains lieux de travail. Il est également apparu que les études épidémiologiques menées en milieu professionnel dans le cadre de la recherche d'effets sur la santé présentent elles aussi des faiblesses, comme l'absence d'évaluation multi-mycotoxines par exemple.

Confirmant l'intérêt scientifique d'une étude épidémiologique, les discussions avec des experts ont permis de valider différents points du protocole d'étude issus de la revue bibliographique : mycotoxines à cibler (déoxynivalénol, aflatoxine B1, ochratoxine A, fumonisine B1, zéaralénone, trichothécènes T-2 et HT-2), voies d'exposition (inhalation ou par contact

cutané), constituants de l'aérosol à doser (mycotoxines dans les fractions inhalables et alvéolaires des poussières, poussières totales, endotoxines, bactéries, moisissures, produits phytosanitaires), évaluation de l'exposition par contact cutané, estimation de l'exposition par voie alimentaire (outils de l'Anses) et de l'exposition liée à un environnement humide (questionnaire), biomarqueurs d'exposition (urinaires et sanguins), effets sur la santé (biomarqueurs de stress oxydant et d'inflammation au niveau respiratoire, symptômes, biomarqueurs de génotoxicité, biomarqueurs sanguins d'immunotoxicité et de perturbations hormonales, biomarqueurs d'atteinte hépatique (sang) et de dysfonction rénale (urine), design de l'étude (étude exposés / non-exposés), taille de l'échantillon (70 sujets exposés et 35 sujets non-exposés), secteurs concernés (comme nutrition animale par exemple).



Discussion

Il paraît donc pertinent de mettre en place une étude pour améliorer la connaissance du sujet. Cette étude d'instruction a permis de construire le protocole d'une nouvelle étude épidémiologique s'appuyant sur des mesures de métrologie et de biométrie en entreprise (présentée ci-après).

2023 → 2027

Exposition professionnelle aux mycotoxines évaluée par métrologie et biométrie et biomarqueurs d'effets sur la santé

■ Valérie DEMANGE et Ève BOURGKARD

Département épidémiologie en entreprise

■ Sophie NDAW

Département toxicologie et biométrie

Les objectifs de l'étude sont d'évaluer les expositions professionnelles aux mycotoxines (atmosphère et biométrie) et d'étudier leur relation avec des biomarqueurs d'effet, à court et moyen termes, au niveau de l'appareil respiratoire, et à moyen terme au niveau du foie, du rein et au niveau systémique. 105 sujets, issus de différents secteurs d'activité, hommes et femmes, (35 non exposés, 70 exposés aux mycotoxines) seront suivis pendant deux jours consécutifs, en début et fin de poste. Des mesures d'exposition atmosphérique aux mycotoxines, aux poussières, aux moisissures et aux endotoxines seront réalisées. Des biomarqueurs d'exposition aux mycotoxines seront dosés dans l'urine et le sang. Des biomarqueurs d'effets seront mesurés de façon non invasive : stress oxydant dans le condensat de l'air exhalé (CAE), cytokines dans le CAE et le sang, anomalies nucléaires et chromosomiques dans les cellules buccales et les lymphocytes, enzymes hépatiques et hormones sexuelles dans le sang, biomarqueurs de dysfonction rénale dans l'urine. Les symptômes respiratoires seront recueillis par questionnaire.

► RISQUES INFECTIEUX

2023 → 2026

Procédure de construction de méthodologie d'évaluation du risque biologique

■ Sarah BURZONI

Département métrologie des polluants

Après la réalisation d'un portrait général des secteurs industriels concernés et des principaux agents biologiques présents dans ces secteurs, une procédure à destination des employeurs sera conçue, détaillant étape par étape quelles informations sont à prendre en compte pour construire une méthodologie d'évaluation du risque biologique, adaptée à chaque secteur d'activité. La procédure sera testée et validée sur le terrain dans des entreprises de différents secteurs industriels. Les documents compléteront le guide méthodologique Metropol.

► PROTECTIONS COLLECTIVES

2023 → 2025

Étude des performances et de l'innocuité des épurateurs d'air intérieur vis-à-vis des bioaérosols et des COV dans les locaux à pollution non spécifique

■ Denis BÉMER et Fabien GÉRARDIN

Département ingénierie des procédés

A partir d'une sélection d'épurateurs disponibles sur le marché intégrant différentes technologies, l'étude visera à évaluer leur capacité à assainir les atmosphères du secteur tertiaire (performance et innocuité des appareils vis-à-vis des (bio) aérosols et des principaux COV identifiés dans l'air intérieur). Une attention particulière sera portée sur la capacité à séparer ou à détruire les bioaérosols présents dans la matrice atmosphérique étudiée. La production potentielle de substances et/ou de sous-produits toxiques induite par le fonctionnement des appareils sera également mesurée.

► PROTECTIONS INDIVIDUELLES

2023 → 2026

Relargage de nano-objets, leurs agrégats et agglomérats depuis des masques (Projet RENAAME / Anses)

■ Sandrine CHAZELET

Département ingénierie des procédés

L'INRS est partenaire du projet RENAAME, piloté par le Laboratoire national d'essais (LNE) et financé par l'Anses. Son objectif est de développer et valider une méthodologie :

- de détection de NOAA (Nano-objets, leurs agrégats et agglomérats), qui sont intégrés dans certains masques respiratoires, notamment pour leurs propriétés biocides,
- et de quantification du pouvoir émissif des masques pour ces NOAA lors de leur utilisation.

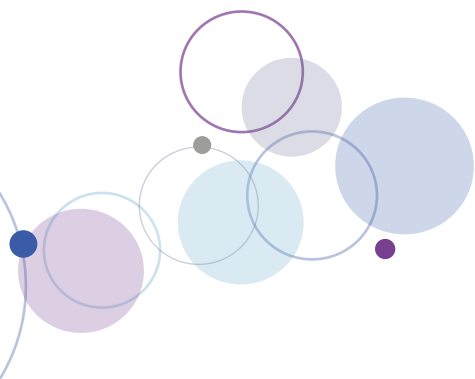
L'INRS interviendra lors de l'étape de sélection des masques et, en fin de projet, pour la mise en œuvre d'essais d'évaluation du relargage de ces nanomatériaux dans des conditions proches des conditions réelles de port de masques.

➔ Prévention des risques chimiques

Les savoirs consolidés ces dernières années par l'INRS ont amélioré la prise en compte des risques chimiques dans les lieux de travail. Pour autant, même si les niveaux d'exposition ont baissé et que la sensibilisation aux dangers a progressé, les substances chimiques restent très présentes et peuvent être diversement considérées en milieu professionnel. Plusieurs objectifs seront poursuivis pour intégrer la multitude des situations de travail rencontrées et notamment les polyexpositions, les cocktails complexes et la variabilité des expositions dans le temps et dans l'espace, afin d'approfondir les connaissances, d'agir à la source sur les outils et moyens de prévention et de soutenir l'engagement des entreprises à se prémunir des risques chimiques.

»» OBJECTIFS GÉNÉRAUX

- Développer des méthodes pour identifier les substances dangereuses pour la santé des salariés et agir en amont.
- Mettre au point des techniques de caractérisation, de prélèvement et d'analyse ainsi que de nouvelles méthodes plus sensibles pour répondre aux besoins liés à la baisse des VLEP.
- Agir à la source en intégrant dans les procédés la limitation ou l'épuration des émissions de polluants.
- Renforcer la prise en compte des polyexpositions à plusieurs substances chimiques.
- 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.
- Porter une attention particulière aux produits émergents, notamment ceux introduits à des procédés plus « verts » tels les liquides ioniques ou les nouveaux solvants.





► DÉVELOPPEMENT DE MÉTHODES

2017 → 2022

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

■ Eddy LANGLOIS et Alain BOULET

Département métrologie des polluants

Exposé des motifs et objectifs

La pompe de prélèvement est un élément essentiel dans le processus d'évaluation de l'exposition des expositions professionnelles aux risques chimiques et biologiques. De sa justesse et sa stabilité dépend en grande partie la qualité du résultat. Or l'utilisateur n'est pas toujours informé de ces performances. Le nombre de pompes sur le marché est important, avec des gammes d'utilisation plus ou moins étendues et des applications variées. Il était donc important de porter à la connaissance des utilisateurs les performances des pompes disponibles sur le marché, de l'impact du non-respect de certaines spécifications sur la qualité des résultats obtenus et de les accompagner dans le choix des dispositifs les mieux adaptés à leurs besoins.

L'objectif de cette étude était de caractériser les pompes du marché, d'évaluer leurs performances et de proposer un outil d'aide au choix du matériel le mieux adapté aux besoins des utilisateurs.



Démarche

Deux types de pompes ont été testés, les pompes à bas débit pour le prélèvement des gaz et les pompes à haut débit pour les particules. Après identification et acquisition de tous les modèles disponibles, ces derniers ont été évalués selon le protocole standardisé de la norme internationale ISO 13137. Plusieurs dispositifs expérimentaux ont été développés et optimisés pour la réalisation de ces essais. Une fois les résultats collectés, une cotation de la performance des pompes a été réalisée sur la base des spécifications imposées par la norme. Chaque paramètre a été associé à une contrainte d'utilisation de la pompe ou de l'environnement dans lequel elle est utilisée, afin de pouvoir construire un outil d'aide au choix.

D'autre part, une méthode alternative à la mesure des micro-variations temporelles de débits, - également appelées « pulsation de débit » -, a été développée, car la méthode préconisée est coûteuse et délicate à mettre en œuvre, ce qui rend son application extrêmement rare dans les laboratoires utilisateurs.

Résultats principaux

Les résultats mettent en évidence un bon niveau de performance pour les pompes bas débits. En revanche, les conclusions sont plus contrastées pour les pompes à haut débit pour les particules. Certaines d'entre elles ne respectent pas les critères d'autonomie et de résistance à la perte de charge, essentiels à la représentativité des prélèvements.

Discussion

L'outil d'aide au choix des pompes, basé sur les résultats de cette étude, est en cours de réalisation pour une mise à disposition dans la base Metropol dans le courant de l'année 2023.



2018 → 2022

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

■ Benjamin SUTTER et Emmanuel BELUT

Département ingénierie des procédés

■ Thèse de doctorat : Noredine REKEB

Université Paris-Est-Créteil – Évelyne GEHIN

Exposé des motifs et objectifs

L'exposition des travailleurs aux aérosols semi-volatils (mélange d'une phase vapeur et d'une phase particulaire) est un enjeu de santé au travail important. Il a été estimé que plus d'un million de travailleurs étaient exposés à de tels aérosols, ceux-ci générant des symptômes d'irritation, voire des risques de cancer, en fonction de leur nature chimique.

Par ailleurs, des indices laissent penser que les effets sur la santé seraient différents entre la phase particulaire et la phase vapeur de l'aérosol semi-volatil, c'est-à-dire qu'une mesure de chaque phase est nécessaire. Or, du fait de leur semi-volatilité, les méthodes de mesure actuelles ne permettent pas une différenciation des deux phases de l'aérosol, donnant uniquement accès à une quantification globale de type « particules + vapeur ».

Cette étude avait pour objectif d'analyser la littérature de manière approfondie, afin d'identifier des dispositifs capables de quantifier les deux phases d'un aérosol semi-volatil, tout en respectant les contraintes du prélèvement en milieu professionnel. Le second objectif était d'étudier le dispositif le plus prometteur et d'en proposer une version améliorée en adéquation avec les exigences de performances requises.

Démarche

Cette étude pluridisciplinaire a allié la simulation numérique à l'expérimentation, dans une collaboration entre l'INRS et l'université Paris-Est Créteil (laboratoire Certes), via une thèse de doctorat. Elle s'est déployée selon quatre étapes :

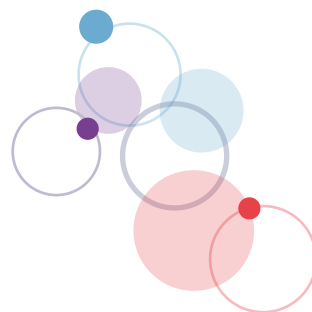
1. étude bibliographique,
2. étude par simulation numérique du dispositif identifié dans la littérature, le Sads (*Semi-volatile Aerosol Dichotomous Sampler*),
3. étude expérimentale des performances du Sads,
4. étude extensive d'optimisation du concept du Sads pour créer un nouveau dispositif.

Résultats principaux

L'étude bibliographique a clairement identifié le Sads comme un dispositif permettant d'atteindre les exigences de performances nécessaires pour l'évaluation de l'exposition des travailleurs sur leur lieu de travail. Les trois autres étapes ont contribué à créer et valider un modèle numérique permettant de simuler des dispositifs de géométrie similaires, de créer une méthode expérimentale innovante permettant d'évaluer les performances réelles des dispositifs de prélèvements testés et d'aboutir, après optimisation, à un nouveau concept de dispositif appelé PPAS (Prélèvement personnel d'aérosols semi-volatils) pour lequel une demande de dépôt de brevet a été réalisée.

Discussion

Le nouveau dispositif PPAS est à présent disponible pour évaluer l'exposition des travailleurs aux deux phases d'un aérosol semi-volatil. Celui-ci doit être testé en conditions réelles pour valider son fonctionnement en atmosphère polluée par des particules de poussières environnementales.





2019 → 2022

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

*École des hautes études en santé publique de Rennes –
 Nathalie BONVALLOT*

■ Florian MARC

Département expertise et conseil technique

Objectifs

Depuis le 1^{er} juin 2015, plus de 30 000 entreprises en France utilisent le logiciel Seirich pour réaliser leur évaluation des risques chimiques. Cette étude avait pour objectif de contribuer à la pérennisation de Seirich à travers deux objectifs : étudier des pistes d'amélioration de la méthodologie, comparer l'outil à d'autres méthodes internationales.

Démarche

Des limites des algorithmes ont été identifiées par :

- 1) une revue comparative de la bibliographie,
- 2) l'analyse des retours d'expérience des utilisateurs de terrain,
- 3) l'utilisation des données de la base Colchic et
- 4) la comparaison des évaluations de Seirich avec des évaluations réalisées par des experts. Ce dernier point a requis la construction d'une matrice de situations de travail de référence à partir de mémoires de soutenance de Carsat. Chaque situation a été évaluée par Seirich et par 17 experts et les résultats ont été comparés. Les autres méthodes disponibles pour évaluer les risques chimiques ont été recensées et les résultats d'évaluation obtenus sur les situations de référence ont été mis en perspective avec ceux issus de Seirich.



Résultats principaux

Sur 27 limites identifiées, 14 ont été jugées pertinentes et des propositions d'améliorations algorithmiques ont été faites. L'impact de la mise en œuvre de ces propositions pour les utilisateurs de Seirich a été évalué sur un ensemble d'inventaires d'entreprises collectés spécifiquement pour cette étude. A la lumière des résultats, le comité de pilotage de Seirich a décidé de la mise en œuvre opérationnelle de 12 des 14 modifications. Elles seront développées en 2023 et disponibles dans la version 4.0 du logiciel qui sera mise en ligne en 2024. La comparaison de Seirich avec les autres méthodes a soulevé des difficultés scientifiques, en raison notamment du fait que les autres méthodes évaluent les expositions à des substances, alors que Seirich évalue le risque lié à des produits (en tant que mélange de substances).

Discussion

Des travaux complémentaires sont requis pour acquérir des connaissances sur le lien entre l'évaluation des risques chimiques à partir des informations des produits et l'évaluation des expositions à partir des informations des substances chimiques composant lesdits produits. Ceci permettrait de mieux prendre en compte les polyexpositions et de mieux comparer les méthodes et outils disponibles. Dans cette perspective, une piste méthodologique serait de considérer les actions de prévention engendrées à la suite de l'évaluation, par exemple en suivant sur un temps suffisamment long un groupe d'entreprises diversifiées. Par ailleurs, une réflexion sur des améliorations d'algorithmes concernant l'évaluation des risques par la voie cutanée sera menée pour identifier des pistes de progrès.

2019 → 2023

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

■ Andrea 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 → 2023

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

■ Estefania BERNAL 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.

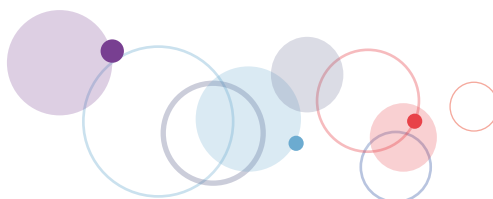
2020 → 2023

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 et Xavier SIMON

Département métrologie des polluants

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 particuliers dans les atmosphères de travail s'est démocratisée ces dernières années et permet de répondre aux besoins 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

Étude des caractéristiques physico-chimiques des aérosols émis lors de la manipulation de poudres

■ Sihane MEROUANE

Département métrologie des polluants

■ Thèse de doctorat : Olivier RASTOIX

École européenne de chimie, polymères et matériaux de Strasbourg - Cécile VALLIÈRES

La mise en œuvre de poudres génère des aérosols qui peuvent être inhalés par l'opérateur. Différentes méthodes normées existent pour mesurer la pulvérulence de matériaux en vrac, susceptibles d'émettre des aérosols dans les différentes fractions conventionnelles liées à la santé. Cependant, peu de données sont disponibles sur les caractéristiques des aérosols générés par ces méthodes, en particulier, sur des poudres contenant des mélanges de matériaux. Cette étude est consacrée à l'analyse des caractéristiques physiques et chimiques des aérosols, afin de fournir des méthodes standardisées pour évaluer un risque d'exposition par inhalation à un aérosol issu de la mise en œuvre de poudres.

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.

Elle est 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.



2022 → 2024

Exploitation des données de mesure spatio-temporelle pour des applications en prévention à différents secteurs d'activités

■ Karine GÉRARDIN, Bruno GALLAND et Philippe DUQUENNE

Département ingénierie des procédés

■ Thèse de doctorat : Naresh HOUESSO

Centre de recherche en automatique de Nancy - Sébastien MIRON

L'étude a pour objectif de compléter les méthodes d'évaluation des risques chimiques et biologiques disponibles par la réalisation de cartographies spatio-temporelles des concentrations en polluants atmosphériques sur les lieux de travail. Il s'agit d'intégrer de nouvelles données, comme celles issues de la géolocalisation des équipements de mesure et de la numérisation 2D/3D des environnements de travail. A terme, les cartographies obtenues pourraient être utilisées pour modéliser l'effet de différentes stratégies de ventilation (et/ou organisationnelles) sur les expositions individuelles et apporter une aide complémentaire aux préventeurs en charge de l'évaluation des risques.

2022 → 2024

Développement d'une méthodologie standardisée d'évaluation des expositions pour les substances ne possédant pas de VLEP française

■ Barbara SAVARY et Jean-François SAUVÉ

Département métrologie des polluants

Cette étude vise à proposer aux acteurs de prévention une méthodologie standardisée et simplifiée d'évaluation des expositions pour les substances ne possédant pas de VLEP française réglementaire ou admise. Cette méthodologie permettra de faciliter l'interprétation des mesures d'exposition lors de la démarche d'évaluation et de prévention du risque chimique et viendra compléter l'offre de l'INRS en matière d'outils d'évaluation des risques, notamment *via* un guide publié dans la base Metropol. De plus, les formations de l'INRS abordant la problématique du risque chimique seront complétées avec cette méthodologie.

2022 → 2025

Réalisation du profil de spéciation du cadmium sanguin : étude de faisabilité pour évaluer l'exposition professionnelle

■ Ogier HANSER et Mathieu MELCZER

Département toxicologie et biométrie

■ Thèse de doctorat Mathieu MELCZER

*PREM - Université de Pau et des Pays de l'Adour -
Ryszard LOBINSKI*

Le cadmium est présent en entreprise bien que toxique, même à faible dose. Aujourd'hui, le suivi biologique de salariés exposés est réalisé par l'analyse du cadmium total dans l'urine. Cependant, dans le secteur du recyclage des piles/accumulateurs, une étude récente a révélé les difficultés d'interprétation des résultats urinaires. Le développement d'outils plus adaptés à l'analyse du cadmium s'impose donc pour améliorer le suivi en entreprise. Dans le but de distinguer le cadmium stocké à long terme de celui issu d'une exposition récente, des analyses de spéciation et de fractionnement du cadmium permettront d'établir un profil des espèces présentes dans le sang. La méthode mise en point dans cette étude sera ensuite optimisée dans l'optique de disposer d'outils utilisables par les laboratoires d'analyses.

2022 → 2025

Développement d'un modèle QSAR pour prédire le passage percutané de toxiques industriels

■ Lisa CHEDIK et Catherine CHAMPMARTIN

Département toxicologie et biométrie

Si l'exposition par voie pulmonaire à des toxiques est de mieux en mieux appréhendée et contrôlée sur le lieu de travail, l'imprégnation cutanée des travailleurs à des toxiques reste mal caractérisée bien qu'elle constitue une menace potentielle pour leur santé.

L'objectif de cette étude est de développer puis valider un outil pour prédire la perméabilité cutanée des toxiques industriels chez l'homme : un modèle QSAR pour *Quantitative Structure-Activity Relationship*, assorti d'un indice de confiance. La validation des modèles passera notamment par la production de nouvelles données issues d'expérimentations *in vitro* réalisées au laboratoire sur des substances classées préoccupantes dont le passage percutané n'est pas encore documenté.



2022 → 2025

Élaboration et évaluation de la pertinence d'un indice global « QAI et confort thermique » pour l'amélioration des conditions de travail dans les zones de stockage des commerces

■ Laurence ROBERT et Romain GUICHARD

Département ingénierie des procédés

La littérature fait état d'une dégradation de la qualité de l'air intérieur (QAI) dans les espaces de stockage et les réserves des commerces de détail non alimentaires. Une partie des 84 000 salariés concernés travaillent plusieurs heures, voire l'ensemble de la journée, dans ces locaux dont l'air est généralement peu renouvelé. Cette étude vise à proposer un nouvel indice global « QAI et confort thermique » via la réalisation de mesures et d'audits dans différents locaux et la validation en laboratoire. Cet indice permettra de qualifier un environnement de travail ou de hiérarchiser différentes options lors de la conception ou l'amélioration d'un local. L'usage par les préventeurs de l'indice développé sera un levier essentiel pour améliorer la prévention des risques d'exposition chronique aux composés organiques volatils et d'inconfort dans les réserves des commerces.

2022 → 2025

Métrologie du potentiel d'exposition aux fluides complexes : développement de méthodes applicables aux fluides et à leurs brouillards

■ Sophie TOMAZ

Département métrologie des polluants

Les fluides complexes, comprenant notamment les fluides de lubrification et de refroidissement, sont utilisés dans diverses activités professionnelles. Ils se composent d'un mélange de composés chimiques, qui peuvent être absorbés par le corps humain et entraîner des affections cutanées et respiratoires. Les objectifs de ce projet sont de développer plusieurs méthodes en vue de :

- mesurer le benzo[a]pyrène ;
- évaluer l'exposition aux composés organiques totaux présents dans les aérosols de fluides complexes, et mesurer les métaux contenus dans ces particules ;
- quantifier le potentiel oxydant dans ces particules, qui sera comparé à une évaluation, à l'échelle moléculaire, de leur composition chimique.

Cette investigation permettra d'évaluer la pertinence de la mesure du potentiel oxydant et de corrélérer ce potentiel à la présence de certains composés chimiques, en vue de mieux définir la liste des molécules à quantifier afin de mieux prévenir l'exposition des salariés à ces fluides.

2023 → 2024

Évaluation des performances des capteurs d'aérosols à bas coût : étude d'instruction

■ Benjamin SUTTER

Département ingénierie des procédés

L'objectif de ce travail est de préparer expérimentalement une étude dédiée à l'évaluation de capteurs d'aérosols récemment apparus sur le marché (faible coût et moindre encombrement), en référence aux méthodologies conventionnelles de mesure des aérosols dans l'air des lieux de travail.

L'INRS participe à une recherche prénormative sur l'évaluation des performances des capteurs d'aérosols dans le cadre d'un mandat de la Commission européenne, en lien avec des partenaires européens (voir projet CEN2 ci-après). Le but de cette étude d'instruction sera de compléter les données bibliographiques issues de ce projet et de réaliser des protocoles d'essais permettant l'exposition homogène des capteurs, en laboratoire et sur le terrain, pour apporter les réponses les plus pertinentes aux préconisations liées à la mesure des expositions aux aérosols dans l'air des lieux de travail.

2020 → 2025

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

■ 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 leur prélèvement et leur 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

Département ingénierie des procédés

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.

2021 → 2023

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

■ Baninia HABCHI et Sophie NDAW

Département toxicologie et biométabolomique

Cette étude a pour objectif principal de tester la faisabilité de la mise en 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 entreprise, constituera le deuxième objectif. L'approche métabolomique permettra d'apporter des réponses aux différentes demandes relatives à l'évaluation biométabolomique, comme celles dans les secteurs de traitement des déchets d'équipement électrique et électronique ou dans le cas d'activités sur des sols pollués.



► POLYEXPOSITION À PLUSIEURS AGENTS CHIMIQUES

2020 → 2023

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

■ Andrea EMILI et Gautier MATER
 Département métrologie des polluants

Dans le milieu professionnel, les salariés sont souvent exposés à plusieurs agents chimiques 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 GÉRARDIN
 Département ingénierie des procédés

Les travailleurs impliqués dans la gestion des sites et sols pollués (SSP) sont présents sur des terrains dont les sols contiennent différents types de polluants organiques et inorganiques dangereux. Cette étude expérimentale vise à objectiver la polyexposition chimique de ces travailleurs et à comprendre ses origines. Elle implique des mesures sur les trois matrices sol, gaz de sol et atmosphère, sur un site expérimental donné 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.



»» OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

- Les travaux conduits sur les risques chimiques font écho à des **préoccupations spécifiques de santé et sécurité au travail, pour lesquelles des actions ciblées seront entreprises.**
- Ces actions concernent les **agents cancérogènes ou mutagènes**, les **agents reprotoxiques**, les **agents sensibilisants et allergisants**, ainsi que les **protections collectives et individuelles.**



▶ AGENTS CANCÉROGÈNES OU MUTAGÈNES

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

Exposé des motifs et objectifs

La dépression de 10 pascals fixée par la réglementation est souvent insuffisante pour assurer le confinement d'un chantier de désamiantage en toutes circonstances. Les entreprises prévoient donc généralement une marge de sécurité en visant une dépression à 20 pascals. Cependant, des calculs et mesures sur site, réalisés lors d'une étude précédente, ont montré que la dépression causée par le vent autour d'un bâtiment pouvait dépasser cette valeur de 20 pascals pour des sites particulièrement exposés au vent. Cela a pour conséquence directe une rupture de confinement qui peut se traduire par une dispersion de fibres d'amiante à l'extérieur de la zone, dans l'environnement proche du chantier où se trouvent des salariés non protégés contre le risque par inhalation (opérateurs en pause, chef de chantier, etc.).

L'objectif de cette étude était de fournir aux entreprises des solutions concrètes leur permettant de prévenir des ruptures de confinement dues à une forte exposition au vent et, en cas d'impossibilité technique ou économique, de déterminer un seuil au-delà duquel les processus de désamiantage doivent être interrompus.

Démarche

Le constat actuel est qu'il est pratiquement impossible de réaliser des mesures sur site lorsqu'il est question d'un chantier de désamiantage exposé au vent. La démarche a donc consisté à reproduire un chantier complet incluant le système de ventilation à échelle réduite, de façon à pouvoir l'étudier en soufflerie sous différentes conditions maîtrisées de vent. Cela a permis à la fois de valider une approche de simulation numérique prédictive et de tester plus rapidement différentes configurations pour observer leur impact sur la qualité du confinement dynamique d'un chantier. Les mesures ont été réalisées dans la soufflerie atmosphérique de l'université de technologie d'Eindhoven dans le cadre d'une convention de thèse. L'approche de simulation numérique validée expérimentalement a ensuite été exploitée pour mener une étude paramétrique sur des configurations de chantier variées.

Résultats principaux

Les principaux résultats scientifiques sont : une méthodologie de conception d'un système de ventilation réduit par similitude et la validation d'une approche de simulation couplant la dynamique du vent avec celle d'un réseau de ventilation. Les avancées majeures en prévention sont : la possibilité de répondre à des demandes d'assistance spécifiques sur ce sujet, l'établissement de recommandations concrètes sur le positionnement des éléments de ventilation à destination des entreprises et l'établissement d'un seuil de vent critique selon la dépression prévue dans le confinement du chantier. L'analyse d'impact des recommandations formulées montre que la durée des chantiers de désamiantage devrait être peu affectée.



© INRS / G. Verbaol / 2023

Discussion

Le seuil de vent déterminé n'est qu'une indication qui doit alerter l'entreprise sur les difficultés liées au vent et n'est en aucun cas une valeur absolue ; l'influence du vent sur la robustesse du confinement dépend fortement de la configuration aéroulque du chantier et de son environnement. La méthode développée peut être appliquée à d'autres problématiques de prévention des risques professionnels liées au transfert de polluant par le vent et la ventilation.



2016 → 2022

Caractérisation multiparamétrique des particules ultrafines métalliques

■ Davy ROUSSET

Département métrologie des polluants

■ Thèse de doctorat : Manuella GHANEM

École des Mines de Douai - Patrice CODDEVILLE

Exposé des motifs et objectifs

Le principal mécanisme pouvant induire des effets sur la santé pour les particules ultrafines (PUF) est leur capacité à causer un stress oxydant qui se produit lorsque les espèces réactives de l'oxygène (ERO) perturbent l'équilibre, entre réaction d'oxydation et défense antioxydante au niveau cellulaire. L'objectif de cette étude était de proposer des méthodes de prélèvement et d'analyse complémentaires pouvant être déployées sur le terrain, permettant d'évaluer différents paramètres pour caractériser et relier les propriétés physicochimiques des PUF à leur réactivité. L'étude s'est focalisée plus particulièrement sur les mesures de solubilité et de potentiel oxydant (PO) des particules dans l'air, ces deux paramètres jouant un rôle important dans les mécanismes de toxicité des PUF métalliques. Ils peuvent être estimés par des tests chimiques acellulaires applicables à des particules collectées sur des filtres.

Démarche

Les fumées de soudage (FS) ont été choisies comme particules modèles pour les raisons suivantes : représentatives de procédés exothermiques, constituées de PUF métalliques, banc de génération existant, disponibles sous forme de matériaux de référence certifiés. La solubilité des métaux présents dans les FS a été étudiée *in vitro*, sous conditions physiologiques, dans des fluides pulmonaires de synthèse. Le potentiel oxydant a été déterminé par des tests chimiques acellulaires qui se basent sur la capacité des particules solides ou de leur fraction soluble à oxyder des antioxydants cibles, choisis pour mimer les constituants des fluides physiologiques de revêtement des voies respiratoires.

La démarche de développement s'est d'abord portée sur l'étude des paramètres méthodologiques influençant la mesure de la solubilité et du potentiel oxydant des PUF prélevées sur filtre. Un intérêt particulier a également été porté aux conditions de stockage après prélèvement pour évaluer la pertinence du développement d'un dispositif de mesure en continu du PO.

Résultats principaux

Les travaux ont permis de démontrer que des paramètres tels que le milieu et la durée d'extraction des particules, le choix du test chimique de mesure du PO, les conditions de vieillissement des particules avant analyse et la nature des principaux métaux extraits, en particulier leur fraction soluble dans le tampon phosphate, ont un effet significatif sur les mesures de la solubilité des particules présentes et du PO. Cette étude a permis de mettre en évidence que la spéciation des métaux apparaît comme un paramètre-clé expliquant la variation de leur solubilité et du PO associé à cette fraction soluble. Par ailleurs, elle a permis de confirmer que les conditions et la durée de stockage ont une influence sur la solubilité des métaux. L'analyse du PO des échantillons de fumées de soudage est donc à réaliser de préférence le jour même ou au plus tard une semaine après le prélèvement.

Discussion

Pour surmonter les biais liés au vieillissement des échantillons de FS avant leur analyse, les mesures en ligne et en temps réel du PO peuvent offrir une alternative au prélèvement sur filtre des FS. De telles méthodes permettraient également d'améliorer la connaissance de l'intensité de l'exposition (mise en évidence de pics ou de périodes d'exposition). Les résultats obtenus dans cette étude ont permis de définir un protocole simplifié de mesure du PO qui a servi de base à la conception et au dimensionnement d'un prototype de prélèvement et d'analyse en ligne et en temps réel du PO. Ce développement est poursuivi dans le cadre de l'appel à projet « Environnement santé travail » de l'Anses.



© INRS / G. Karbaoui / 2023



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

Exposé des motifs et objectifs

Les nanotubes de carbone (NTC) sont des nanomatériaux utilisés dans de nombreuses applications, dont la production et l'utilisation ne cessent de croître. Leur taille nanométrique fait qu'ils peuvent être inhalés par les salariés lors de leur manipulation. Leur dépôt dans les voies respiratoires peut induire une inflammation qui, si elle n'est pas résorbée, peut conduire au développement de pathologies pulmonaires. Initialement, l'inquiétude engendrée par la toxicité des NTC était alimentée par leurs propriétés physiques, rappelant celle de l'amiante. Une proposition d'évolution de la classification des NTC longs et épais a été soumise par l'Institut fédéral de la sécurité et de la santé au travail BAuA auprès de l'ECHA (*European Chemical Agency*) afin de les classer comme cancérigènes supposés (1B) par inhalation. Cependant, le manque de données relatives aux NTC n'entrant pas dans cette catégorie, notamment les courts et fins, ne permet pas d'étendre la demande de classification à l'ensemble des NTC.

Démarche

Des NTC longs et épais, ou courts et fins, ont été sélectionnés pour étudier leur toxicité sur des modèles *in vitro* et *in vivo*. *In vitro*, les cellules épithéliales bronchiques humaines BEAS-2B et les macrophages alvéolaires de rat NR8383 ont été utilisés afin d'analyser l'effet des NTC sur des cellules du poumon. *In vivo*, des rats déficients pour p53, considérés comme plus sensibles au développement de tumeurs, ont été exposés afin de vérifier la pertinence de ce modèle alternatif au test de cancérogenèse conventionnel. Les rats ont été exposés par instillation intratrachéale au Mitsui-7 (long et épais) et au NM-403 (court et fin). Un groupe de rats de type sauvage a également été exposé dans les mêmes conditions afin de comparer les effets avec ceux observés chez les rats déficients pour p53.

Résultats principaux

Le traitement des cellules BEAS-2B avec les NTC a induit la transition des cellules d'un phénotype épithélial vers un phénotype mésenchymateux, un processus potentiellement impliqué dans le développement de fibroses ou de cancers. Il est intéressant de noter que les NTC longs et épais avaient un effet plus précoce et à plus faible concentration que les NTC courts et fins. Il a également été montré que la transition épithélio-mésenchymateuse induite était partiellement réversible. Le traitement des macrophages NR8383 avec les NTC longs et épais a induit l'expression de gènes marqueurs d'inflammation de manière plus prononcée qu'avec les NTC courts et fins. *In vivo*, l'exposition des rats de type sauvage ou déficients pour p53 a provoqué une inflammation pulmonaire aiguë qui est devenue chronique, uniquement suite à l'exposition au NM-403, court et fin. Suite à l'exposition au NM-403, une hyperplasie, qui pourrait évoluer en néoplasie, a été observée. De manière intéressante, les deux NTC modulent l'expression des gènes impliqués dans l'inflammation pulmonaire, mais chaque NTC dérégule des voies de signalisation spécifiques.



© INRS / G. Keibaol / 2023

Discussion

Les NTC ont induit une transition épithélio-mésenchymateuse *in vitro*, qu'ils soient longs et épais ou courts et fins. Même si une certaine réversibilité des effets a été montrée, celle-ci n'est pas complète et pourrait être impliquée dans un effet mémoire pouvant contribuer à une sensibilisation des cellules. Les modifications d'expression génique suite aux traitements des macrophages avec les NTC suggèrent un changement de polarisation de ces derniers. La polarisation des macrophages étant liée à leur fonction, il est possible d'émettre l'hypothèse que leur traitement avec des NTC peut affecter leur capacité à phagocyter et éliminer les particules exogènes des voies respiratoires. L'exposition des animaux de laboratoire aux NTC n'a pas induit de tumeurs pulmonaires dans les conditions expérimentales. Cependant, le NM-403 a induit de l'hyperplasie et la déficience pour p53 a exacerbé cet effet. En conclusion, cette étude met en évidence que les différents types de NTC ont un effet délétère sur les cellules du système respiratoire, *in vitro*, et que le NTC court et fin induit le développement de lésions pré-néoplasiques pulmonaires, *in vivo*. Alors qu'il y a un manque de données pour classer les NTC courts et fins, qui ne sont pas inclus dans la proposition soumise par le BAuA à l'ECHA, ces résultats apportent des informations supplémentaires sur leur potentiel cancérigène, qui incitent à ne pas catégoriser différemment les NTC selon leur morphologie, quant à leur risque potentiel sur la santé.

2022 → 2026

Influence de la fonctionnalisation des nanotubes de carbone multi-parois sur leurs propriétés toxicologiques - Analyses *in vitro* et *in vivo*

■ Carole SEIDEL et Christian DARNE

Département toxicologie et biométrie

Il existe une large variété de nanotubes de carbone (NTC) à la surface desquels ont été greffées des fonctions chimiques dans le but de modifier leurs propriétés. Mais ces modifications de surface peuvent impacter leurs propriétés toxicologiques. L'utilisation croissante de tels nanomatériaux montre l'importance d'évaluer leur toxicité, la manipulation par les salariés pouvant conduire à leur inhalation. Cette recherche vise à évaluer l'impact des caractéristiques physico-chimiques des NTC sur leur toxicité et à sensibiliser les préventeurs quant au rôle de ces caractéristiques sur leur degré de dangerosité pour l'appareil respiratoire. Les travaux permettront également de compléter l'AOP (*Adverse Outcome Pathway*, voie conduisant à des effets néfastes) développée précédemment sur les nanoparticules à haut facteur de forme.

2023 → 2024

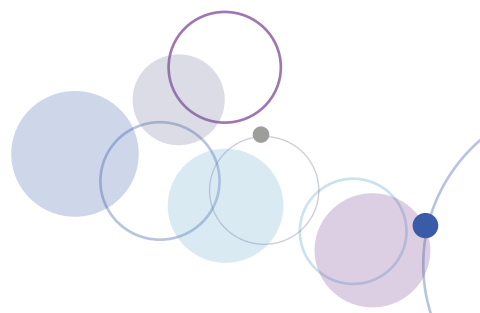
Étude de faisabilité technique pour tester des fluides complexes de lubrification aqueux dans des modèles *in vitro* de génotoxicité et de perturbation endocrinienne

■ Dieynaba NDIAYE et Christian DARNE

Département toxicologie et biométrie

L'objectif de cette étude est d'étudier les effets cancérigènes potentiels des fluides de coupe complexes au travers de tests de toxicologie usuels. Les potentiels effets génotoxiques et l'effet perturbateur endocrinien de ces fluides seront également étudiés à l'aide de tests *in vitro*.

En fonction des résultats obtenus, une étude plus importante sur l'évaluation du danger d'un plus grand nombre de fluides de coupe hydrosolubles pourrait être envisagée. Le but final est d'informer les acteurs de la prévention sur la toxicité des fluides étudiés.





▶ AGENTS REPROTOXiques

2018 → 2022

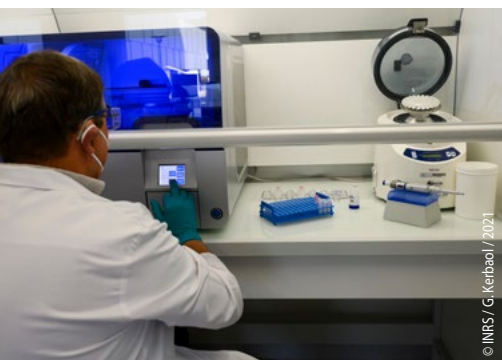
Évaluation de la toxicité prénatale de retardateurs de flamme organophosphorés chez le rat. Effets endocriniens

■ Sarah VALENTINO

Département toxicologie et biométrie

Exposé des motifs et objectifs

Les retardateurs de flamme sont incorporés dans une grande variété de polymères pour leur conférer une résistance au feu. Ils sont donc présents dans de nombreux produits industriels ou de consommation courante comme les appareils électriques et électroniques, les matériaux de construction, l'ameublement et les textiles. En raison de l'évolution de la réglementation, les retardateurs polybromodiphényles éthers ont été substitués par les retardateurs de flamme organophosphorés (RFOPs). La présence de RFOPs a ainsi été mise en évidence dans les usines de traitement de déchets d'équipements électriques et électroniques, les bureaux ou les magasins de meubles. Les RFOPs, comme le triphényle phosphate (TPhP) et le tricrésyl phosphate (TCP), sont suspectés d'être des perturbateurs endocriniens et métaboliques. L'objectif de cette étude était de mettre en évidence chez l'animal leurs effets toxiques sur le développement testiculaire fœtal, ainsi que sur la physiologie et le métabolisme du cholestérol et des acides gras chez la mère et le fœtus après une exposition gestationnelle.



Démarche

Des doses croissantes de TPhP ou de TCP ont été administrées à des rates du 12 au 19^{ème} jour de gestation, période critique de masculinisation de l'appareil reproducteur chez le rat avec la mise en place des organes génitaux externes et internes. Les testicules des fœtus ont été prélevés en fin de vie fœtale (jour 19 de gestation) et la production de la testostérone fœtale a été mesurée. Des échantillons de sang ainsi que le foie et les surrénales ont été prélevés chez la mère. La physiologie maternelle, *via* le suivi du poids, la biochimie sanguine et les concentrations en acides gras dans les foies et les surrénales a été analysée. L'expression des gènes impliqués dans la stéroïdogénèse fœtale, ainsi que dans le métabolisme maternel du cholestérol et des acides gras, a également été analysée.

Résultats principaux

Le TPhP a provoqué des perturbations dans l'organisme maternel à la plus forte dose (400 mg/kg), avec une diminution du gain de poids au cours de la gestation. Il a induit des perturbations de l'expression de gènes du métabolisme des acides gras et du cholestérol dans les organes maternels sans pour autant avoir d'effet sur la production de testostérone fœtale. Le TCP, quant à lui, a provoqué la diminution de la production de testostérone fœtale à la plus forte dose (300 mg/kg), dose qui s'est également avérée toxique pour la mère. Une augmentation du stockage des lipides dans les foies et surrénales maternels, dépendante de la dose, a également été observée. Elle était associée à une modification de l'expression des gènes impliqués dans le métabolisme du cholestérol et des acides gras dans les foies et les surrénales maternels. Le TCP a par ailleurs augmenté le stockage lipidique dans les foies fœtaux à 300 mg/kg.

Discussion

Cette étude prénatale n'a pas mis en évidence une perturbation de l'activité stéroïdogène fœtale chez le rat après des expositions au TPhP (jusqu'à 400 mg/kg). En revanche, une légère diminution de la production hormonale par les testicules fœtaux a été observée, à une dose de 300 mg/kg de TCP. Des perturbations métaboliques, dépendant de la dose testée, ont été démontrées pour les deux RFOPs chez la mère, avec des effets plus marqués pour le TCP. Pour ce dernier, une perturbation métabolique chez le fœtus a également été observée. Ces résultats donnent un éclairage nouveau sur les propriétés toxicologiques des RFOPs suivant des mécanismes d'action différents.

Par ailleurs, les salariés sont exposés à des mélanges, il pourrait donc être pertinent de déterminer, par une étude de terrain, si les modifications métaboliques sont également observables chez des salariés exposés à ces agents chimiques et ainsi analyser les conséquences sur la santé. Ces résultats ont fait l'objet d'une publication et deux articles scientifiques et un article pour les préventeurs sont en cours de rédaction.

▶ AGENTS SENSIBILISANTS – ALLERGISANTS



2018 → 2022

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

■ Marianne GUILLEMOT

Département métrologie des polluants

Exposé des motifs et objectifs

Les isocyanates sont des composés organiques qui contiennent un ou plusieurs groupes fonctionnels de formule moléculaire $-N=C=O$. Les diisocyanates constituent le groupe d'isocyanates le plus couramment utilisé en milieu de travail. Ce sont les principaux agents chimiques responsables d'asthme professionnel. Du fait de cette toxicité, des valeurs limites d'exposition professionnelle ont été établies en France par la circulaire du 5 mai 1986. Ces substances chimiques semi-volatiles sont susceptibles d'être présentes dans l'air sous forme gazeuse et particulaire. La méthode de prélèvement doit donc permettre de collecter les deux fractions. Actuellement, aucune méthode ne convient pour le prélèvement individuel sur 15 minutes et 8 heures. Dans cette étude, les performances du CIP 10-I pour le prélèvement des quatre diisocyanates les plus utilisés en France – les 4,4'-MDI, 2,4-TDI, 2,6-TDI et HDI – ont été évaluées.

Démarche

De manière à proposer un dispositif de prélèvement efficace sur la fraction granulométrique d'intérêt et de dimensionner les générations d'aérosols de diisocyanates en laboratoire au plus près des conditions réelles, des campagnes de prélèvements dans plusieurs entreprises ont été conduites pour couvrir différents procédés ainsi que les 4 diisocyanates sur lesquels porte cette étude. La génération d'aérosols de diisocyanates au laboratoire a été développée de manière à obtenir des tailles de particules proches de celles mesurées en entreprise. Le CIP 10 a été comparé à d'autres dispositifs, cassette, barboteur + cassette et dénukeur.

Principaux résultats et discussion

Le diamètre aérodynamique médian en masse des particules de MDI, TDI et HDI prélevées en entreprise est respectivement de 4,8, 2,3 et 8,3 μm . La génération des aérosols de diisocyanates dans le banc d'essai est représentative des aérosols observés sur le terrain, ce qui a permis de les utiliser pour qualifier la méthode de mesure. L'efficacité de collecte du CIP 10 est supérieure à 90% sur les fractions granulométriques d'intérêt. Les différents essais menés en laboratoire, sur des aérosols de diisocyanates générés dans des conditions proches des conditions de terrain, et les mesures réalisées en entreprise ont montré que les performances du CIP 10 étaient supérieures à celles de la cassette sur des temps longs de prélèvement et pour de fortes concentrations en diisocyanates. Les prélèvements en entreprise ont également mis en évidence que le dénukeur sous-estime les concentrations en TDI et en HDI. Les taux de récupération du CIP 10 sont supérieurs à 90%, comme l'exige la norme X43-215, pour 3 niveaux de concentration compris entre le 1/10 de la VLEP et 2 fois la VLEP, pour 4 heures de prélèvement. Enfin, le débit élevé de prélèvement du CIP 10, de 10 L/min, permet d'atteindre une meilleure sensibilité que la cassette.

Les résultats de cette étude ont fait l'objet d'une présentation au congrès international Airmon en novembre 2022 et au Congrès Français sur les aérosols. Ces travaux feront l'objet d'une méthode Metropol pour le prélèvement du HDI et du TDI. Un article sera également proposé dans une revue scientifique internationale à comité de lecture.

2023 → 2025

Étude des gènes impliqués dans la différenciation des lymphocytes T au cours du processus de sensibilisation respiratoire aux substances industrielles

■ Mélanie MOUROT et Fabrice BATAIS

Département toxicologie et biométrie

Cette étude a pour objectif de mettre au point une méthode d'analyse transcriptomique sur cellule unique afin d'identifier les gènes régulés dans l'activation et la différenciation des lymphocytes T au cours de la sensibilisation respiratoire. Les résultats permettront d'améliorer la connaissance sur les marqueurs de la sensibilisation respiratoire. Un test de criblage *in vitro* sera ensuite développé pour identifier les substances chimiques capables d'induire une allergie respiratoire et les classer selon leur pouvoir sensibilisant.

► PROTECTIONS COLLECTIVES ET INDIVIDUELLES

ÉTUDE
TERMINÉE

2017 → 2022

Impact des perturbations aérauliques fugitives sur le confinement des enceintes ventilées

■ Sullivan LECHÊNE et Emmanuel BELUT

Département ingénierie des procédés

■ Thèse de doctorat : Georges HALIM-ATALLAH

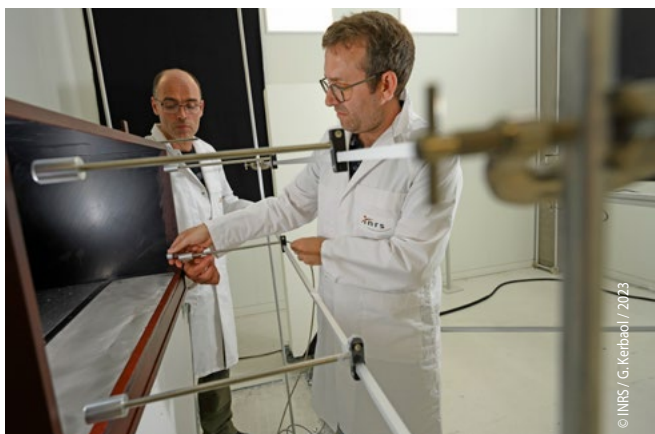
Université Paris-Est - Stéphane VINCENT

Exposé des motifs et objectifs

Les enceintes ventilées sont des dispositifs de protection collective utilisés couramment pour contenir des gaz ou aérosols polluants émis par un procédé. Ces dispositifs sont efficaces en régime permanent s'ils sont dimensionnés dans les règles de l'art, mais leur efficacité peut être temporairement dégradée en présence de perturbations aérauliques fugitives (courants d'air), d'où de possibles fuites de polluants hors de l'enceinte. Leur optimisation en tenant compte des effets transitoires des perturbations est alors essentielle pour garantir la santé et la sécurité des opérateurs. L'objectif principal de l'étude était de mettre au point et valider une méthode de simulation numérique capable de prédire les effets d'une rupture transitoire de confinement d'une enceinte induite par une perturbation aéraulique fugitive. Il s'agit ensuite de pouvoir réaliser des études numériques paramétriques pour déterminer les critères de performance (en termes de conception, d'installation ou d'utilisation) permettant aux enceintes de mieux résister aux perturbations instationnaires.

Démarche

Des études préliminaires (bibliographique pour identifier les perturbations usuelles, de terrain pour hiérarchiser leur fréquence d'occurrence, et statistique pour analyser les données de confinement disponibles) ont permis d'identifier la principale perturbation d'intérêt : le passage d'une personne devant une enceinte ventilée ouverte. Le cas de validation expérimental pour l'évaluation du modèle numérique, qui recrée la perturbation d'intérêt dans un environnement contrôlé, a ensuite été conçu et réalisé. En parallèle, la méthodologie de simulation a été développée *via* une approche par simulation instationnaire des écoulements d'air avec terme de pénalisation pour la prise en compte des objets ou des personnes en mouvement. Enfin, après validation de cette méthode, des études paramétriques numériques ont été initiées.



Résultats principaux

Dans le cas de validation étudié, le sillage d'un obstacle mobile déstabilise l'écoulement initial établi, caractérisé par une vitesse entrante dans l'ouverture de l'enceinte qui empêche le polluant gazeux émis dans l'enceinte de s'échapper. Ceci provoque une inversion temporaire de la direction de l'écoulement sur une fraction de l'ouverture, accompagnée d'une bouffée de polluant hors de l'enceinte. Quelques secondes suffisent pour que le confinement regagne son efficacité initiale. Le modèle numérique développé apparaît capable de prédire qualitativement et quantitativement l'effet de la perturbation sur le confinement. Au-delà de la validation du modèle, le cas étudié révèle la sensibilité de la rupture de confinement à l'état de la turbulence dans le local avant la perturbation, ce qui n'avait jamais été mis en évidence.

Discussion

Le modèle développé permet de réaliser des études paramétriques afin de proposer des préconisations de conception, d'installation ou d'utilisation des enceintes pour limiter les risques de rupture de confinement. La variabilité de l'impact des perturbations implique systématiquement une approche statistique, que l'approche soit expérimentale ou numérique.

L'étude a été valorisée par une thèse, quatre communications scientifiques et deux publications sont en cours de finalisation. A plus long terme, déterminer l'origine de l'amplification ou de l'atténuation des fuites de polluant par la turbulence initiale dans le local apparaît comme une perspective de recherche pour améliorer la protection des salariés.



2018 → 2022

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

Exposé des motifs et objectifs

Cette étude fait suite aux travaux déjà menés sur les performances de différents types d'appareils de protection respiratoire vis-à-vis de polluants particulaires d'une part, et sur les capacités d'adsorption des filtres combinés vis-à-vis de vapeurs organiques d'autre part. Son objectif était d'étudier expérimentalement les performances de ces appareils en présence d'une polyexposition particules/vapeur organique. Le type d'appareil, le choix des filtres combinés, la pose de la pièce faciale et le rythme respiratoire sont autant de paramètres qui influent sur la protection respiratoire et qui ont été étudiés. Des travaux complémentaires sur l'ajustement des masques respiratoires en fonction de la taille des masques et des dimensions de visage des porteurs et ses conséquences sur la protection respiratoire pour une large gamme de cycles respiratoires ont également été menés.

Démarche

Les deux polluants choisis pour simuler une polyexposition modèle particules/vapeur sont ceux utilisés dans les normes de certification des appareils de protection respiratoire : un aérosol de chlorure de sodium (NaCl) et des vapeurs de cyclohexane. Le principe des essais était de mesurer les performances de différents appareils de protection respiratoire pour chacun des deux polluants générés, seul puis en mélange afin d'en étudier l'impact. Plusieurs types d'appareils de protection respiratoire : demi-masque filtrant, masque complet filtrant, cagoule et demi-masque à ventilation assistée ont été testés sur une tête factice associée à une machine à respirer simulant différents cycles respiratoires, du repos à une respiration intense.

L'étude de l'ajustement s'est faite sur des masques complets de taille variable positionnés sur cinq têtes factices de dimensions variables associées à une machine à respirer pour l'étude de l'effet des cycles respiratoires. Les essais se déroulent en deux temps : quantification de l'ajustement du masque puis mesure du facteur de protection vis-à-vis de particules de NaCl.

Résultats principaux

Aucun impact de la polyexposition n'a été observé sur l'efficacité de protection vis-à-vis des particules ou des vapeurs. Par contre la comparaison entre particules et vapeurs montre que les niveaux d'efficacité ne sont pas équivalents, d'où la nécessité de tester un appareil avec le polluant pour lequel il va être utilisé. Que ce soit pour les vapeurs ou les

particules, la réduction des fuites entre le masque et le visage conduit à des niveaux de protection plus élevés. Ce bon ajustement est dépendant des dimensions du visage du porteur, pour lesquelles la taille de pièce faciale la plus adaptée doit être recherchée. Pour les appareils à ventilation assistée fonctionnant sur batterie, une vigilance est nécessaire lors de leur utilisation vis-à-vis des vapeurs, car la saturation des filtres par les vapeurs peut intervenir avant la fin de la durée d'autonomie de la batterie. Enfin il a été montré que l'augmentation du rythme respiratoire pouvait dégrader la protection respiratoire, en particulier lorsque l'ajustement au visage n'est pas satisfaisant.



© INRS / G. Kerbaol / 2023

ÉTUDE
TERMINÉE

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 LATIFI

Exposé des motifs et objectifs

La cémentation gazeuse basse pression est un traitement thermique dont le but est d'enrichir en carbone la surface de pièces métalliques afin d'augmenter leur dureté. Lors de précédentes études, ce traitement s'est révélé être une source importante d'exposition aux HAP au cours d'opération de maintenance et de nettoyage des installations. L'objectif était de modéliser et d'optimiser le protocole opératoire actuellement utilisé en industrie, afin de réduire la génération de HAP et de suies.

Démarche

Dans un premier temps, il a été ajouté au modèle chimique de formation de HAP, la formation de suies et de pyrocarbone. Ensuite, l'amélioration des méthodes de prélèvements et des analyses chimiques en laboratoire ont permis de valider un modèle complet qui prend en compte toutes les phases du procédé. Son optimisation a pu être entreprise avec comme critère la réduction de la masse de HAP et de suies générées et un nouveau protocole a été proposé, testé et validé sur un pilote industriel.

Résultats principaux

La taille du modèle chimique (1 255 réactions 363 espèces) impose des temps de calcul importants associés à la résolution du système différentiel. La réduction de la taille du mécanisme cinétique a donc été réalisée. Le mécanisme final comporte 140 espèces et 444 réactions tout en gardant les espèces cibles (16 HAP de US EPA, acétylène, hydrogène, benzène). Il a été ajouté à ce modèle la formation des suies et du pyrocarbone. La modélisation du procédé a été effectuée pour chaque espèce à partir des bilans matière. Son optimisation a permis de le tester et de minimiser la génération de suies et de HAP produits sur l'ensemble du procédé, tout en garantissant une qualité des pièces cémentées. Au final, les analyses des HAP lors d'une cémentation indiquent une bonne répétabilité pour les HAP les plus légers comme le naphthalène ou

l'acénaphthylène, car ils sont formés en grande quantité. Ce n'est pas le cas pour les HAP les plus lourds comme le benzo(a)pyrène où l'incertitude de la mesure est trop importante.

Pour autant, la masse totale des 16HAP est réduite de plus de 50 % avec la recette optimisée pour une réduction de plus de 40 % de la quantité d'acétylène, tout en garantissant la qualité de cémentation des pièces métalliques.

Discussion

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet qui vise à proposer une solution de protection collective en réduisant la quantité de HAP générée à la source. Les mesures expérimentales sur pilote industriel indiquent que la production de HAP est réduite de moitié avec la recette optimisée. Les résultats seront diffusés auprès des industriels afin d'une part de les convaincre de l'intérêt d'utiliser cette méthodologie et d'autre part d'appliquer les protocoles qui découlent des calculs et des expériences réalisées, pour réduire la génération de HAP tout en garantissant la qualité des pièces cémentées. Enfin, cette méthodologie pourra être appliquée à d'autres procédés de pyrolyse comme la densification en carbone des disques de frein, très génératrice de HAP.



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

Exposé des motifs et objectifs

Le monoxyde d'azote (NO), le dioxyde d'azote (NO₂) et le monoxyde de carbone (CO) sont générés par les moteurs diesel. Ils sont nocifs. Leur concentration se trouve renforcée en situation de confinement du fait de l'absence de renouvellement d'air. L'objectif de cette étude est de développer un procédé d'adsorption, avec l'objectif que le dispositif associé soit transportable et puisse être placé en sortie d'échappement du véhicule.

Démarche

Pour piéger ces gaz, il faut tenir compte, de l'humidité. L'adsorbant doit être sélectif. Une sélection de zéolithes avec les propriétés requises a été effectuée notamment par modélisation moléculaire. Les adsorbants les plus prometteurs ont été synthétisés. Ensuite leur capacité d'adsorption a été évaluée. Enfin, les candidats retenus ont été testés en dynamique et en présence d'un mélange gazeux. Une évaluation de la quantité de matériaux nécessaire pour un engin non routier type a été effectuée. En marge de ce travail, certains charbons ont fait l'objet d'investigations notamment pour comparer leurs performances à celles des zéolithes. Leur structure amorphe ne permettant pas l'usage de la modélisation moléculaire, ils ont été choisis à partir de la bibliographie.

Résultats principaux

Les calculs de modélisation moléculaire ont permis d'identifier sept zéolithes de type faujasite à fort potentiel. Dix charbons ont été ajoutés à la liste. Les zéolithes au cuivre, platine, palladium et fer sont apparues comme les plus intéressantes. Cependant, le coût du platine et du palladium, les ressources minières et la difficulté à les régénérer interdisent leur utilisation. En revanche, celles au cuivre et au fer sont très bon marché, abondantes, et leur sélectivité est plutôt bonne. Les zéolithes au nickel et à l'argent semblent prometteuses pour piéger le NO et le CO, respectivement. L'utilisation d'un mélange de zéolithes peut être approprié pour l'utilisation recherchée. Les faujasites au nickel et au cuivre ont été synthétisées avec succès. La synthèse de la faujasite au fer est en projet. L'étude de l'adsorption corrobore les calculs de modélisation moléculaire. En dehors de la faujasite à l'argent, peu de matériaux



piègent le CO. En revanche, la présence de nickel permet d'adsorber le NO bien plus que ses homologues. La zéolithe au sodium a une préférence pour le NO₂. Pour autant, les mesures effectuées en dynamique en présence d'un mélange, d'oxygène et d'eau ont montré que l'eau empêche l'adsorption des polluants de par sa trop grande quantité. Les charbons dopés à l'azote sont très prometteurs surtout pour le NO.

Discussion

La méthodologie mise en œuvre a montré tout l'intérêt de la modélisation moléculaire pour extraire les candidats d'intérêt. La masse de zéolithe nécessaire pour un engin non routier a été évaluée. Le piège doit fonctionner huit heures. L'argent est polyvalent. La masse est quasiment indépendante du gaz à piéger. Elle est proche de 158 kg soit 2% du poids du véhicule alors que 7 kg de faujasite au nickel sont suffisants pour stocker le NO₂ sur une journée. Ramené à la masse de l'engin, cela fait moins de 0,1%.

Les investigations se poursuivent dans le cadre d'une étude en cours adossée au programme ANR NOA dont l'INRS est le coordinateur.

2019 → 2023

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. Cette exposition est amplifiée par l'utilisation d'additifs. En effet, pour réduire la fréquence des difficultés d'écoulement, événements qui perturbent le processus, les industriels ont recours à des modifications de formulation, par ajout d'additifs, qui facilitent l'écoulement, mais 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 de formulation et limiter l'exposition des salariés.

2018 → 2023

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 l'évaluation de 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 à utiliser et les paramètres de fonctionnement. Le but de cette approche scientifique et technologique est de proposer une solution répondant à la problématique de réduction de l'exposition professionnelle aux COV employés encore massivement dans l'industrie.



2020 → 2023

Évaluation de l'efficacité des dispositifs de réduction des expositions au Meopa

■ 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'être humain. 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.

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.

2021 → 2024

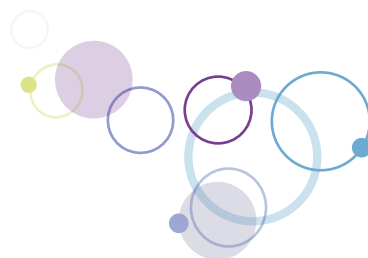
Avantages et limites d'utilisation des douches à air pour la décontamination des vêtements de travail

■ Alexandre JENFT

Département ingénierie des procédés

Les douches à air ont vocation à être utilisées dans les entreprises dont les activités sont génératrices de poussières n'ayant pas pu être captées au plus proche de leur émission. Leur capacité à dépoussiérer les vêtements, ainsi que les risques qu'elles peuvent éventuellement générer (exposition du travailleur à des concentrations élevées en particules au niveau des voies respiratoires ou passage de poussières à travers les vêtements de travail) seront analysés et quantifiés.

Des mesures en entreprise et une campagne d'essais en laboratoire seront conduites pour vérifier si les douches à air répondent effectivement à l'objectif d'amélioration de la sécurité des travailleurs évoluant dans des milieux poussiéreux.



► SUJETS ÉMERGENTS

ÉTUDE
TERMINÉE

2018 → 2022

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

Exposé des motifs et objectifs

Cette étude avait pour objectif la caractérisation des émissions de machines de fabrication additive métallique (procédé fusion sur lit de poudre et projection de poudre) et de machines de fabrication non-métallique (fil fondu et photopolymérisation). Il s'agissait ensuite de développer une série de préconisations à destination des préventeurs et des industriels du secteur. Les cibles privilégiées étaient les TPE-PME utilisatrices de différents types de fabrication additive et qui ne maîtrisent pas toujours les risques potentiels liés à ces procédés.

Démarche

Afin de caractériser les procédés de fabrication métallique les plus répandus dans l'industrie, des interventions ont été effectuées dans des centres techniques et une école d'ingénieurs, où a été déployée une méthodologie « lourde » pour analyser de manière très complète les émissions au poste de travail. Puis une méthodologie de mesure simplifiée a pu être mise en place dans différentes entreprises. En ce qui concerne les procédés de fabrication additive non-métallique, les deux procédés les plus utilisés dans l'industrie ont été analysés en laboratoire et des mesures de terrain ont été réalisées en parallèle.

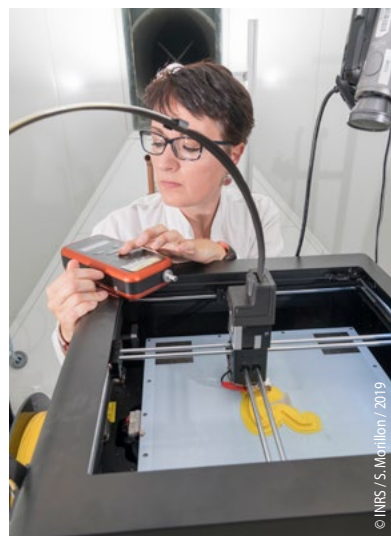
Résultats principaux

Il ressort de cette étude que la problématique de l'exposition à des particules ultrafines et à des composés chimiques gazeux lors de l'utilisation des procédés de fabrication additive est réelle, et souvent, non ou trop peu considérée par les entreprises lors de leur évaluation des risques. Pour les deux principaux procédés de fabrication additive métallique (fusion sur lit de poudre et projection de poudre), les émissions au niveau de la source du procédé sont significatives, avec principalement des particules de taille nanométrique. L'encoffrement des machines est utile et évite la contamination de l'ensemble du poste de travail. Cependant, les phases de travail transitoires (ouverture de porte, chargement de poudre dans la machine, récupération de pièce, nettoyage de machine, manipulation des poudres) sont exposantes.

Au sujet de la fabrication additive à base de polymères, les mesures en laboratoire confirment l'émission générée par les machines. Les différents matériaux testés émettent des aérosols nanométriques lors de l'utilisation de la technologie de fil fondu ainsi que des composés organiques volatils comme du styrène et de l'éthylbenzène. En ce qui concerne le procédé de photo-polymérisation mettant en œuvre des résines liquides, les principaux composés organiques volatils émis sont du méthacrylate et de l'acrylate de méthyle.

Discussion

Ces résultats mettent en évidence l'importance du capotage pour limiter la dispersion des polluants et la nécessité du port d'équipements de protection individuelle, chaque fois que cela est nécessaire, lorsqu'un opérateur pénètre dans l'enceinte de la machine ou effectue des tâches exposantes. Différents supports d'information et des publications scientifiques ont pu être diffusés afin d'informer sur le risque chimique et proposer aux entreprises une démarche de prévention adaptée. Des réflexions ainsi qu'une revue bibliographique sur la fabrication additive métallique de grandes pièces se sont poursuivies en 2023.



© INRS / S. Meillon / 2019

2023 → 2027

Exposition des travailleurs aux particules ultra-fines métalliques en fabrication additive et effets respiratoires et cardiovasculaires

■ Harielle SAMBA et Valérie DEMANGE
 Département épidémiologie en entreprise

Lors du processus de fabrication additive (FAM) ou impression 3D utilisant des matériaux métalliques, les salariés peuvent être exposés à des aérosols chargés en particules ultrafines (PUFs). L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact sanitaire, aux niveaux respiratoire, cardiovasculaire et systémique de l'exposition professionnelle des salariés aux PUFs métalliques des aérosols, générés lors de la FAM. Des salariés volontaires seront suivis *via* des actions de métrologie et biométrie (prélèvements individuels, questionnaires), en vue de recueillir des connaissances sur les potentiels risques à ces postes de travail.

▶ AUTRES RISQUES CHIMIQUES



2017 → 2022

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

■ Sophie NDAW et Radia BOUSOUMAH
 Département toxicologie et biométrie

Exposé des motifs et objectifs

En 2017, la Commission européenne a lancé un programme de biosurveillance intitulé « initiative européenne de biosurveillance (HBM4EU) » (<https://www.hbm4eu.eu/about-hbm4eu/>) dans le cadre du programme Horizon 2020, afin de soutenir les politiques de santé publique, de santé au travail et de sécurité alimentaire. Ce programme d'une durée de cinq ans regroupait 28 pays. Ses principaux objectifs étaient de :

- fournir et, le cas échéant, générer des données d'exposition interne des populations générale et professionnelle ;
- mettre au point de nouvelles méthodes pour établir les liens de causalité entre les expositions et les effets sur la santé humaine ;
- améliorer l'évaluation des risques chimiques dans l'UE et fournir aux décideurs des données validées pour gérer les risques pour la santé humaine ;

L'INRS, de par son expertise en biométrie, était engagé dans l'évaluation des expositions professionnelles afin de fournir des données nouvelles, évaluer la pertinence de nouveaux biomarqueurs et déterminer les besoins en recherche.

Démarche

Deux études de biosurveillance des expositions professionnelles ont été menées.

La première étude portait sur les expositions au chrome VI dans les secteurs du chromage, du soudage et de la peinture. La seconde étude portait sur l'exposition aux diisocyanates lors de la projection de mousse polyuréthane (construction), la peinture hors cabine sur de gros véhicules et l'application de colles.

Dans les deux cas, un protocole harmonisé à l'échelle européenne a été appliqué. Des échantillons biologiques (urines, sang, air exhalé), atmosphériques et de prélèvements dermiques ont été collectés.

Par ailleurs, des revues de la littérature permettant de faire un état des lieux des expositions professionnelles (phtalates, bisphénols et mycotoxines) mais également d'identifier les besoins en recherche ont été réalisées.

Résultats principaux

– **Étude Chrome VI** : Près de 400 travailleurs exposés au Cr(VI) ont été recrutés dans 9 pays. Un total de 203 travailleurs non professionnellement exposés a également été recruté. Les expositions les plus élevées ont été observées dans le secteur du chromage. Cette étude a démontré la pertinence des biomarqueurs sanguins pour une meilleure évaluation des risques.

– **Étude diisocyanates** : Dans cette seconde étude, 121 exposés et 45 non exposés ont été recrutés dans 5 pays. A cause de la crise sanitaire, les données issues de cette étude sont encore en cours de traitement et les résultats seront intégrés dans les travaux du nouveau projet européen PARC (partenariat européen pour l'évaluation des risques liés aux substances chimiques). On peut toutefois noter un constat préliminaire, une exposition plus importante des projeteurs de mousse.

– **Revue de la littérature** : Ces revues ont mis en lumière des manques de données d'exposition pour les « nouveaux » phtalates (di-isononyl phtalate ou DiNP et di(2-propylheptyl) phtalate ou DPHP), les substituts du bisphénol A ainsi que pour les mycotoxines. Un besoin d'approches harmonisées dans les études de biosurveillance a également été mis en évidence.

Discussion

Il a été montré dans ce projet que les études de biosurveillance professionnelle pouvaient être menées avec succès dans le cadre d'une collaboration multinationale. Elles permettent d'obtenir des données plus robustes pour soutenir la mise en œuvre des actions réglementaires en cours et pour l'exécution des programmes nationaux, comme dans le cas l'étude Cr(VI).

L'INRS a mis en avant dans ce projet son expertise en biométrie, au côté de ses homologues européens. Ce projet a donné lieu à plusieurs valorisations (publications, communications, webinaires). Enfin, le partenariat européen PARC, lancé en 2022, s'appuiera sur l'expérience et les connaissances acquises et ira au-delà des initiatives du programme HBM4EU.

2022 → 2025

Étude comparée de la cochléotoxicité et vestibulotoxicité périphérique du styrène et des isomères du xylène chez le rat

■ Monique CHALANSONNET

Département toxicologie et biométrie

Il est établi que certains solvants aromatiques, très utilisés dans l'industrie, peuvent engendrer des pertes auditives chez des travailleurs ayant été exposés pendant leur carrière. Les effets de ces solvants sur l'équilibre, bien que suggérés, restent à vérifier. Pour pallier ce besoin, un modèle a été développé à partir d'explants vestibulaires, « les cystes ». Une étude précédente avec ce modèle a mis en évidence la vestibulotoxicité périphérique du styrène, de l'ortho-xylène et de l'éthylbenzène. L'objectif de cette étude est de vérifier si la vestibulotoxicité constatée avec un modèle *in vitro* se confirme par une approche *in vivo* et d'étudier la concordance entre vestibulo- et cochléotoxicité. La toxicité de ces solvants sur les deux récepteurs périphériques sera évaluée par histologie, comptages des cellules ciliées cochléaires et vestibulaires après exposition, et par des mesures fonctionnelles de l'audition (produits de distorsion) et de l'équilibre (nystagmus et tests comportementaux).

2022 → 2029

Partenariat européen pour l'évaluation des risques liés aux substances chimiques (programme PARC/ Commission européenne)

■ Sophie NDAW et Laurent GATÉ

Département toxicologie et biométrie

Le Partenariat pour l'évaluation des risques liés aux substances chimiques s'inscrit dans la continuité de l'initiative européenne de biosurveillance HBM4EU. Il englobe tous les aspects de l'évaluation du risque chimique. L'action de l'INRS portera sur :

- un volet biosurveillance dans lequel de nouvelles données d'exposition professionnelle seront collectées. Par ailleurs, une approche métabolomique pour l'évaluation des polyexpositions sera développée ainsi que des méthodes computationnelles, des modélisations des expositions professionnelles, associées à une gestion de données accessibles et réutilisables ;
- un volet évaluation des dangers dans lequel des tests *in vitro* seront mis en œuvre pour évaluer les éventuels effets génotoxiques, cancérogènes ou perturbateurs endocriniens des substances chimiques.

Le partenariat voit donc le renforcement de la collaboration européenne en santé au travail, collaboration déjà initiée dans HBM4EU. De plus, ce projet permettra à l'INRS de bénéficier d'une plateforme solide de compétences et d'expertises externes pour contribuer à ses missions.

➔ Prévention des risques physiques et mécaniques

L'évolution des technologies, des procédés de fabrication et des méthodes d'industrialisation justifie une mobilisation constante sur la prévention des nuisances physiques et des risques mécaniques. En effet, même si les expositions sont globalement mieux maîtrisées, notamment grâce aux apports issus des études et recherche de l'INRS transposés en actions de normalisation, il est nécessaire de poursuivre le développement de connaissances et de maintenir les capacités d'assistance sur ces sujets. Il s'agit de développer une expertise sur les questions de nuisances physiques (rayonnements, bruit, vibrations), les lieux de travail (éclairage, ambiance thermique...) et les machines (appareils de levage, grues, chariots, dispositifs de détection...).

»» OBJECTIFS GÉNÉRAUX

- Développer des connaissances utiles aux actions de normalisation, à l'accompagnement des dispositions réglementaires, aux dispositifs de formation.
- Accompagner la branche AT/MP 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...).

»» OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

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.**

▶ RAYONNEMENTS OPTIQUES

ÉTUDE
TERMINÉE

2018 → 2022

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

■ Damien BRISSINGER

Département ingénierie des équipements de travail

Exposé des motifs et objectifs

Pour la prévention des risques liés à l'exposition aux rayonnements optiques artificiels, l'INRS met à disposition des préventeurs l'application CatRayon qui compare les valeurs d'exposition à différentes sources aux valeurs limites d'exposition professionnelles. En cas de surexposition, des protecteurs efficaces (écrans, lunettes, ...) sont proposés. Ces filtres optiques sont issus d'une base de données, en partie obsolète, qui limite le choix aux références commerciales connues et mesurées. Pour éviter de se référer à ces données difficiles à mettre à jour, cette étude a cherché à développer un modèle numérique permettant de préconiser des protecteurs génériques à partir des matériaux les constituant.

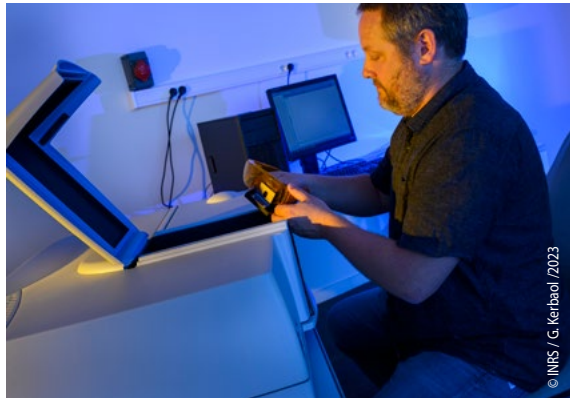
Démarche

L'étude s'est appuyée sur un modèle de calcul des propriétés optiques à partir de l'indice complexe des matériaux. Les matériaux de protection optiques sont généralement composés d'une matrice dopée. Deux axes visant à intégrer l'effet

des dopants au sein de ce modèle, ont été suivis. Le premier axe a consisté à déterminer l'indice complexe des principaux matériaux utilisés pour la conception des filtres optiques. Le second s'est attaché à traduire numériquement l'effet des dopants sur les propriétés optiques, en étudiant l'indice complexe du polycarbonate dopé à différentes concentrations.

Résultats principaux

Les mesures d'indice complexe réalisées confirment et complètent les valeurs partielles d'indice disponibles dans la littérature scientifique. En fonction de l'épaisseur, ces valeurs permettent de modéliser les propriétés optiques avec précision. Les travaux réalisés ont également permis de modéliser fidèlement l'effet des dopants à partir de la modification de l'indice complexe qu'ils induisent. Ces modifications, linéaires en fonction de la concentration, sont localisées dans le spectre d'absorption du matériau : elles permettent donc de rechercher des correspondances avec les zones spectrales pour lesquelles un risque est identifié.



Discussion

Les résultats obtenus ont été intégrés aux réponses formulées lors d'assistances récentes (préconisation du polycarbonate comme protecteur vis-à-vis des UV, recherche d'épaisseur minimale, choix de lunettes avec une coloration spécifique...). Les indices du polycarbonate ont été publiés dans une revue scientifique et la publication des résultats pour la modélisation de l'effet des dopants est également prévue. Ces travaux ont également mis en avant l'importance pour les préventeurs de disposer d'une meilleure connaissance des courbes de transmission des équipements de protection, afin de les adapter aux sources spectralement toujours plus spécifiques.

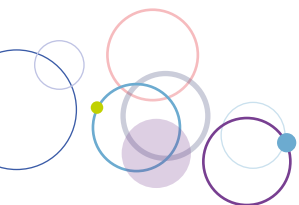
2020 → 2023

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.



▶ BRUIT

ÉTUDE
TERMINÉE

2019 → 2022

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 de Lyon –
Étienne PARIZET***Exposé des motifs et objectifs**

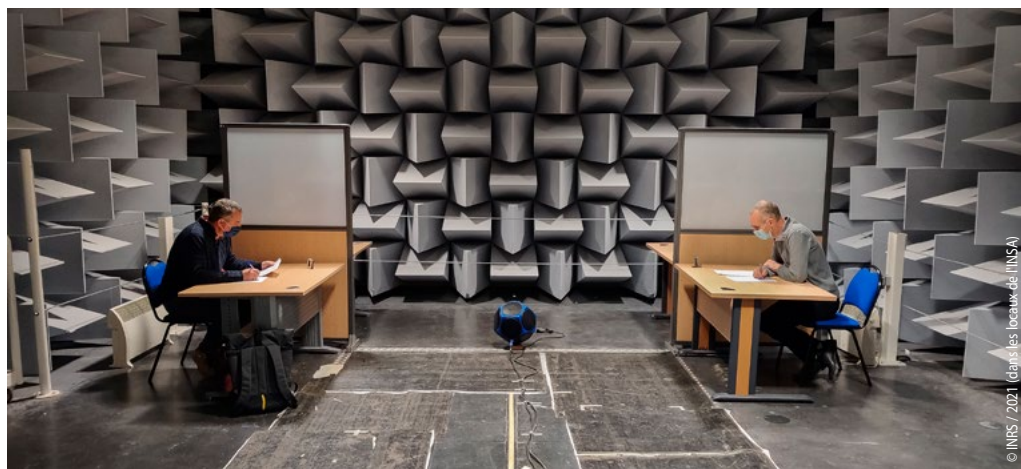
Du fait de l'accroissement du parc de bureaux ouverts, plusieurs normes acoustiques ont été publiées afin d'aider les préventeurs à définir des aménagements des locaux permettant de garantir une bonne qualité acoustique de l'environnement de travail. La norme NF ISO 22955 (2022) porte sur l'évaluation de la qualité acoustique des bureaux ouverts. Elle recommande l'utilisation d'indicateurs acoustiques et précise leurs valeurs cibles en fonction du type d'activité exercée. La norme NF ISO 3382-3 (2021) décrit une méthode de mesurage pour ces indicateurs, basée sur la propagation de la parole dans le local ou sur la mesure de son intelligibilité. L'objectif de cette étude était de contribuer à l'amélioration de ces normes sur deux points précis :

1. la détermination des incertitudes de mesure des indicateurs acoustiques de la norme NF ISO 3382-3. Ce point est déterminant car il permet ou non d'accorder de la confiance aux plages de valeurs recommandées dans la norme NF ISO 22955 ;
2. la recherche de nouvelles valeurs cibles pour un indicateur recommandé récemment dans la norme NF ISO 22995 : l'atténuation poste à poste entre deux zones d'activités différentes. En effet, les valeurs cibles actuellement recommandées dans cette norme sont discutables, en raison du choix de la méthode utilisée pour leur détermination.

Les travaux réalisés dans cette étude s'inscrivaient dans le cadre d'une thèse de doctorat codirigée par l'INSA de Lyon.

Démarche

L'étude des incertitudes des indicateurs acoustiques a été conduite de façon classique en s'appuyant sur les recommandations inscrites dans le Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM) du Bureau international des poids et mesures, qui consistent à appliquer le principe de propagation des erreurs. Celles considérées dans cette étude sont l'erreur de mesure inhérente à l'instrumentation et l'erreur de positionnement de la source et des microphones. Des expressions analytiques ont été établies pour tous les indicateurs de la norme NF ISO 3382-3. La validité de ces expressions a été vérifiée par des simulations numériques réalisées à l'aide du logiciel Rayplus de l'INRS. Concernant l'établissement de valeurs cibles pour l'atténuation poste à poste dans des zones d'activité différentes, une expérience en laboratoire



avec des sujets volontaires a été réalisée. La démarche expérimentale choisie repose sur l'application de la théorie de l'*Irrelevant Speech Effect* (affaiblissement de la mémorisation immédiate dû au bruit) pour évaluer les effets de différents environnements sonores de travail (associés à différentes activités) sur les déterminants de la fatigue cognitive.

Résultats principaux

Les incertitudes calculées pour les indicateurs acoustiques sont faibles : il est donc possible d'accorder une confiance suffisante aux plages de valeurs cibles indiquées dans la norme NF ISO 22955. Les expressions analytiques obtenues pour les incertitudes sont précises et sont suffisamment simples pour pouvoir être proposées dans le cadre d'une prochaine révision de la norme NF ISO 3382-3. L'expérience en laboratoire a permis de montrer que certains déterminants de la fatigue cognitive, comme la gêne sonore ou certaines composantes de la charge mentale de travail, dépendent de l'activité lorsque les conversations sont clairement intelligibles. Elle a aussi permis d'obtenir de nouvelles valeurs cibles en fonction de certaines activités exercées, valeurs qui seront proposées lors d'une prochaine révision de la norme NF ISO 22955.

Discussion

Les résultats des travaux devraient enrichir les normes d'acoustique citées précédemment. Ils ont également été présentés lors de conférences et dans une revue scientifique internationale. Des expériences en laboratoire ainsi que des mesures de terrain doivent encore être réalisées pour étendre les valeurs cibles de l'atténuation poste à poste à l'ensemble des activités de la norme NF ISO 22955.



2018 → 2022

Caractérisation des aides auditives portées par les salariés malentendants dans les locaux de travail bruyants

■ Patrick CHEVRET

Département ingénierie des équipements de travail

■ Thèse de doctorat : Antoine MALRIN

Université de Lorraine - Joël DUCOURNEAU

Exposé des motifs et objectifs

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre l'Université de Lorraine et l'INRS, dont les objectifs étaient à l'origine :

1. d'améliorer les codes de calculs développés dans le cadre d'une étude précédente permettant de modéliser le comportement acoustique des parois complexes, dites à relief ;
2. de mettre au point une méthode expérimentale de caractérisation *in situ* des parois, dans la continuité de travaux précédents ;
3. de développer des méthodes permettant d'évaluer la perception auditive en prenant en compte le local de travail.

Suite à un manque de ressources, il a été décidé de se concentrer sur le troisième axe en se focalisant sur la problématique des personnes malentendantes appareillées qui sont confrontées, au travail, à des situations bruyantes. Quelle est l'efficacité réelle des aides auditives du point de vue de l'intelligibilité ? Quelles conséquences de ces aides sur l'audibilité des alarmes et l'exposition sonore ? Il s'agissait de s'assurer que les personnes malentendantes peuvent percevoir leur environnement sonore de travail de façon à réaliser leurs tâches dans de bonnes conditions et en toute sécurité. Cet axe a fait l'objet d'une thèse de doctorat.

Démarche

Une analyse du fonctionnement des aides auditives a été conduite par le développement d'une méthode basée sur l'estimation non-linéaire des réponses acoustiques des aides. En utilisant cette méthode, la modélisation des réponses des aides auditives a ensuite été réalisée pour deux situations sonores de travail — industrielle, composée de bruits de machines à niveaux sonores élevés et tertiaire composée de bruit de paroles à des niveaux sonores non lésionnels — et trois options de traitements des aides auditives. Ces simulations des aides auditives ont été comparées au fonctionnement réel à l'aide d'expérimentations en chambre sourde, sur des têtes artificielles acoustiques. Enfin, une analyse de l'efficacité des aides auditives du point de vue de l'intelligibilité des signaux de parole, de l'audibilité des alarmes et de l'exposition sonore sur le lieu de travail a été conduite.

Résultats principaux

Concernant l'axe des aides auditives, les résultats montrent, qu'en conditions de travail, elles améliorent généralement l'intelligibilité et la perception des signaux à tonalité marquée. Néanmoins dans certaines situations industrielles, elles peuvent conduire à un dépassement des valeurs limites d'exposition. Par ailleurs, la méthode de caractérisation semble fonctionner pour la plupart des situations de travail simulées et pour toutes les options de traitements, à l'exception de la compression des signaux qui adapte la dynamique de sortie en fonction du niveau d'entrée.



Discussion

L'étude a montré que le choix des options de programmation des aides auditives par les audioprothésistes est déterminant pour la santé et la sécurité du salarié exposé au bruit. Certains programmes qui privilégient l'intelligibilité de la parole peuvent conduire à une surexposition sonore, d'autres à une baisse de l'audibilité des alarmes. Aujourd'hui, les audioprothésistes ne sont pas sensibilisés aux spécificités des environnements de travail et à leurs effets potentiels sur l'audition des salariés. Il conviendrait donc de poursuivre les travaux de caractérisation des aides, en développant un banc de mesures dont les résultats pourraient par exemple contribuer à la mise en œuvre de normes de certification des aides utilisables en milieu professionnel.

ÉTUDE
TERMINÉE

2019 → 2022

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

■ Benoit POUYATOS et Thomas VENET
Département toxicologie et biométrie

■ Thèse de doctorat : Thomas VENET
Université de Lorraine - Pierre CAMPO

Exposé des motifs et objectifs

Les professionnels du secteur de la musique sont fréquemment exposés à des niveaux sonores supérieurs à 100 dB(A). Il n'est donc pas rare que ces salariés souffrent de troubles auditifs qui se traduisent par des pertes auditives, des acouphènes, ou de l'hyperacousie. Étant donné que la fatigue auditive est un marqueur de souffrance de l'oreille interne, son évaluation pourrait permettre d'identifier les situations délétères pour l'audition et de déployer des mesures préventives avant que les déficits ne deviennent permanents. Cependant, en dehors du niveau d'exposition sonore, les facteurs qui favorisent ou limitent la fatigue auditive lors d'une exposition professionnelle sont encore mal connus. L'objectif de cette étude était d'améliorer la prévention des troubles auditifs en identifiant les paramètres d'exposition ainsi que les facteurs individuels qui peuvent influencer la fatigue auditive.

Démarche

Les investigations ont été réalisées en entreprise, avec des volontaires exerçant leur activité dans des conditions habituelles. Le protocole de recherche comportait deux phases principales :

1. l'inclusion des volontaires comportant un questionnaire ;
2. la mesure de l'audition et de l'exposition des volontaires durant une journée.



La fatigue a été quantifiée en mesurant les variations, au cours de la journée de travail, des seuils auditifs par audiométrie tonale et des seuils de déclenchement du réflexe acoustique par Echoscan® (brevet INRS).

Deux groupes ont été constitués : un groupe de 66 volontaires exposés à de la musique amplifiée, essentiellement composé de techniciens son, lumière ou plateau, et un groupe de 34 témoins non exposés.

Résultats principaux

Bien qu'ils soient conscients que leur activité puisse causer un risque pour l'audition, les professionnels du secteur de la musique amplifiée sont mal équipés en protecteurs individuels contre le bruit et, lorsqu'ils en ont, ils les utilisent peu. La prévalence des acouphènes est élevée, notamment parmi les techniciens son lumière ou plateau. La dose de bruit moyenne sur 8 heures reçue par les volontaires qui travaillent dans l'espace de diffusion, qu'ils soient techniciens, chargés de la sécurité ou de missions de service, s'élève à 87dB(A). Elle dépasse la limite réglementaire pour 47% d'entre eux. La fatigue auditive mesurée est de $4,7 \pm 6,6$ dB par audiométrie tonale et $6,7 \pm 3,9$ dB par Echoscan, alors que ces valeurs sont nulles chez les témoins. Le risque auditif est donc avéré pour tous les salariés présents dans l'espace de diffusion de la musique amplifiée, indépendamment du métier. Les résultats obtenus corroborent non seulement le fait que la fatigue auditive est positivement corrélée à l'énergie sonore, mais également que la distribution temporelle de l'énergie a une influence non négligeable. À énergie constante, les niveaux sonores stables tendent à augmenter la fatigue, tandis que l'instabilité des niveaux de bruit tend à la réduire. Les performances auditives au repos sont également corrélées à la fatigue auditive. Les personnes ayant une perte auditive préexistante dans les moyennes ou hautes fréquences avaient une fatigue plus importante mesurée par Echoscan.

Discussion

L'aménagement de pauses régulières en zone calme, inférieure à 70 dB(A), permettrait de réduire l'accumulation de fatigue auditive au cours de la journée et diminuerait le risque de troubles auditifs. Ces seules actions ne seront pas suffisantes pour supprimer le risque. Une promotion des actions de prévention collectives et individuelles doit être déployée dans le secteur de la musique, notamment auprès des employeurs.

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 sont 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 avec des sujets normoentendants permettra d'évaluer le jugement de l'audibilité d'alarmes dans le bruit.

2022 → 2026

De la fatigue auditive aux troubles de l'audition ? Une étude translationnelle sur l'exposition quotidienne au bruit (projet FATIGAUDIT / ANR)

■ Benoît POUYATOS et Thomas VENET

Département toxicologie et biométrie

Une exposition sonore journalière même inférieure à la limite réglementaire (87 dB(A)) entraîne une fatigue auditive, un phénomène peu étudié car jugé bénin et réversible. Pourtant, répétée quotidiennement, cette fatigue peut conduire à des troubles auditifs permanents. L'objectif de ce projet, financé par l'ANR, est de mieux comprendre et diagnostiquer la fatigue auditive afin de la prévenir. Quatre phases sont prévues : décrypter les mécanismes de la fatigue chez le rongeur ; évaluer l'impact de la fatigue auditive sur les performances auditives des rongeurs et chez l'être humain ; proposer de nouveaux outils de diagnostic de la fatigue auditive auprès de volontaires en clinique et en entreprise ; tester des stratégies de prévention en milieu professionnel (répartition et temps de pause...). L'INRS s'attachera également à mesurer la cinétique de récupération de la fatigue auditive. Les résultats permettront de définir une méthodologie pour améliorer le diagnostic de la fatigue auditive et de proposer des stratégies pour la réduire.

2023 → 2026

Bruit en très hautes fréquences et ultrasons basses fréquences : niveaux d'exposition, évaluation des symptômes et limites recommandées

■ Jonathan TERROIR

Département ingénierie des équipements de travail

De nombreux secteurs d'activité sont concernés par les expositions au bruit en très hautes fréquences (supérieures à 8 kHz). Il est nécessaire de mieux connaître les situations d'exposition et de développer, dans cette étude, une méthode pour évaluer les niveaux réels d'émission des machines et s'assurer de l'innocuité des expositions. Des mesures seront réalisées en entreprise. Une méthode basée sur des outils de mesures objectives ou de collecte de données subjectives (revue de la littérature) sera ensuite développée afin de mettre en évidence la présence ou l'absence de symptômes auditifs. Cette méthode sera déployée et pourra donner lieu à la mise à jour de recommandations dans les normes ou documents dédiés à la prévention.

2023 → 2025

Développement d'un banc d'essai pour l'évaluation des protecteurs auditifs avec électronique : caractérisation objective de l'intelligibilité de la parole

■ Jean-Pierre ARZ et Julien MARCHAND

Département ingénierie des équipements de travail

Cette étude a pour objectif de développer un banc d'essai pour la caractérisation de l'intelligibilité de la parole sous des protecteurs équipés de dispositifs électroniques. Ce banc sera composé d'une bouche artificielle (émettant des signaux de parole) et d'une tête acoustique (équipée d'un protecteur, et recevant la parole émise et le bruit ambiant). Le banc développé permettra d'évaluer de manière objective l'intelligibilité de conversations sous le protecteur et dans divers environnements bruyants. Des essais seront effectués sur différents types de protecteurs électroniques, avec plusieurs réglages et différentes situations de travail (salariés dans le même atelier ou salariés situés dans deux environnements sonores distincts). Les résultats permettront de guider les préventeurs dans le choix des technologies les plus adaptées aux situations de travail bruyantes.

► VIBRATIONS

2021 → 2024

Modélisation du comportement vibratoire de la main : influence des forces de poussée/préhension et réponse aux ultravibrations

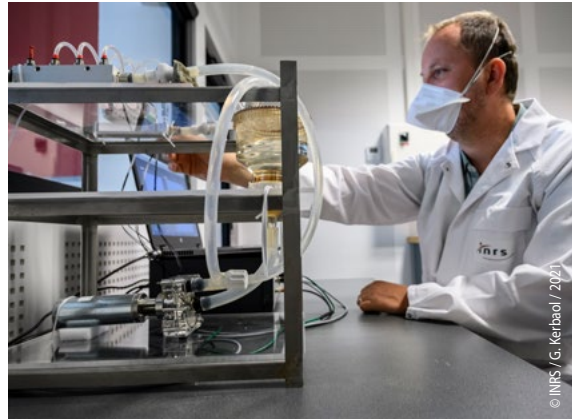
■ Christophe NOËL

Département ingénierie des équipements de travail

Les forces de préhension et de poussée que doit exercer l'opérateur sur une machine portable pour réaliser sa tâche, ont une influence sur la quantité de vibrations transmises à la main. Or, ces forces ne sont pas aujourd'hui prises en compte dans la dose réglementaire d'exposition journalière aux vibrations. Il en est de même pour les effets sanitaires des vibrations hautes fréquences et des chocs, générés par exemple par les burineurs. Les objectifs de cette étude sont, d'une part de comprendre et quantifier l'influence des efforts de préhension et de poussée sur la propagation des vibrations dans la main, et d'autre part de mieux connaître l'effet des vibrations hautes fréquences et des chocs. Ces connaissances seront diffusées à la normalisation et pourraient servir de base à la conception de poignées de machines transférant moins de vibrations à la main.

■ Thèse de doctorat : Simon VAUTHIER

Institut FEMTO-ST - Emmanuelle JACQUET



© INRS / G. Kerbaol / 2021

► CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

2020 → 2023

Compatibilité électromagnétique des dispositifs médicaux implantables actifs au poste de travail

■ Gérard FLEURY et Lucien HAMMEN

Département ingénierie des équipements de travail

L'objectif de cette étude est l'amélioration des 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.

■ Thèse de doctorat : Lucien HAMMEN

Centrale Supélec GEEPS - Lionel PICHON



© INRS / G. Kerbaol / 2021

2022 → 2026

Évaluation du champ induit à l'intérieur du corps humain exposé à un champ magnétique basses fréquences

■ Baptiste RISTAGNO

Département ingénierie des équipements de travail

Afin d'améliorer les estimations du risque d'exposition à des champs magnétiques, l'objectif de cette étude est de développer de nouveaux modèles d'induction électromagnétique, plus représentatifs des réponses du corps humain. Deux approches, numérique et expérimentale, seront conduites en parallèle. Les expériences consisteront à soumettre des mannequins en gel à des champs magnétiques basses fréquences, de manière à reproduire les distributions de champ électrique induites dans le corps humain et à en mesurer les niveaux. Pour rendre compte de la diversité des expositions réelles rencontrées en entreprise, différentes sources de champ, différentes morphologies et postures humaines seront considérées. Les travaux pourront être valorisés d'un point de vue méthodologique en normalisation et conduiront à un outil numérique d'aide à l'évaluation de ce risque à destination des préventeurs.

▶ ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL – MACHINES DANGEREUSES

ÉTUDE
TERMINÉE

2018 → 2022

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

■ Jean-Christophe BLAISE et Adriana SAVESCU

Département ingénierie des équipements de travail

Exposé des motifs et objectifs

Les systèmes de production connectés et reconfigurables suscitent des questions quant à l'intégration de la prévention des risques professionnels lors de leur conception. Le premier thème de l'étude était articulé autour de quatre axes relatifs à la sécurisation de ces systèmes dits flexibles : l'étude de l'adéquation des outils et méthodes de conception existant, l'évaluation du niveau de confiance de la validation numérique d'un tel système, l'identification des points de vigilance lors de l'intégration de robots collaboratifs et l'étude de l'impact de ces nouvelles technologies sur l'activité des opérateurs. Le second thème a instruit les enjeux pour la prévention des risques face à la digitalisation des systèmes de production.

Démarche

Pour le premier thème, les quatre axes se sont articulés autour d'un même cas d'application : l'étude et la réalisation en laboratoire d'un îlot de production composé d'un robot dit collaboratif car possédant une fonction de limitation de puissance et d'efforts qui permet une proximité immédiate avec les opérateurs. Ce même objet technique permet la confrontation des attentes et contraintes des différents axes : concevoir, simuler, intégrer un robot collaboratif et réaliser un terrain d'expérimentation.

Du fait du caractère prospectif du second thème (« digitalisation »), la démarche a consisté en un état de l'art à travers une bibliographie sur le sujet proprement dit, une bibliographie sur les liens avec la prévention des risques professionnels et la participation à des journées techniques et à des groupes de travail.

Résultats principaux

Le premier thème a montré les limites des méthodes de conception dans la prise en compte de la flexibilité, et donc de la prévention des risques associée. Une nouvelle méthode basée sur « l'ingénierie système » a été proposée. Les logiciels de simulation ne permettent pas, à ce jour, de caractériser les paramètres dynamiques d'un robot impliquant un biais important entre la simulation et la réalité. La fonction de limitation de puissance et d'efforts proposée sur les robots s'est avérée complexe à mettre en œuvre lors de la réalisation de l'îlot. Enfin, les retours d'expérience terrain et en laboratoire,

ont montré que l'organisation de l'entreprise joue un rôle central dans l'acceptation des robots, alors que l'utilité de collaboration reste peu perçue par les opérateurs du fait des faibles vitesses du robot. Le second thème a principalement mis en avant les liens entre la cybersécurité et les risques professionnels en ce qui concerne les systèmes de production et pas uniquement pour les systèmes informatiques.

Discussion

L'ensemble de l'étude a montré l'importance d'une démarche d'intégration d'un robot collaboratif au sein d'un système de production. L'identification et l'analyse du besoin jusqu'à la réalisation pratique (et virtuelle) de l'application sont plus que jamais nécessaires. Les différents résultats amènent à continuer les études concernant l'intégration sûre de robot collaboratif et les liens entre la cybersécurité et l'évaluation des risques professionnels. Les résultats ont été diffusés, à travers différentes communications scientifiques mais également à destination des préventeurs. Un module de formation à destination de l'enseignement supérieur est en cours de développement.



2021 → 2024

Arrimage des charges dans le transport routier de marchandises : état des lieux et méthodologie pour une meilleure prévention (projet partiellement financé par l'ONISR / Observatoire national interministériel de la sécurité routière)

■ Jérôme REBELLE

Département ingénierie des équipements de travail

Avec près de 1 800 millions de tonnes de fret transportées en France en 2018, la route reste le moyen privilégié pour acheminer des biens. Une norme définit le dimensionnement des arrimages pour aider les transporteurs à déployer des moyens pour sécuriser leur chargement. Pourtant, environ 2 500 accidents sont liés à un défaut d'arrimage chaque année. Cette étude a pour objectif de dresser un état des lieux actualisé sur les accidents et d'observer les pratiques liées à l'arrimage, avant de proposer une méthodologie permettant de progresser sur la prévention de ces risques. Les situations d'arrimage identifiées sur le terrain permettront de définir des configurations typiques non conformes qui seront simulées numériquement ou lors d'essais. Par ailleurs, l'effet des vibrations verticales sur le coefficient de frottement, la prise en compte de matières non rigides et non symétriques, et enfin, l'effet de la souplesse des dispositifs d'arrimage sur la sécurité du chargement seront également étudiés.

2020 → 2023

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 pourrait induire, pour les opérateurs, l'intégration de l'intelligence artificielle dans les machines automatisées ? Cette étude se concentre sur les risques d'ordre mécanique mais aborde 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.

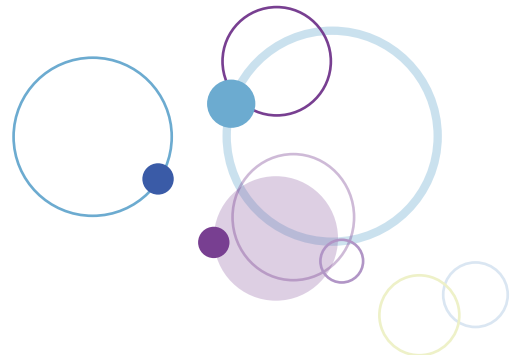
2021 → 2023

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.



2023 → 2026

Intégration sûre d'application robotique collaborative : apports de la réalité virtuelle et de la simulation dynamique

■ Gabin PERSONENI, Jonathan SAVIN, David TIHAY et Adel SGHAIER

Département ingénierie des équipements de travail

L'objectif de cette étude est d'évaluer la pertinence de la réalité virtuelle (RV) et de la simulation numérique pour l'intégration sûre de robots collaboratifs, et de proposer une méthode d'aide à la conception sûre, complémentaire aux outils de simulation. Elle comportera trois axes :

- validation de l'outil de RV dans le cas d'une collaboration homme-robot, grâce à une approche expérimentale dans une cellule collaborative virtuelle et dans la cellule réelle ;
- élaboration d'un modèle dynamique de robot collaboratif permettant, dès les étapes de conception, de choisir et positionner les dispositifs de sécurité. L'objectif est de réduire les risques de collision en tenant compte des incertitudes sur les caractéristiques mécaniques du robot ;
- création d'une méthode d'aide pour l'intégrateur au travers des étapes d'une démarche itérative de réduction des risques et de mise en œuvre des moyens de prévention.

2023 → 2026

Quel apport d'une analyse de risques cyber pour les machines à l'évaluation des risques professionnels ?

■ Pascal LAMY

Département ingénierie des équipements de travail

L'objet de cette étude exploratoire est d'analyser le potentiel d'une méthode d'analyse de risques cyber en vue de rechercher les possibles implications pour l'évaluation des risques professionnels (EvRP) en direction des entreprises utilisant des machines connectées. Elle vise à proposer une démarche opérationnelle pour les entreprises utilisatrices, leur permettant de prendre en compte les impacts du risque cyber sur les risques professionnels.

► CHUTES

2020 → 2024

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'agit 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.

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

L'organisation du travail 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. Les contextes économiques, technologiques et sociaux génèrent une grande diversité d'organisations au sein des entreprises. Ces évolutions du monde du travail nécessitent un programme ambitieux qui s'oriente vers l'analyse et le suivi des risques existants et vers une observation approfondie des tendances organisationnelles à l'œuvre, avec un investissement important sur les leviers de prévention que sont les acteurs, les pratiques et les dispositifs.

»» OBJECTIFS GÉNÉRAUX

- Prendre en compte les évolutions et les vecteurs de mutations des organisations du travail (essor des nouvelles technologies, digitalisation du travail, impact du développement durable sur les conditions de travail...).
- Évaluer les pratiques organisationnelles des entreprises en matière d'horaires et de rythme de travail, de modes et d'outils de production, de configuration des lieux de travail, qui constituent des sources potentielles d'effets sur la santé et sécurité des travailleurs (troubles musculosquelettiques, risques psychosociaux, pratiques addictives, risques d'accidents...).
- Analyser les conséquences des transformations du monde du travail sur les collectifs, leur cohésion, les modes de management, que la pandémie a en partie amplifiées (télétravail, aspirations à un équilibre vie professionnelle / vie personnelle), en agissant à différentes échelles (organisation de l'entreprises, organisation du travail, organisation de la prévention).

»» OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

Les enjeux liés à l'organisation et aux situations de travail seront poursuivis *via* la réalisation d'études et de recherche pour **consolider et transférer les connaissances auprès des entreprises.**

▶ ACCIDENTS



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

Exposé des motifs et objectifs

Bien que les conditions de travail évoluent, les expositions aux facteurs physiques, psychosociaux et organisationnels sont toujours présentes et l'identification des facteurs associés à la survenue d'accidents du travail (AT) reste pertinente.

Cette étude avait pour objectif d'enrichir les connaissances sur les effets des facteurs psychosociaux (FPS) et organisationnels ainsi que ceux de la multi-exposition entre facteurs de risque professionnels sur la survenue d'AT, effets jusqu'alors rarement étudiés dans une perspective longitudinale.

Démarche

L'analyse des données de deux enquêtes longitudinales a permis l'identification des facteurs psychosociaux et des facteurs physiques qui déterminaient la survenue d'AT, ainsi que la caractérisation des effets conjoints de la multi-exposition aux FPS et aux facteurs physiques sur la survenue d'AT :

1. enquête « Santé Itinéraire Professionnel » (SIP) : 6 842 travailleurs tous secteurs d'activité confondu suivis entre 2006 et 2010 ;
2. enquête « Conditions de travail » (CT) volet individus appariée aux données de sinistralité de la Cnam : 17 831 travailleurs suivis entre 2013 et 2016, par secteur d'activité.

L'analyse des données du volet employeur de l'enquête CT de 2016 a permis l'identification des facteurs organisationnels associés aux taux de fréquence d'AT. Les variables organisationnelles ont été définies sur la base des réponses de 11 681 employeurs.

Résultats principaux

À partir de l'enquête SIP, les résultats ont montré qu'une forte demande émotionnelle, une quantité de travail excessive, des horaires irréguliers et imprévisibles, un déséquilibre travail-famille et des conflits de valeurs étaient significativement associés à la survenue d'AT. Le taux d'AT prédit était le plus élevé chez les travailleurs ayant simultanément une forte exposition aux facteurs de risque physiques et psychosociaux. Plus le niveau d'exposition physique augmentait, plus la différence des taux d'AT prédits entre les travailleurs faiblement et fortement exposés aux FPS augmentait de façon non significative.

Dans l'enquête CT, les résultats issus du volet individus ont montré que les AT étaient fortement liés à la fois aux facteurs physiques et psychosociaux chez les travailleurs de l'aide et soin. Les facteurs physiques et FPS se potentialisaient et cette multi-exposition augmentait significativement le risque d'AT. De plus, les analyses ont également permis d'identifier un ensemble de facteurs organisationnels associés aux taux d'AT les plus élevés comme le manque de prévisibilité et de souplesse des horaires, les heures supplémentaires, les horaires contrôlés, le déséquilibre travail-famille et des mesures de prévention insuffisantes. Par ailleurs, dans les autres secteurs, la potentialisation des expositions physiques et psychosociales sur la survenue d'AT ne semblait effective qu'en cas de forte exposition aux facteurs physiques.

Dans l'enquête CT volet employeur, les résultats ont montré des différences selon le secteur d'activité et la taille d'établissement. Certains facteurs organisationnels étaient associés à des taux d'AT moins élevés (exemple : implication des salariés dans les décisions liées à l'organisation du travail), d'autres à des taux plus élevés (exemple : existence d'entretiens annuels d'évaluation) et d'autres à des taux de fréquence d'AT plus ou moins élevés selon la taille ou le secteur (ex : mesures individuelles de prévention psychosociale).

Discussion

Les travaux réalisés dans le cadre de cette étude ont permis d'avoir une connaissance plus fine des déterminants des AT par la considération de différentes définitions d'AT, de différentes temporalités et de différents points de vue. Les résultats ont permis de confirmer le rôle important des déterminants physiques mais aussi psychosociaux sur le risque d'AT. De plus, les effets des multi-expositions entre facteurs physiques et facteurs psychosociaux sur les AT ont pu être documentés. Les résultats de cette étude ouvrent de nouvelles pistes de réflexion sur les mesures de prévention à adopter afin de réduire le risque d'AT dans le secteur de l'aide et du soin en particulier. Ils ont fait l'objet d'une thèse de doctorat en « épidémiologie, analyse du risque, recherche clinique », de trois publications scientifiques et de trois communications dans des congrès. Des articles à destination des préventeurs sont également prévus.



► CONCEPTION DES LIEUX ET DES SITUATIONS DE TRAVAIL

**ÉTUDE
TERMINÉE**

2019 → 2022

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

Exposé des motifs et objectifs

Une implantation inadaptée des espaces de travail par rapport aux besoins de l'activité fait souvent apparaître des facteurs de risque difficilement modifiables par la suite : distances importantes à parcourir par les opérateurs, croisements dangereux de flux, espaces insuffisants pour l'accessibilité, etc. Les choix d'implantation des machines, stocks, circulations... déterminent donc fortement la sécurité future d'un atelier. Les méthodes d'implantation utilisées couramment se basent principalement sur des critères techniques et économiques. D'autres critères relatifs à l'activité de travail pourraient être pris en compte comme les besoins et les contraintes des opérateurs. L'objectif de cette étude était donc d'élaborer une méthode d'implantation permettant de positionner les équipements et les postes de travail en fonction des besoins d'une activité (accès, circulation, manutention...).

Démarche

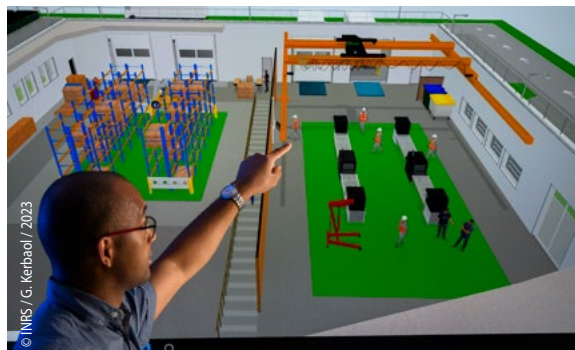
En complément des critères techniques et économiques, des critères liés aux besoins des activités ont ainsi été étudiés comme le positionnement et de dimensionnement des espaces de travail. Une analyse critique des méthodes d'implantation utilisées dans la pratique a été réalisée vis-à-vis de leur capacité à intégrer ces critères. L'étude s'est appuyée sur les méthodes d'implantation issues de l'ingénierie de production. Plusieurs étapes d'une démarche d'implantation intégrant des critères liés à l'activité ont ensuite été définies. Deux projets de déménagement d'entreprise ont été utilisés pour évaluer l'applicabilité de la démarche : une usine de montage de vélo et un atelier de menuiserie. Par ailleurs, une prospective sur l'intérêt et les limites des outils numériques BIM (modélisation des informations du bâtiment) a été réalisée en lien avec l'étude.

Résultats principaux

Ce travail éclaire les principaux critères d'activité à considérer dans une étude d'implantation. Il montre l'intérêt et les limites des méthodes d'implantation couramment utilisées et comment elles pourraient être améliorées en intégrant ces critères. La démarche d'implantation proposée aide à définir la position relative des espaces et des postes de travail à travers leurs liens fonctionnels (niveau de proximité et caractéristiques des flux). L'étape de dimensionnement estime les besoins en surface d'un ou plusieurs postes de travail en tenant compte des espaces fonctionnels (accès des personnes et des équipements de manutention). Des indicateurs pour évaluer une solution d'implantation sont proposés. L'étude prospective sur les outils BIM a montré la faisabilité d'enrichir les informations liées aux espaces définis dans un programme contenant des exigences d'usage d'un bâtiment.

Discussion

La démarche d'implantation proposée utilise l'approche ergonomique en s'appuyant sur l'analyse du travail pour décrire l'activité en termes de flux et de processus. Son applicabilité a été testée sur des projets de déménagement de bâtiments industriels. Cette applicabilité reste à vérifier pour d'autres d'activités comme celles du secteur tertiaire. Certains critères liés à l'activité et permettant d'optimiser l'implantation des espaces de travail ont été intégrés dans les modules de définition des flux et des zones d'activités, associés à l'outil de conception Mavimplant, proposé par l'INRS. La mise à jour d'une brochure de l'INRS portant sur la conception de l'organisation des circulations et des flux dans l'entreprise est en cours.





2021 → 2022

Typologie des bureaux ouverts en vue d'étudier les liens entre les facteurs physiques et la santé des salariés (instruction)

■ Laurent BROCOLINI

Département ingénierie des équipements de travail

Exposé des motifs et objectifs

Les bureaux ouverts sont très fréquents dans le secteur tertiaire. Si le bruit, notamment la parole intelligible, apparaît comme la source de gêne prépondérante dans ces bureaux, d'autres nuisances existent. Parmi elles, celles liées à la qualité de l'air intérieur (QAI), l'acoustique, l'éclairage et le confort thermique. Tous ces facteurs sont susceptibles de nuire au confort et à la santé des salariés. De plus, dans le but de réduire les niveaux sonores et contrôler la gêne liée à l'intelligibilité des conversations dans les bureaux, une solution efficace et très utilisée consiste à installer des panneaux ou des cloisonnettes absorbantes. Toutefois ces solutions pourraient elles-mêmes contribuer à dégrader la QAI ou la qualité de l'éclairage. L'objectif de cette étude d'instruction était de produire un état des connaissances sur l'importance relative des facteurs physiques, potentiellement sources de gêne dans les bureaux ouverts et sur leur interaction. A terme, il s'agissait de construire un programme de travail dont l'objectif serait de donner des préconisations pour la conception de ces locaux de travail, afin de préserver le confort, la santé et la sécurité des salariés.

Démarche

Pour conduire cette instruction, trois axes de travail ont été menés :

1. dresser une typologie des bureaux ouverts au regard des mutations opérées (*flex-office, co-working, etc.*) en s'appuyant essentiellement sur une étude bibliographique ;
2. recueillir des informations globales sur les facteurs physiques de gêne, d'une part en collectant auprès des Carsat des mesurages physiques dans les bureaux ouverts et d'autre part en questionnant des professionnels de santé (médecins et infirmiers au travail) sur les effets supposés des facteurs physiques sur la santé ;
3. évaluer les risques de dégradation de la qualité de l'éclairage ou de la qualité de l'air dus à la mise en place de solutions acoustiques telles que des cloisonnettes, en réalisant des mesurages sur le terrain et en menant une étude en laboratoire sur l'émissivité de composés volatils des matériaux acoustiques couramment utilisés.

Résultats principaux

L'étude a mis en évidence que la surface allouée à chaque salarié est un point clé et devra être une question traitée dans le futur. De plus, les retours du terrain montrent que le bruit reste l'un des premiers, si ce n'est le premier, facteur d'insatisfaction dans les bureaux. Concernant les autres facteurs physiques, la QAI ne semble pas être un problème majeur dans les bureaux ouverts : d'une part, les solutions aux problèmes de ventilation et de débit d'air sont connues, d'autre part, les risques liés à l'émissivité en polluants volatils des matériaux acoustiques courants sont faibles. Enfin, concernant l'ergonomie visuelle, l'étude a montré que la question de la visibilité sur l'espace de travail global et sur l'extérieur est un sujet de préoccupation qui nécessite d'être approfondi, notamment au regard de l'effet des solutions acoustique modifiant à la fois l'acoustique et le champ de vision.

Discussion

Cette étude d'instruction permet de répondre à plusieurs questions. La typologie des bureaux reste dynamique et changeante, il est nécessaire de maintenir une veille sur ce sujet. La hiérarchisation des différentes nuisances montre qu'il faudra continuer à travailler sur le bruit, en se focalisant sur la question de la surface par occupant, et en s'appuyant sur les indicateurs acoustiques des normes. Enfin la recherche de solutions qui optimisent à la fois l'ambiance acoustique et l'ergonomie visuelle sera également investiguée dans le futur.



2022 → 2024

Intégration d'exigences d'exploitation-maintenance et en matière de santé sécurité au travail pour la conception sûre des locaux de travail en BIM

■ Mahenina Remiel FENO

Département ingénierie des équipements de travail

■ Thèse de doctorat : Ferial MOALLA

*École d'architecture de Nancy- Gilles HALIN et
Tommy MESSAOUDI*

L'émergence d'outils numériques liés au BIM (modélisation des informations du bâtiment) a mis en lumière des opportunités pour intégrer efficacement les exigences de santé et de sécurité dès la conception d'un bâtiment recevant des travailleurs. L'objectif de cette étude est d'aider à mettre en œuvre cette démarche. Il s'agit plus particulièrement de proposer un modèle pour formaliser les exigences d'exploitation issues de l'analyse des usages. Le travail comprendra une étude bibliographique, une modélisation des exigences d'exploitation et une étude expérimentale pour démontrer à travers des cas d'usage du BIM l'utilisation de ce modèle. L'analyse des résultats de ces expérimentations permettra d'évaluer la démarche. Le résultat attendu consiste en un modèle de données des exigences de sécurité et des scénarios de conception associés.

► ORGANISATION DE LA PRÉVENTION ET PERCEPTION DU RISQUE

ÉTUDE
TERMINÉE

2018 → 2022

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

Exposé des motifs et objectifs

La prévention des risques professionnels est susceptible de contribuer à la performance économique des entreprises, puisque les sinistres atténuent la capacité productive des salariés et engendrent des coûts financiers pour l'entreprise. L'objectif de l'étude était de proposer une évaluation statistique du lien entre sinistralité et performance économique des entreprises. L'évaluation a été menée sur trois niveaux d'analyse, l'une à partir de données individuelles de près de 2 millions d'entreprise, la deuxième au niveau des secteurs français, et la troisième sur des données agrégées de secteurs de 26 pays européens.

Démarche

Les techniques économétriques sont mobilisées. Un modèle reliant un indicateur de performance économique Y est construit en mobilisant les facteurs de production traditionnellement utilisés en micro-économie (le capital K et le travail L). Ce modèle est enrichi en considérant l'état de santé des salariés comme un élément explicatif, additionnel de la performance des entreprises. Ainsi, le niveau de sinistralité des entreprises est introduit comme l'une des variables explicatives de la performance. Le modèle de performance économique de l'entreprise élaboré statistiquement est évalué sur trois niveaux de données : les données sectorielles européennes issues d'Eurostat, les données sectorielles françaises, et des données portant sur 1,977 million d'entreprises françaises, à partir de l'exploitation des bases Insee et Cnam.

Résultats principaux

Sinistralité et performance sont négativement et significativement liées. Une augmentation de 10 % de la fréquence des accidents du travail (AT) diminue la productivité de 0,12 % et le profit de 0,11 %. Si la question du sens de causalité a pu se poser (des entreprises performantes disposent de fonds plus importants et peuvent ainsi investir en prévention pour réduire la sinistralité), l'approche longitudinale et les analyses de robustesse montrent que le lien causal entre sinistralité

et performance est avéré, significatif et négatif. Des tests complémentaires sur les entreprises de plus de 150 salariés montrent que leur profit est affecté sur plusieurs années en raison des modalités de tarification des AT-MP, « au réel » pour les entreprises de cette taille. Le modèle économétrique, appliqué sur des données sectorielles à l'échelle européenne ainsi que française, conforte ces résultats.

Discussion



Quel que soit le niveau d'analyse ou la variable de performance économique retenus, la sinistralité est systématiquement associée à une baisse de la performance économique des entreprises l'année considérée et également les années suivantes.

Par ailleurs pour les entreprises de plus de 150 salariés, la vérification que le système de tarification renforce l'impact de la sinistralité sur leur performance est un élément en faveur de la tarification au taux réel : une réduction de leur sinistralité impactera positivement l'excédent brut d'exploitation, donc leur rentabilité à venir.

Tous ces éléments constituent, au-delà les obligations réglementaires et sociales, des arguments complémentaires en faveur de la prévention.

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

■ Thèse de doctorat : Marie TEYSSIER

IRISSO, Université Paris Dauphine - Arnaud MIAS

L'objectif de ce projet est l'analyse de la manière 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 leurs 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.

2022 → 2025

Pratiques de terrain des préventeurs d'entreprise en matière d'analyse qualitative des accidents du travail

■ Julie DREANO

Département homme au travail

Dans un monde du travail en transformation continue, où cohabitent des risques anciens et émergents, il apparaît nécessaire d'éclairer les enjeux actuels perçus par les préventeurs vis-à-vis des accidents du travail (AT), de rendre compte de la réalité de leurs pratiques en matière d'analyse qualitative des AT, et de mettre en évidence l'utilisation qu'ils font des outils et des méthodes mis à leur disposition. L'étude s'articulera en deux étapes :

- le recueil de données *via* un questionnaire en ligne pour dresser un panorama des pratiques des préventeurs en matière d'analyse qualitative des AT et de mise à jour de l'évaluation des risques professionnels ;
- une enquête sur le terrain auprès de préventeurs et employeurs d'entreprises entre 50 et 500 salariés, dans trois domaines d'activités différents (bâtiment, activités industrielles, et de services).

Les conclusions contribueront à caractériser les besoins des professionnels en entreprise de façon à adapter si besoin les moyens de prévention.

2023 → 2028

Évaluation de l'impact de la mise en œuvre des compétences « Accompagnement de la mobilité de la personne aidée » sur la survenue d'accidents du travail liés à la manutention de personnes

■ Stéphanie BOINI-HERRMANN, Régis COLIN et Michel GRZEBYK

Département épidémiologie en entreprise

Le secteur de l'aide et du soin à la personne est un secteur où les indices et taux de fréquence d'accidents sont parmi les plus élevés du régime général de la Sécurité sociale. Cette étude a pour objectif de mesurer l'impact sur la sinistralité de la mise en œuvre des compétences « accompagnement de la mobilité de la personne aidée » (ALM) par les salariés aidants, dans leur pratique professionnelle.

Des établissements avec hébergement médicalisé pour personnes âgées dépendantes (Ehpad) volontaires seront suivis sur une durée de six ans, avec un point annuel et semestriel pour les salariés participants.

► PRÉVENTION DE LA DÉSINSERTION PROFESSIONNELLE

2018 → 2023

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 et 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 prévention et de santé au travail et les RH à la détection des risques de sortie prématurée du travail, tenant également compte des particularités de genre.

2022 → 2025

Consolidation des liens entre les expositions physiques et psychosociales, avec les capacités fonctionnelles physiques et la santé perçue dans le secteur du BTP

■ Emmanuelle TURPIN-LEGENDE et Clarisse GAUDEZ

Département homme au travail

Une première étude dans le secteur du BTP avait mis en évidence des associations entre les contraintes physiques et psychosociales rencontrées au cours du parcours professionnel, les capacités fonctionnelles physiques (CFP) et la santé perçue des salariés. Cette étude a pour objectif d'observer la persistance des associations précédemment obtenues. Les résultats permettront de vérifier le caractère prédictif des CFP et de la santé perçue, en étudiant notamment l'impact des contraintes sur leur évolution. Il s'agira de proposer aux services de prévention et de santé au travail du BTP des tests de CFP et des questionnaires permettant de suivre l'évolution de la santé des salariés et d'identifier les situations à risque, en vue de les prévenir par des actions de prévention primaires ciblées.

ÉTUDE
TERMINÉE

► TROUBLES MUSCULOSQUELETTIQUES (TMS)

2018 → 2022

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

■ Aude CUNY et Kévin DESBROSSES

Département homme au travail

■ Thèse de doctorat : Clara SCHOOSE

Université de Grenoble - Sandrine CAROLY

■ Adriana SAVESCU

Département ingénierie des équipements de travail

Objectifs

Compte tenu du coût humain, social et économique des troubles musculosquelettiques (TMS), leur prévention représente un enjeu majeur en santé au travail, tant au niveau européen que national. Dans un contexte d'évolution technologique forte, la solution robotique collaborative mise en avant par l'Industrie 4.0, peut alors apparaître comme une possibilité de réduction des sollicitations biomécaniques des opérateurs.

Les objectifs de cette étude étaient partagés en deux axes complémentaires portant sur :

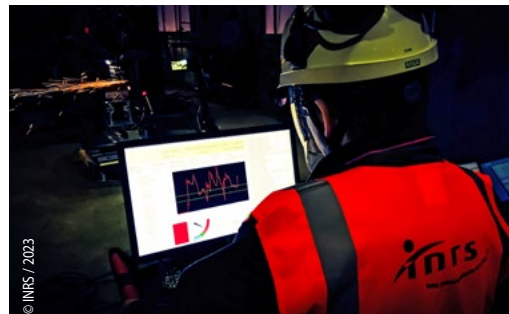
1. l'analyse des sollicitations biomécaniques des utilisateurs des robots d'assistance physique sans contention manipulés (RAPsc-M, communément appelé cobot) en situation contrôlée ;
2. les conséquences de l'usage du RAPsc-M sur les gestes professionnels en situation réelle de travail.

Démarche

L'étude a été conduite dans une entreprise du secteur de la métallurgie possédant un RAPsc-M porte-outil (meuleuse). Sept salariés de l'entreprise qui réalisaient des opérations d'ébarbage ont été sollicités pour prendre part à cette étude, sur la base du volontariat. Suite à la présentation de l'étude, cinq ébarbeurs ont accepté de participer. Ainsi, dans le cadre d'un premier axe de travail, les analyses se sont basées sur un recueil de l'activité électrique de différents muscles (électromyographie de surface) et sur l'estimation des angles articulaires des membres supérieurs (capteurs inertiels), lors des opérations de meulage en situation contrôlée. Dans une configuration proche de la situation réelle de travail, différents paramètres (force exercée, direction des mouvements) ont été analysés, lors des tâches réalisées avec une meuleuse traditionnelle et lors de l'usage d'un RAPsc-M. Le second axe de travail consistait en une analyse ergonomique des gestes professionnels lors d'opérations de meulage réalisées en situation réelle. Un modèle prenant en compte différentes dimensions du geste (biomécanique, cognitive, psychosociale) et leurs articulations entre elles a été élaboré.

Résultats principaux

Il a été montré que l'usage du RAPsc-M a une influence significative sur la majorité des angles articulaires. De même, une réduction de l'activité des muscles a été observée, sauf pour ceux du dos. De manière globale, cette diminution des efforts a été exprimée également par les ébarbeurs en situation réelle de travail. Toutefois, l'analyse des différentes dimensions du geste a mis en évidence l'émergence de nouveaux types d'effort impliquant une charge cognitive plus importante.



De même, en articulant différentes composantes de la dimension psychosociale, l'étude a mis en évidence des situations d'empêchement, une réduction de la qualité perçue ou, parfois, un sentiment d'insécurité.

Discussion

Plusieurs valorisations ont été réalisées du point de vue scientifique (article, thèse et conférences) et en direction des préventeurs (article et dossier web « robotique collaborative »).

Des messages de prévention peuvent ainsi être transmis en direction des entreprises souhaitant mettre en place une solution de robotique collaborative (analyse du besoin, analyse des gestes professionnels, réorganisation du travail, formation des salariés) ou en direction des concepteurs de robots (développement et intégration des systèmes de sécurité moins sollicitants au niveau des poignets, interfaces de « communication » opérateur-robot, plus de flexibilité du terminal du robot, temps de réaction à l'intention du mouvement des opérateurs plus courts ...).



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

Exposé des motifs et objectifs

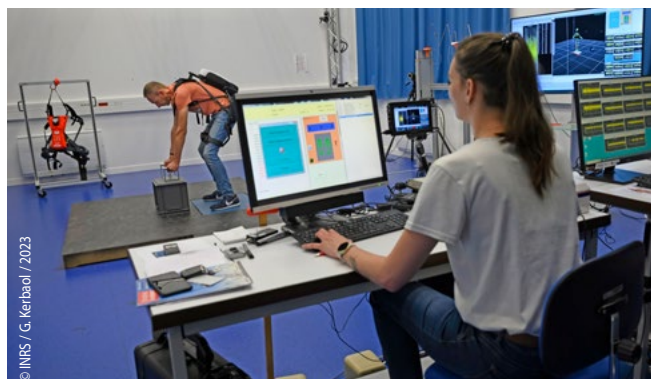
Dans un contexte d'évolution technologique et de prévention des lombalgies, les exosquelettes d'assistance du dos ont été développés pour assister les travailleurs réalisant des tâches de manutention manuelle. La littérature scientifique tend à s'accorder sur l'intérêt de ces exosquelettes pour limiter les sollicitations des muscles extenseurs du dos, ainsi que la charge physique globale de travail. Cependant, ces bénéfices semblent dépendre de nombreux facteurs liés notamment aux caractéristiques des exosquelettes, de la tâche de travail, et au sexe de l'utilisateur. Afin de mieux comprendre ces interactions et de pouvoir proposer des recommandations quant à l'intégration en entreprises de ces exosquelettes, il convient d'apporter de nouvelles connaissances, en se focalisant notamment sur les exosquelettes robotisés, technologie en pleine essor, faisant naître l'espoir d'une assistance plus importante que les dispositifs passifs.

Démarche

L'objectif général de cette étude de laboratoire était d'investiguer les conséquences biomécaniques et physiologiques de l'utilisation d'exosquelettes d'assistance du dos, robotisés ou non, lors de différentes tâches de manutention. Le premier axe de cette étude portait sur les sollicitations musculaires et les adaptations cinématiques, associées à l'utilisation de trois exosquelettes (un passif et deux robotisés) lors de tâches de travail statique et dynamique dans le plan sagittal et dynamique en rotation. Le deuxième axe de l'étude s'est focalisé sur les réponses cardiorespiratoires induites par l'utilisation de ces exosquelettes lors d'une tâche répétitive de manutention manuelle.

Résultats principaux

Il a été mis en évidence que les exosquelettes robotisés étaient plus performants, en termes de réduction des sollicitations musculaires que le système passif, dans toutes les tâches réalisées. Tous les exosquelettes testés ont également permis de réduire les réponses cardiorespiratoires, et ce de manière plus prononcée pour l'un des deux systèmes robotisés. Il a également été démontré que ces exosquelettes étaient bénéfiques quel que soit le sexe de l'utilisateur. Les bénéfices apportés à l'ensemble des utilisateurs étaient toutefois dépendants du système utilisé : à la fois au regard de la technologie (passive *versus* robotisée) mais également en fonction d'autres caractéristiques comme le poids ou le caractère anthropomorphe de la structure.



Discussion

L'utilisation d'exosquelettes professionnels d'assistance du dos apporte des bénéfices biomécaniques et physiologiques, pour les femmes et les hommes, pouvant permettre de réduire la charge physique globale de travail et certains facteurs de risque de lombalgies. Cependant, ces bénéfices sont dépendants des caractéristiques de conception des systèmes, notamment le caractère robotisé de ceux-ci, mais aussi des caractéristiques de la tâche. Pour l'intégration d'un exosquelette en situation réelle de travail, il convient de bien connaître les performances de ces systèmes d'assistance physique et d'évaluer finement les contraintes liées à la tâche réalisée.

2019 → 2023

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 → 2023

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 test 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. Par ailleurs, 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



2022 → 2025

Processus d'apprentissage d'un geste technique en faveur de la prévention des TMS des membres supérieurs. Cas d'application : le secteur de la coiffure

■ Martine GILLES

Département homme au travail

■ Thèse de doctorat : Jason DELLAI

I3SP, Université Paris Cité - Gilles DIETRICH

Cette étude a pour objectif l'analyse du processus d'apprentissage d'un geste technique sur un cas d'application dans le secteur de la coiffure. Les salariés de ce secteur présentent un taux important de troubles musculosquelettiques (TMS) des membres supérieurs qui les conduisent à quitter prématurément leur profession. Dans l'optique de réduire les facteurs de risque de TMS, des ciseaux dont la prise en main est modifiée leur sont proposés. Au moyen d'une analyse physiologique et biomécanique du geste, mais aussi par l'analyse du ressenti des coiffeurs utilisant les ciseaux modifiés, une recherche des paramètres favorisant l'acquisition de nouvelles pratiques, en lien avec l'outil modifié, sera menée. En parallèle, une analyse plus approfondie des facteurs de risques biomécaniques liés à l'utilisation des ciseaux traditionnels et modifiés sera effectuée. L'ensemble des résultats produits pourrait guider la conception d'outils techniques de travail, de contenus pédagogiques de formation et de programmes de prévention des TMS adaptés au métier de la coiffure.

2021 → 2024

Processus d'adoption des exosquelettes : de l'acceptabilité à la continuité d'usage

■ Lièn WIOLAND

Département homme au travail

■ Thèse de doctorat : Marc DUFRAISSE

INU Champollion, Université fédérale Toulouse Midi-Pyrénées - Julien SEGARA

Les entreprises perçoivent les exosquelettes professionnels comme des dispositifs pouvant contribuer à améliorer les conditions de travail, et les évaluent auprès des opérateurs qui font part de réactions très contrastées. L'objectif de cette étude est de comprendre et formaliser les mécanismes cognitifs et psychosociaux d'adoption d'un exosquelette, en particulier les mécanismes de son acceptation ou de son rejet par les utilisateurs. L'analyse de ces processus vise à recueillir des éléments de compréhension sur la qualité de l'interaction homme-exosquelette, depuis son intégration jusqu'à son utilisation régulière. Trois axes de travail seront développés en entreprise, en mobilisant des méthodes relevant de l'ergonomie et de la psychologie du travail. Les résultats enrichiront les modèles d'adoption des exosquelettes ; sur le plan applicatif, les acteurs de la prévention disposeront d'une meilleure connaissance pour anticiper, identifier, gérer et suivre les points « d'accord » et de « tension » lors des interactions utilisateurs-exosquelettes.

2022 → 2025

Familiarisation à l'utilisation des exosquelettes : analyse de l'évolution d'indicateurs biomécaniques en lien avec la prévention des TMS

■ Chris HAYOT et Kévin DESBROSSES

Département homme au travail

■ Thèse de doctorat : Étienne RICARD

ENS Rennes - Charles PONTONNIER

Des travaux de laboratoire menés à l'INRS ont démontré que l'utilisation d'un exosquelette, lorsqu'il est adapté à la situation de travail, permettait de réduire les contraintes biomécaniques et physiologiques associées à la tâche. Cependant, ils ont également suscité des questionnements sur la présence de perturbations résiduelles au niveau musculaire, articulaire ou postural. L'objectif de cette étude est de suivre l'évolution d'indicateurs biomécaniques lors d'un protocole d'entraînement à l'utilisation d'un exosquelette et d'identifier ceux qui pourraient caractériser un état de familiarisation. De plus, il s'agira de suivre l'évolution des perturbations résiduelles, potentiellement transitoires, qui pourraient apparaître au cours des premiers temps d'utilisation. Ces travaux permettront d'enrichir la démarche d'acquisition et d'intégration d'un exosquelette, développée par l'INRS.

► RISQUES PSYCHOSOCIAUX (RPS)

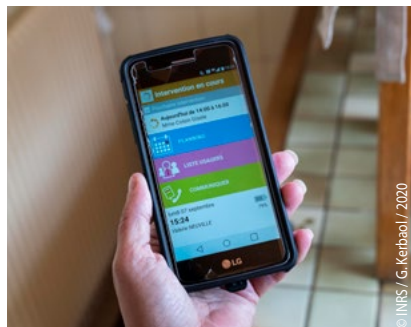
2020 → 2023

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. A partir des données d'enquêtes successives « Conditions de travail » de la Dares, l'objectif principal de l'étude est de déterminer l'effet des pratiques de prévention de ces risques telles que 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.



© INRS / G. Kerbaol / 2020

2022 → 2025

Entreprises à mission : quels impacts sur la santé et la sécurité au travail ?

■ Vincent GROSJEAN

Département homme au travail

Le statut d'entreprise à mission, institué par la loi Pacte entrée en vigueur en 2020, donne aux entreprises l'opportunité d'affirmer, à côté des objectifs économiques, des ambitions sociétales, environnementales et sociales. Du point de vue de la santé au travail, ce modèle soulève des questions. L'étude vise à évaluer les conséquences en termes de risques psychosociaux de cette forme de gouvernance qui connaît des équivalents dans de nombreux pays développés. L'enjeu principal est de pouvoir apporter des conseils, des points de vigilance. A cette fin, trois entreprises de service ayant adopté ce modèle seront intégrées à l'étude. La dimension psychosociale sera abordée en prenant comme porte d'entrée la façon dont les décisions prises au niveau des équipes incarnent la prise en compte des engagements éthiques de l'entreprise. Une veille portant sur les innovations similaires en Europe sera conduite.

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 : Raphaël 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 peuvent remettre en question les stratégies usuelles de prévention au sein des entreprises. Cette étude prévoit d'apporter une meilleure connaissance de ces nouvelles formes de travail 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.

► SUJETS ÉMERGENTS

2023 → 2026

Nouvelles formes d'emploi, d'organisation et enjeux de prévention : les entreprises coopératives comme laboratoires d'analyse des transformations du travail

■ Émilie AUNIS

Département homme au travail

Les cinquante dernières années ont donné lieu à des transformations profondes de l'emploi et du travail avec l'apparition de nouveaux statuts et l'émergence de nouveaux modèles organisationnels.

Cette étude a pour objectif, dans une double visée analytique, de mieux appréhender les impacts des nouvelles formes d'emploi et d'organisation en matière de risques professionnels, afin de construire un socle de connaissances propice au déploiement de stratégies de prévention adaptées à ces évolutions. L'étude se centrera sur un type d'entreprise particulier : les coopératives, qui seront examinées comme des laboratoires de ces transformations structurelles en matière d'emploi et d'organisation.

► AUTRES EFFETS SUR LA SANTÉ

2016 → 2023

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 cardiovasculaires 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 entreprise sur le thème des maladies cardiovasculaires ischémiques.



2019 → 2023

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. Il s'agit 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 quatre situations de travail en milieu industriel et/ou de service, 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 des services de prévention et de santé au travail.

THÉMATIQUES FOCUS EN SANTÉ ET SÉCURITÉ AU TRAVAIL À L'HORIZON 2027

Les pages qui suivent présentent neuf études conduites en 2023 dans le cadre de cinq des six thématiques focus inscrites au plan stratégique de l'INRS pour les années 2023 - 2027.

➔ Exposition aux aérosols

Les aérosols sont constitués de fines particules solides ou liquides en suspension dans l'air, qui représentent un risque d'exposition chimique ou biologique par inhalation, voie cutanée ou ingestion. Diverses activités professionnelles sont génératrices d'aérosols : manipulation de poudres, procédés de découpe et d'abrasion, soudage, procédés d'impression, de broyage et de combustion, peinture, nettoyage haute pression, activités de soins, manipulation de produits agroalimentaires ou traitement de déchets... La nature et la dangerosité des agents qui peuvent se retrouver en suspension dans l'air sont ainsi extrêmement variables.

Les connaissances acquises par l'INRS ces dernières années ont été utiles et rapidement mobilisables lors de la pandémie de Covid-19 pour émettre des recommandations adaptées au contexte. Toutefois, des travaux complémentaires doivent être menés sur la réduction à la source de la production d'aérosols et sur les processus régissant leur transport en situation réelle. Par ailleurs, les évolutions de certaines VLEP vers des niveaux de plus en plus faibles, comme celles du manganèse, du cadmium ou du nickel, nécessitent un effort accru quant à la limitation de l'exposition des travailleurs aux aérosols.

Les travaux sur cette thématique viseront donc à renforcer les connaissances par une approche complète, depuis la source d'émission d'aérosols jusqu'au travailleur susceptible d'y être exposé.

»» OBJECTIFS D'ÉTUDES ET RECHERCHE 2023 - 2027

- **NEUTRALISER LES ÉMISSIONS D'AÉROSOLS** : un premier axe de travail concernera les émissions d'aérosols, notamment lors des opérations de ponçage, découpage de pierres, broyage, mise en suspension lors de manipulation de matériaux poudreux... afin de les limiter, voire de proposer des solutions de substitution moins émissives pour prévenir les risques chimiques et biologiques.
- **COMPRENDRE LES CONDITIONS DE TRANSPORT D'AÉROSOLS** : un second axe concernera le transport d'aérosols issus de zones à pollution spécifique vers les zones considérées sans pollution spécifique, le plus souvent tertiaires. Cette phase de travail vise à obtenir une meilleure connaissance des conditions de transport, mais aussi de dépôt et de remise en suspension. La question du comportement des particules composant les aérosols en fonction de leur forme sera également traitée. Des règles de conception et d'organisation des lieux de travail seront proposées, comme la séparation physique des locaux et l'utilisation des étages de pression permettant de limiter le transport des aérosols. La nécessité ou non d'étudier l'effet des environnements de travail sur les méthodes et moyens de mesure des aérosols sera également évaluée, pour garantir la connaissance des expositions en fractions conventionnelles : vitesse d'air induite par les systèmes de ventilation.

2022 → 2025

Captage des aérosols et ventilation générale dans les cabinets dentaires

■ Jonathan CHERON, Alexandre JENFT

Département ingénierie des procédés

La pratique des métiers du secteur dentaire implique des interventions en cavité buccale, qui sont à l'origine de risques biologiques et chimiques. Ces risques sont principalement liés aux aérosols émis lors d'opérations et peuvent, s'ils ne sont pas maîtrisés, concerner l'ensemble des personnes pouvant accéder à la salle de soins. Cette étude porte sur l'évaluation de l'efficacité des solutions de prévention. Elle sera initiée par des mesures d'émission dans différents cabinets dentaires (privés, hospitaliers et facultés dentaires) pour les reproduire en laboratoire, où l'activité sera simulée sur des mannequins dentaires. L'impact sur la concentration en aérosols de différentes solutions de prévention combinant captage à la source et ventilation générale sera quantifié dans des conditions contrôlées. L'objectif de ce travail est de préciser les conditions d'utilisation des moyens de prévention à mettre en œuvre.



➔ Polyexpositions hétérogènes

Rares sont les situations de travail où les salariés ne sont exposés qu'à un risque unique. Beaucoup d'environnements professionnels sont associés à une polyexposition, dont les effets ne sont pas toujours connus, et peuvent être indépendants ou interagir sur un organe cible ou sur un organisme. Il est possible que les conséquences de ces polyexpositions soient supérieures à la somme de celles considérées individuellement et, dans certains cas, que soit remise en question la notion de « faible dose ».

Mieux connaître et évaluer les effets de certaines polyexpositions permettra d'identifier de nouvelles situations de travail potentiellement dangereuses, pour lesquelles la mise en place de mesures de prévention supplémentaires s'avérerait nécessaire.

L'INRS s'attachera à poursuivre le développement de connaissances sur les trois situations de coexposition au travail citées ci-dessous et sur les différents mécanismes par lesquels elles interagissent, en vue d'identifier les leviers de prévention les plus pertinents et de fournir des recommandations et des outils aux entreprises, aux préventeurs et aux services de prévention et de santé au travail.

»» OBJECTIFS D'ÉTUDES ET RECHERCHE 2023-2027

■ **ÉTUDIER LA COEXPOSITION SUBSTANCES CHIMIQUES ET AGENTS BIOLOGIQUES** : Les secteurs concernés par une coexposition entre substances chimiques et agents biologiques (bio-allergènes et endotoxines) sont en expansion, tels que le milieu du soin et des services à la personne, la collecte et le traitement des déchets, le traitement des eaux usées, l'industrie alimentaire, les activités de nettoyage. Les effets de cette coexposition sont insuffisamment documentés à l'heure actuelle et les mécanismes par lesquels elle peut impacter la santé sont peu connus. De plus, il n'existe pas de méthodologie simple pour caractériser ces polyexpositions. Pour remédier à ces problématiques, des études de l'INRS seront menées afin d'enrichir les connaissances et d'identifier, puis de promouvoir les mesures de prévention adaptées à ces secteurs d'activités.

■ **ÉTUDIER LA COEXPOSITION AUX SUBSTANCES CHIMIQUES ET À LA CHARGE PHYSIQUE** : La charge physique de travail accroît l'imprégnation des salariés par des substances chimiques via différents mécanismes (débit ventilatoire pour l'inhalation mais aussi la sudation, l'hyperthermie et l'hyperhémie cutanée pour l'exposition cutanée). Le port d'équipements de protection individuelle (vêtements, masques de protection respiratoire) et le travail à la chaleur peuvent amplifier ces phénomènes. Une meilleure compréhension des effets de la charge physique de travail sur le risque chimique représente un enjeu majeur pour l'ensemble des acteurs de la prévention en santé au travail et pour la santé des salariés, que l'INRS s'attachera à étudier en vue de mieux solutionner cette préoccupation.

■ **ÉTUDIER LA COEXPOSITION SUBSTANCES CHIMIQUES ET TRAVAIL DE NUIT** : En France, le travail de nuit concerne 4,3 millions de personnes. Des travaux d'analyse sur l'exposition à des produits chimiques en lien avec le travail de nuit ont permis :

- de confirmer que le risque chimique était une réalité présente lors du travail de nuit ;
- d'identifier les principales substances concernées ;
- de mettre en évidence des expositions différentes selon le genre et entre les travailleurs de jour et les travailleurs de nuit.

Les travaux proposés ont pour objectif d'étudier les implications en santé au travail de cette coexposition, notamment par l'analyse des données disponibles sur la chronotoxicité chez l'animal et chez l'être humain. À terme, des mesures de prévention seront proposées, afin de limiter les effets de cette polyexposition.

2022 → 2025

Analyse de données assemblées pour l'étude des polyexpositions professionnelles

■ Frédéric CLERC

Département métrologie des polluants

■ Thèse de doctorat : Cassandra BARBEY

EHESP - Nathalie BONVALLOT

De plus en plus de bases de données françaises identifiant certaines pathologies, populations et expositions sont accessibles. Des études utilisant une ou plusieurs bases de données pour les polyexpositions ont déjà été réalisées à l'INRS, principalement concernant le risque chimique. L'objectif de cette étude consiste à produire de nouveaux résultats pour mieux cerner les polyexpositions. L'étude se déroulera en quatre phases : assemblage des données, construction d'une base pilote sur un périmètre réduit, extraction et pré-traitement pour produire un tableau de données d'intérêt, analyse des données pour construire les portraits de la polyexposition pertinents. Le développement d'un outil permettant de connaître les liens entre populations – nuisances – expositions et pathologies par métier et secteur d'activités sera envisagé.

2022 → 2025

Prévention des polyexpositions dans les fromageries : étude des bioallergènes, des agents chimiques et biologiques

■ Patricia BATAIS, Sullivan LECHÊNE
et Philippe DUQUENNE*Département ingénierie des procédés*

■ Thèse de doctorat : Reshad FANTELLI

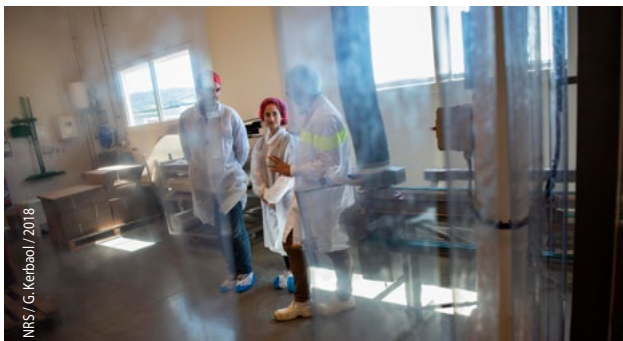
Inrae - Céline DELBES

■ Fabrice BATAIS et Sandrine JACQUENET

Département toxicologie et biométrie

Les objectifs de ce projet sont l'étude des polyexpositions biologiques et chimiques potentielles des salariés d'entreprises fromagères où des allergies professionnelles ont été identifiées. Il s'agit également de caractériser des allergènes présents

dans l'atmosphère des lieux de travail ainsi que le potentiel sensibilisant de l'environnement de travail. Le projet vise aussi à analyser les moyens de prévention disponibles, notamment la ventilation, en vue de proposer des pistes d'amélioration pour réduire l'exposition des travailleurs. Les résultats permettront une meilleure identification des substances présentes ainsi que leur quantification, en lien direct avec l'activité des salariés et la proposition de mesures de prévention adaptées.



➔ Technologies numériques et impacts organisationnels

Le recours aux technologies du numérique a des conséquences notables sur les organisations et les situations de travail dans de nombreux secteurs, y compris le tertiaire. Il impacte les opérateurs eux-mêmes, qui doivent intégrer ces environnements ou dispositifs de travail, les collectifs de travail qui font face à de nouvelles façons de travailler ensemble et l'encadrement qui doit s'adapter aux nouveaux modes d'organisation de l'activité des équipes.

La compréhension des enjeux de prévention associés à l'utilisation de ces technologies et la formulation de préconisations requièrent l'acquisition de connaissances sur les interactions impliquant les opérateurs et le système technique environnant.

Il s'agira pour l'INRS de travailler sur les risques professionnels associés à ces technologies et d'analyser les opportunités que l'émergence des technologies numériques peut représenter pour construire des situations de travail favorables à la santé et sécurité au travail.

Deux axes seront considérés : le pilotage d'activités ou interactions entre salariés médiées par des systèmes d'information, notamment dans le tertiaire, et l'usage croissant d'interfaces de communication entre les travailleurs et les systèmes techniques.

»» OBJECTIFS D'ÉTUDES ET RECHERCHE 2023-2027

- **ÉVALUER LES CONSÉQUENCES DE L'ÉVOLUTION DES SYSTÈMES D'INFORMATION** : L'évolution des systèmes d'information et de leurs usages impacte les organisations de travail, en matière de risques pour la santé, et en particulier de risques psychosociaux. Des travaux seront élaborés sur les expositions et les ressources associées aux nouvelles situations de travail. En effet, dans la mesure où l'évolution des technologies du numérique tend à modifier l'interface (distanciation, voire virtualisation) entre l'opérateur et son environnement, orienter ses décisions – voire automatiser le processus décisionnel – celle-ci va impacter la nature et les exigences de la tâche (ressources attentionnelles), mais également l'autonomie du travailleur, sa responsabilité, sa confiance dans le système (fiabilité des informations, explicabilité des traitements réalisés), ou encore impacter le fonctionnement, l'activité du collectif et l'organisation du travail.
- **ÉVALUER LES RISQUES SPÉCIFIQUES DE LA NUMÉRISATION ACCRUE DES INTERFACES DE COMMUNICATION** : Si les risques « machines » n'apparaissent a priori pas directement modifiés par le développement numérique des interfaces, de nouveaux risques de sécurité peuvent en revanche

découler d'un dysfonctionnement dans la communication des flux de données et feront l'objet d'études spécifiques.

- Comment réagit le système technique en cas de coupure de communication ?
 - Comment réagit l'opérateur qui pilote un système technique à distance de la réalité physique ?
- D'autres questions de sécurité seront investiguées comme pouvant être liées à d'éventuels problèmes de représentativité du système numérisé par rapport au système réel.

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 porte sur les effets, en termes de contraintes et/ou ressources, de l'introduction de logiciels de soins sur le travail des soignants et de leurs encadrants. L'étude devrait ainsi 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.



➔ Perturbateurs endocriniens

Les pathologies suspectées d'être associées à des expositions aux perturbateurs endocriniens en milieu de travail sont celles touchant l'appareil reproducteur, le développement de l'enfant, les maladies cardiovasculaires, les troubles métaboliques (obésité, diabète, pathologies thyroïdiennes), ainsi que les cancers hormonodépendants. Les perturbateurs endocriniens font l'objet de préoccupations sociétales croissantes, qui mènent à des évolutions réglementaires au niveau national et communautaire. En parallèle, les expositions professionnelles aux perturbateurs endocriniens, qui peuvent également être nombreuses, nécessitent une surveillance accrue. Or la prévention de ces risques est confrontée à trois défis majeurs :

- le repérage des perturbateurs endocriniens en entreprise : en l'absence d'une liste stabilisée de perturbateurs endocriniens avérés ou suspectés ;
- la traduction d'une exposition en risque : il n'existe pas aujourd'hui de notion de valeur seuil des effets et ces derniers ne suivent pas obligatoirement une relation dose/effet monotone. De plus, le travail d'évaluation de ces substances s'effectue sur le long terme ;
- le système hormonal, qui diffère chez les hommes et les femmes : les effets des perturbateurs endocriniens pourraient dépendre du genre, il apparaît donc nécessaire d'affiner la réflexion en prenant en compte les différences physiologiques des salariés exposés ainsi que la perception de ce risque par le monde du travail, afin d'améliorer les mesures de prévention liées à ces substances.

Face à ces constats, l'INRS travaillera selon deux axes principaux dans le but de traiter ces trois enjeux et de produire des messages de prévention adaptés.

»» OBJECTIFS D'ÉTUDES ET RECHERCHE 2023-2027

- **ACQUÉRIR UNE MEILLEURE CONNAISSANCE DES SITUATIONS PRÉOCCUPANTES** : Les secteurs concernés par les expositions professionnelles sont, en l'état actuel des connaissances, la chimie, la plasturgie, l'électronique, le bâtiment, le nettoyage, l'entretien des espaces verts, la dépollution des sols et le traitement des déchets, l'agroalimentaire et la cosmétique. L'INRS s'appuiera sur des études de filières pour identifier les perturbateurs endocriniens utilisés actuellement ou dans un futur proche, ainsi que de campagnes de mesures pour évaluer les niveaux d'exposition en entreprises. L'existence de listes au niveau communautaire ou national rendra ce travail plus facilement accessible.
- **MENER DES RECHERCHES SUR LES EFFETS ENGENDRÉS PAR CES SUBSTANCES, ASSOCIÉES À UNE ANALYSE DES EXPOSITIONS** : Selon les résultats obtenus suite aux campagnes de mesures conduites sur le terrain, des solutions de prévention spécifiques seront proposées et un transfert des connaissances sera développé et assuré notamment via des actions de sensibilisation, la conception de supports d'information, des actions d'assistance et de formation de l'ensemble des acteurs de la prévention.

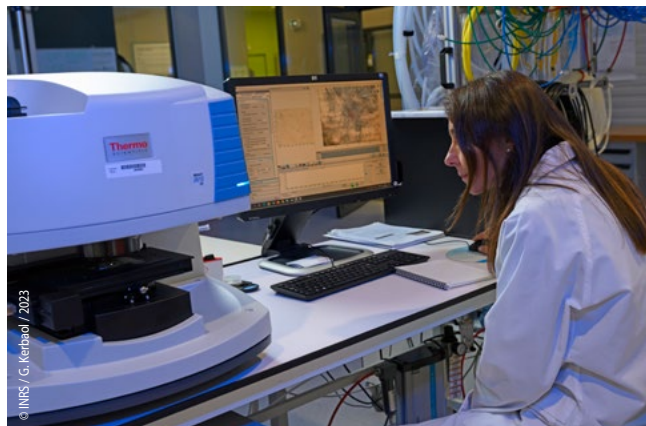
2021 → 2025

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

■ Marie-Thérèse LECLER et François ZIMMERMANN
Département ingénierie des procédés

■ Williams ESTÈVE
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.



2022 → 2025

Exposition au résorcinol et aux perturbateurs endocriniens chez les coiffeuses et effets sur la fonction thyroïdienne

■ Romain PONS et Anca RADAUCEANU

Département épidémiologie en entreprise

■ Amandine ERB

Département toxicologie et biométrie

La France compte environ 63 000 salons de coiffure, soit 180 000 professionnels, principalement des femmes. Elles peuvent être exposées à divers perturbateurs endocriniens (PE), dont le résorcinol, qui est utilisé dans des colorations capillaires et est susceptible de perturber le fonctionnement de la thyroïde. L'objectif de cette étude est d'analyser la relation entre l'exposition professionnelle au résorcinol et la concentration en hormones thyroïdiennes mesurée dans le sang, en tenant compte de l'exposition à d'autres PE. 450 femmes (300 coiffeuses et 150 salariées non exposées) seront recrutées lors d'une visite médicale de santé au travail et suivies pendant une semaine de travail. L'exposition professionnelle sera caractérisée grâce à plusieurs outils : visite du salon de coiffure, inventaire des produits utilisés et questionnaires, mesures d'échantillons biologiques. Les résultats permettront, le cas échéant, d'optimiser les mesures de prévention dans ce secteur, en apportant de nouvelles connaissances sur les effets sanitaires en lien avec l'exposition aux PE.

2018 → 2023

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.

2020 → 2023

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'être humain ont montré que le flux de passage percutané du bisphénol S (BPS) était plus faible que celui du bisphénol A, avec constitution possible d'un réservoir au niveau de la peau exposée. Cette étude permettra 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.



➔ Limitation de l'émission des gaz à effet de serre et impact en santé au travail

Le changement climatique est amené à modifier le travail de diverses façons :

- par un effet direct sur les conditions et l'organisation du travail, à travers les ambiances thermiques, chaudes ou froides, qui ont des répercussions physiologiques et psychologiques, ou par le biais d'événements extrêmes ou l'évolution de l'exposition à des agents biologiques présents dans l'environnement ;
- par une action indirecte liée aux évolutions des techniques visant à limiter l'émission de gaz à effet de serre, et en réponse aux enjeux de décarbonation de la société. Cette limitation implique à la fois une substitution des énergies fossiles (par du solaire ou de l'éolien par exemple, avec un stockage sous forme d'électricité ou d'hydrogène) et la réduction de la consommation énergétique.

Ces mutations vont impacter le monde du travail. La littérature sur l'évolution des techniques et leur impact sur les risques professionnels est encore modeste, l'objectif de cette thématique, abordée autour de deux programmes, sera de traiter de cette question et de proposer des solutions nouvelles de prévention adaptées à ces enjeux.

»» OBJECTIFS D'ÉTUDES ET RECHERCHE 2023-2027

- **ÉVALUER LES CHANGEMENTS GÉNÉRÉS PAR LA PRODUCTION ET LE TRANSPORT D'ÉNERGIE RENOUVELABLE** : Afin de compléter les documents de l'INRS déjà disponibles sur les procédés de production énergétique (charge des batteries au plomb, pose de panneaux solaires, parcs éoliens terrestres, méthanisation en milieu agricole...), les travaux d'études porteront sur :
 - la poursuite de recherches sur les batteries au lithium et une veille sur les développements de batteries à partir d'autres composés comme le sodium ;
 - le maintien d'une veille sur des sujets d'intérêts comme les parcs éoliens maritimes, la cogénération, les nouveaux procédés de méthanisation, les gros systèmes de stockage électriques (engins de chantier) ;
 - le suivi des changements de métiers induits par l'usage de ces énergies renouvelables ; par exemple des mécaniciens formés initialement pour la maintenance d'engins à moteur thermique, amenés à intervenir sur des engins électriques.
- **ÉVALUER LES CHANGEMENTS GÉNÉRÉS PAR LA RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE** : La réduction des consommations énergétiques s'opérera principalement par une meilleure isolation des bâtiments et en privilégiant les circuits courts, dont l'impact doit être mesuré :
 - l'isolation des bâtiments entraînera une modification des systèmes de ventilation, l'introduction de nouveaux matériaux, de nouveaux dispositifs et leur pilotage par des outils informatiques élaborés. Des préconisations, permettant de prendre en compte la prévention des risques professionnels dans le choix des systèmes de ventilation et de captage ainsi que sur la conception des lieux de travail, intégrant la qualité de l'air et certainement des systèmes de récupération énergétique, seront mises en œuvre. La gestion et la maintenance de ces systèmes seront également appréhendées ;
 - le développement des circuits courts entraîne par ailleurs, et de façon indirecte, une réindustrialisation locale avec la résurgence de risques précédemment connus. Ces risques et les moyens de les prévenir devront être rappelés et adaptés à de nouveaux modes et technologies de production (production à la demande, microréacteurs, robotisation, intelligence artificielle...).

2022 → 2025

Étude des émissions de polluants au cours du cycle de vie des batteries lithium

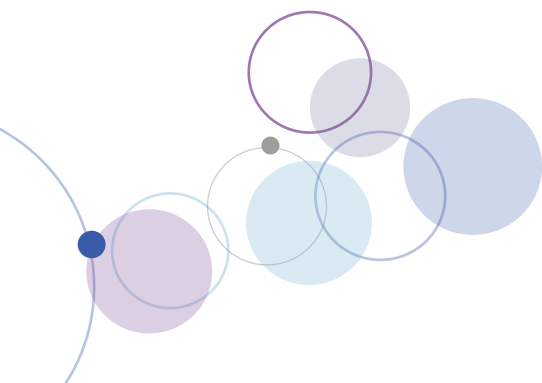
■ Maxime VAUFLEURY

Département ingénierie des procédés

L'utilisation de batteries lithium est en pleine expansion. Elles sont utilisées dans un grand nombre de secteurs en lien avec les appareils électroportatifs, les ordinateurs, la mobilité, le recyclage, etc. Cependant, de plus en plus d'incidents sont répertoriés et sont potentiellement accompagnés d'émissions de substances nocives. En vue d'améliorer les connaissances sur ces émissions et de lever les inquiétudes en matière de santé au travail, deux types de batteries (les plus utilisés) seront étudiés et leurs émissions accidentelles quantifiées dans le cadre de ces travaux. Il s'agit des batteries Lithium Nickel Manganèse Cobalt (NMC) et batteries Lithium Fer Phosphate (LFP). L'impact des facteurs susceptibles de provoquer des incidents lors de l'utilisation, comme la température, le courant de charge et décharge, le nombre de cycles ou de chocs sera analysé puis hiérarchisé par rapport à leur influence. Les résultats devraient aider à la définition de solutions de prévention dans le cadre de la maîtrise des émissions de substances.



INRS / P. Delplière / 2023



COMMISSION SCIENTIFIQUE DE L'INRS

(Composition au 31 octobre 2023)

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	Unisanté, Université de Lausanne. Département santé, travail et environnement (DSTE)
--------------	--

Vice-présidents

Annie JOLIVET	Cnam - Centre d'études de l'emploi et du travail (CEET) et Centre de recherche sur le travail et le développement (CRTD)
Jean-Claude SAGOT	Université de Bourgogne Franche-Comté (UBFC), Université de technologie Belfort-Montbéliard (UTBM) - Département ergonomie, design et ingénierie mécanique (EDIM)

Autres membres

Paul AVAN	UMR 1107 Inserm/Université Clermont Auvergne. Laboratoire Neuro-Dol
Sandrine CAROLY	Université de Grenoble-Alpes (UGA). Laboratoire des sciences sociales (Pacte) UMR 5194 - Professeur associé à l'Université Laval (Québec)
Barbara CHARBOTEL	UMRESTTE (UMR T 9405, Unité mixte de recherche épidémiologique et de surveillance transport travail environnement – CHU de Lyon
Élodie DEQUAIRE	Cetim
Alexis D'ESCATHA	Institut de recherche en santé, environnement et travail (IRSET) Equipe Ester, Faculté de santé CHU Angers / Université d'Angers Inserm
Raphaël DUMAS	Laboratoire de biomécanique et mécanique des chocs (LBMC UMR T9406) - Université Gustave Eiffel
Alain GARRIGOU	Inserm U1219 Equipe Epicene - Université de Bordeaux 1
Philippe GÉRARDIN	Laboratoire d'études et de recherches sur le matériau bois (LERMaB). EA 4370 de l'Université de Lorraine. Unité sous contrat de l'Inrae
Benoît IUNG	Centre de recherche en automatique de Nancy (Cran). UMR 7039 Université de Lorraine/ CNRS
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	École nationale supérieure Mines-Télécom Atlantique Bretagne Pays de la Loire – IMT Atlantique. GEPEA : Génie des procédés, environnement, agroalimentaire (UMR CNRS 6144)
Pierre LEBAILLY	Université de Caen-Normandie - Centre de lutte contre le cancer François Baclesse – Inserm 1086
Valérie PICHON	Institut Chimie biologie innovation. UMR (CNRS, PSL Université) Laboratoire Sciences analytiques, bioanalytiques et miniaturisation (LSABM). UMR 8231 (CNRS-ESPCI), ESPCI Paris
Alain PINEAU	Praticien hospitalier retraité de l'Université de Nantes
Christophe VIAL	Institut Pascal (UMR 6602 de l'Université Clermont Auvergne et du CNRS)

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	Université Grenoble-Alpes & CHU Grenoble-Alpes – Laboratoire TIMC- IMAG. CHU Grenoble Alpes Département médecine et santé
Barbara CHARBOTEL	UMRESTTE (UMR T 9405, Unité Mixte de Recherche épidémiologique et de surveillance transport travail environnement) – CHU de Lyon.
Alexis D'ESCATHA	Institut de recherche en santé, environnement et travail (IRSET) Equipe Ester, Faculté de santé CHU Angers / Université d'Angers Inserm
Pierre LEBAILLY	Université de Caen-Normandie - Centre de lutte contre le cancer François Baclesse – Inserm 1086
Martine LÉONARD	Inspection médicale du travail - Direccte Lorraine

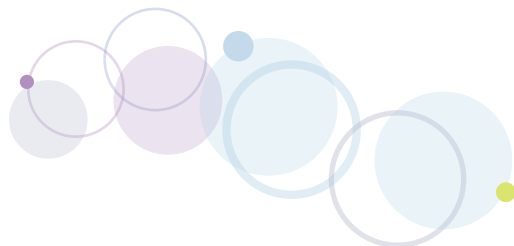
Membres du groupe de suivi département homme au travail

Christophe BONNAUD	Carsat Auvergne, département risques professionnels
Sandrine CAROLY	Université de Grenoble-Alpes (UGA). Laboratoire Pacte UMR 5194 Professeur associé à l'Université Laval (Québec)
Nicolas DECHY	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire - IRSN - Pôle Sûreté nucléaire
Raphaël DUMAS	Laboratoire de biomécanique et mécanique des chocs (LBMC UMR T9406) - Université Gustave Eiffel
Claire EDEY GAMASSOU	EA 2354 Institut de recherche en gestion. Université Paris-Est Créteil
Alain GARRIGOU	Inserm U1219 Equipe Epicene - Université de Bordeaux 1

Maria GONZALEZ	Service de pathologie professionnelle et de médecine du travail - Hôpital Universitaire de Strasbourg
Annie JOLIVET	Cnam - Centre d'études de l'emploi et du travail (CEET) et Centre de recherche sur le travail et le développement (CRTD)
Romuald LEPERS	U 1093 Inserm, Université de Bourgogne. Cognition, action et plasticité sensorimotrice
Pascal MADELEINE	Performance and Technology – Department of Health Science and Technology Aalborg University Denmark
Arnaud MIAS	Institut de recherche interdisciplinaire en sciences sociales (Irisso, UMR CNRS Inrae).
Valérie SAINT-DIZIER	Université de Lorraine - Département de psychologie

Membres du groupe de suivi département ingénierie des équipements de travail

Daniel BRISSAUD	UMR 5272 Université Grenoble-Alpes. Laboratoire sciences pour la conception, l'optimisation et la production (G-SCOP)
Arnaud DELAMÉZIÈRE	Institut supérieur d'ingénierie de la conception – LEM 3 UMR 7239 – Université de Lorraine
Élodie DEQUAIRE	Cetim
Émilie DUCHET	Carsat Nord-Est
Jacques FELBLINGER	U 1254 Inserm. Unité Imagerie adaptative diagnostique et interventionnelle. IADI
Emmanuel FOLTETE	UMR 6174 CNRS/UFC/UTBM/ENSMM Institut Femto-ST. Département mécanique appliquée
Benoît IUNG	Centre de recherche en automatique de Nancy (Cran). UMR 7039 Université de Lorraine/CNRS
Catherine LAVANDIER	UMR 8051 CNRS/ENSEA Cergy/ Université de Cergy-Pontoise. Equipes traitement de l'information et systèmes (ETIS)
Guy LEBERRE	Carsat Bretagne
Gilles PARENT	UMR 7563 CNRS/Université de Lorraine. Laboratoire énergies et mécanique théorique et appliquée (LEMTA)
Judicaël PICAUT	UMRAE : UMR - CEREMA, Université Gustave Eiffel d'acoustique environnementale
Jean-Claude SAGOT	Université de Bourgogne Franche-Comté (UBFC), Université de technologie Belfort-Montbéliard (UTBM) - Département ergonomie, design et ingénierie mécanique (EDIM)



Membres du groupe de suivi département ingénierie des procédés

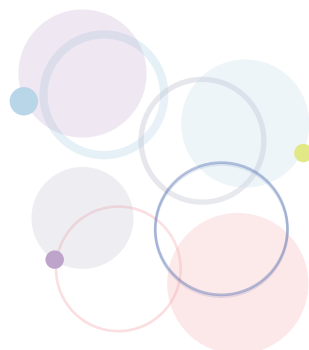
François DURIER	Cetiat - Directeur du développement et des partenariats
Marie-Christine FOURNIER-SALAUN	IUT de Rouen - Laboratoire de sécurité des procédés chimiques
Philippe GÉRARDIN	Laboratoire d'études et de recherches sur le matériau du bois (LERMaB). EA 4370 de l'Université de Lorraine. Unité sous contrat de l'Inrae
Pierre LAMBERT	Carsat Aquitaine
Laurence LE COQ	École nationale supérieure Mines-Télécom Atlantique Bretagne Pays de Loire - IMT Atlantique- Gepea : Génie des procédés, environnement, agroalimentaire (UMR CNRS 6144)
Michel LEBRUN	Carsat Auvergne - Centre interrégional de mesures physiques
Fabrice LERAY	Carsat Pays de la Loire
Coralie SCHOEMAECKER	UMR 8522 CNRS/Université de Lille. Physicochimie des processus de combustion et de l'atmosphère (PC2A)
Christophe SICOT	École 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	Institut Pascal (UMR 6602 de l'Université Clermont Auvergne et du CNRS)
Dominique WOLBERT	École nationale supérieure de chimie, UMR 6226 CNRS / UR1 / ENSR / INSA, Institut des sciences chimiques de Rennes

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	ITGA (Institut technique des gaz et de l'air) Laboratoire PRYSM d'Algade. Technopole le Polygone
Évelyne 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	École de santé publique – Université de Montréal (Canada)
Pierre LE CANN	Écoles des hautes études en santé publique (EHESP)
Valérie PICHON	Institut chimie biologie innovation – UMR (CNRS, PSL Université) Laboratoire « Sciences analytiques, bioanalytiques et miniaturisation » (LSABM) – UMR 8231 (CNRS – ESPCI), ESPCI Paris
David VERNEZ	Unisanté – Université de Lausanne. Département santé, travail et environnement (DSTE)

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 BRUYÈRE	IRSET UMR 1085/Université de Rennes 1, UFR pharmacie
Antoine DEPAULIS	U1216 Inserm/UGA. Institut des neurosciences de Grenoble (GIN)
Stéphanie GRANDEMANGE	UMR 7039 CNRS/ Université de Lorraine - Centre de recherche en automatique de Nancy (Cran)
Nancy HOPF	Unisanté - Université de Lausanne – Département santé, travail et environnement (DSTE)
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)
Alain PINEAU	Université de Nantes – Faculté de pharmacie



PUBLICATIONS 2022

➔ PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES

▶ AGENTS ALLERGISANTS

AIRMON 2022 - 10th International Symposium on modern principles of air monitoring and biomonitoring , November 7-11, 2022, Bristol, United Kingdom

■ DUQUENNE P., BATAIS P., ALONSO L., LOISON P., GALLAND B., LECHÊNE S., SIMON X. - Contribution of a multi-exposure measurement strategy on the documentation of cheese workers' exposures to biological and chemical agents. (Contribution d'une stratégie de mesure multi-exposition à la documentation des expositions des travailleurs en fromagerie aux agents biologiques et chimiques). *Proceedings*.

▶ MYCOTOXINES ET ENDOTOXINES

Toxins

■ D VAN DEN BRAND A., BAJARD L., STEFFENSEN I.L., BRANTSÆTER A.L., A A M DIRVEN H., LOUISE J., PEIJNENBURG A., NDAW S., MANTOVANI A., DE SANTIS B., J B MENGELERS M. - Providing Biological Plausibility for Exposure–Health Relationships for the Mycotoxins Deoxynivalenol (DON) and Fumonisin B1 (FB1) in Humans Using the AOP Framework. (Plausibilité biologique des relations entre l'exposition et la santé pour les mycotoxines déoxynivaléol (DON) et la fumonisine B1 (FB1) chez l'homme en utilisant les AOP). 2022, Vol. 14, Part 279.

AIRMON 2022 - 10th International Symposium on modern principles of air monitoring and biomonitoring , November 7-11, 2022, Bristol, United Kingdom

■ LOISON P., ALONSO L., COULAIS C., DZIURLA C., ALBERS L., SIMON X., WITSCHGERO. - Optimization of the measurement method for airborne endotoxins in workplace atmospheres: a laboratory and field study. (Optimisation de la méthode de mesure des endotoxines dans les atmosphères de travail : une étude de laboratoire et de terrain). *Proceedings*.

▶ AUTRES RISQUES BIOLOGIQUES

AIRMON 2022 - 10th International Symposium on modern principles of air monitoring and biomonitoring , November 7-11, 2022, Bristol, United Kingdom

■ ALONSO L., LOISON P., DZIURLA C., COULAIS C., BATAIS P., DUQUENNE P., SIMON X. - Abundance and diversity of microbial community in bioaerosol samples taken from a French cheese dairy. (Abondance et diversité de la communauté microbienne des bioaérosols dans une fromagerie française). *Proceedings*.

■ DUQUENNE P., KOLK A., POGNER C., VIEGAS C., OPPLIGER A., CROOK B., THOM C., BARZYKOWSKI E., MADSEN A.M. - Workplace air standardisation projects related to biological agents at European level: recent history and perspectives. (Projets de normalisation relatifs à l'air sur le lieu de travail liés aux agents biologiques et au niveau européen : histoire récente et perspectives). *Proceedings*.

CFA2022 - 35^e Congrès français sur les aérosols, 9-10 mai 2021, Paris, France

■ DUQUENNE P., LE CANN P., FACON B. - Le point sur les projets de normalisation « air des lieux de travail » relatifs aux agents biologiques aux niveaux européen et français. *Actes*. DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2022-28329.

➔ PRÉVENTION DES RISQUES CHIMIQUES

► DÉVELOPPEMENT DE MÉTHODES

Critical Reviews in Toxicology

■ CHAMPMARTIN C., CHEDIK L., MARQUET F., COSNIER F. - Occupational exposure assessment with solid substances: choosing a vehicle for in vitro percutaneous absorption experiments. (Évaluation de l'exposition professionnelle aux substances solides : choix d'un véhicule pour les expérimentations d'absorption percutanée in vitro). *April 2022, Vol. 52, Issue 4, pp. 294-316.*

Journal of Aerosol Science

■ BELUTE E., REKEB N., SUTTER B., GÉHIN E. - Revisiting the CFD modelling of a virtual impactor with inverted split ratio: highlighting some determinants of representativeness. (Revisite de la modélisation CFD d'un impacteur virtuel à débits inversés: mise en évidence de certains déterminants de la représentativité). *August 2022, Vol. 166, 19 p.*

Journal of Occupational and Environmental Hygiene

■ AACHIMI A., CLERC F., MARC F., BONVALLOT N. - The design of a matrix linking work situation to chemical health risk at the workplace. (La conception d'une matrice de situations de travail associées à un niveau de risque chimique établi par expertise). *Vol. 19, Issue 3, pp. 157-168.*

Applied in vitro toxicology

■ GATE L., SEBILLAUD S., LORCIN M., SEIDEL C. - A simple fluorescent cell-type specific labelling method for co-cultured cell flow cytometry analysis. (Une méthode simple de marquage fluorescent spécifique d'un type de cellule pour l'analyse de cellules en co-culture par cytométrie en flux). *2022, Volume 8, n°2, DOI : 10.1089/aivt.2022.0003.*

Medecine in Novel Technology and Devices

■ GOEKCE S., CONCHA-LOZANO N., SAUVAIN J.J., HEMMENDINGER M., PORTELA A., SERGENT E., ANDUJAR P., PAIRON J.C., WILD P., SUAREZ G. - Multiscattering-enhanced absorbance to enable the sensitive analysis of extremely diluted biological samples: Determination of oxidative potential in exhaled air. (Absorbance améliorée par multidiffusion pour permettre l'analyse sensible d'échantillons biologiques extrêmement dilués : Détermination du potentiel oxydatif dans l'air expiré). *June 2022, Vol. 14, 5 p.*

Newsletter Perosh

■ REMY A. - Is Urinary Chromium Specific to Hexavalent Chromium Exposure in the Presence of Co-exposure to Other Chromium Compounds? A Biomonitoring Study in the Electroplating Industry - PubMed (nih.gov). (Le chrome urinaire est-il spécifique d'une exposition au chrome hexavalent en situation de co-exposition à d'autres composés du chrome ? Une étude de biométrie dans le secteur du chromage électrolytique).

EMC – Pathologie professionnelle et de l'environnement

■ BOINI S., HEDELIN G. - Évaluation des actions de prévention en santé au travail. *Juillet 2022, Vol. 41, n°3, pp.1-5.*

Références en santé au travail

■ REMY A., NIKOLOVA-PAVAGEAU N., ATGÉ B., CLERC F. - Altrex Biométrie : un outil pour l'interprétation collective des mesures de surveillance biologique des expositions professionnelles aux agents chimiques. *Septembre 2022, n°171, TM 72, pp. 55-66.*

■ PONS R., BOINI S., RADAUCEANU A., BOURGKARD E. - Épidémiologie en santé travail : journée thématique de l'ADEREST, 6 décembre 2021, Paris. *Juin 2022, n° 170, TD289, pp. 99-105.*

AIRMON 2022 - 10th International Symposium on modern principles of air monitoring and biomonitoring , November 7-11, 2022, Bristol, United Kingdom

■ LANGLOIS E., SCHULTZ B., RAVERA C., LILY J.B. - A novel controlled test atmosphere generation system for the exposure assessment method setup and validation. (Système de génération d'atmosphère novateur pour la mise au point et la validation des méthodes de prélèvement et d'analyse des polluants gazeux). *Proceedings.*

■ LANGLOIS E., TROMPETTE N. - An alternative method for measuring sample pump pulsation. (Méthode alternative pour la mesure de la pulsation des pompes individuelles). *Proceedings.*

■ SIMON X., BOIVIN A., SUTTER B., WITSCHGER O., BAU S. - Laboratory performances of the CIP 10 personal aerosol sampler for the collection of submicron particles. (Performances en laboratoire du dispositif de prélèvement d'aérosols CIP 10 pour la collecte des particules submicroniques). *Proceedings.*

■ SUTTER B., REKEB N., TOMAZ S., BELUT E. - A new dichotomic personal sampler for semi-volatile aerosols named "PPAS" for a better exposure assessment of the workers. Un nouveau dispositif de prélèvement personnel d'aérosols semi-volatils pour une meilleure évaluation de l'exposition des travailleurs). *Proceedings.*

■ ROUSSET D., LECHÊNE S., BÉMER D., BONTHOUX F. - Evaluation of the effectiveness of a new technical solution to reduce dust emission from road-milling machine. (Évaluation de l'efficacité d'un dispositif de réduction de l'empoussièrement généré par des raboteuses de routes). *Proceedings.*

Thèse de doctorat en Sciences, « Ingénierie et Environnement », mars 2022, Université Paris-Est Créteil

■ REKEB N. - Développement d'un dispositif de Prélèvement Personnel d'Aérosols Semi-volatils « PPAS » par simulation numérique et validation expérimentale. *Mémoire de thèse, 230 p.*

► SUBSTANCES CMR

The Lancet

■ WARD E., ARRANDALEV, AZUMA K., BRAMBILA E., CALAF G., FRITZ J., FUKUSHIMA S., GAITENS J., GRIMSRUD T., GUO L., LYNGE E., MARINHO-REIS A., MCDIARMID M., MIDDLETON D., ONG T., POLYA D., QUINTANILLA-VEGA B., ROBERTS G., SANTONEN T., SAUNI R., SILVA M., WILD P., ZHANG C., ZHANG Q., GROSSE Y., BENBRAHIM-TALLA L., DE CONTI A., DEBONO N., ELGHISSASSI F., MADIA F., REISFELD B., STAYNER L., SUONIO E., VIEGAS S., WEDEKIND R., AHMADI S., MATTOK H., GWINN W., SCHUBAUER-BERIGAN M. - Carcinogenicity of cobalt, antimony compounds, and weapons-grade tungsten alloy. (Cancérogénicité du cobalt, des composés d'antimoine et de l'alliage de tungstène de qualité militaire). *May 2022, Vol. 23, N°5 pp. 577-578.*

Environmental Research

■ NDAW S., VERISCKA L., BOUSOUMAH R., REMY A., BOCCA B., CORNELIU DUCA R., GODDERIS L., HARDY E., JANASIK B., VAN NIEUWENHUYSE A., PINHAL H., POELS K., P. PORRAS S., RIGGIERI F., SANTONEN T., REIS SANTOS S., T.J. SCHEEPERS P., JOAO SILVA M., VERDONCK J., VIEGAS S., WASOWICZ W., IAVICOLI I. - HBM4EU chromates study - Usefulness of measurement of blood Chromium levels in the assessment of occupational Cr(VI) exposure. (Etude HBM4EU sur le chrome hexavalent - Pertinence de la mesure des taux sanguins de chrome dans l'évaluation de l'exposition professionnelle au Cr(VI)). *November 2022, Volume 214, Part 1, 10p.*

International Journal of Hygiene and Environmental Health

■ SANTONEN T., LOURO H., BOCCA B., BOUSOUMAH R., CORNELIO DUCA R., FUCIC A., S GALEA K., GODDERIS L., GÖEN T., IAVICOLI I., JANASIK B., JONES K., LEESE E., LESO V., NDAW S., POELS K., P PORRAS S., RUGGIERI F., J SILVA M., VAN NIEUWENHUYSE A., VERDONCK J., WASOWICZ W., TAVARES A., SEPAI O., T.J. SCHEEPERS P., VIEGAS S. - The HBM4EU chromates study – outcomes and impacts on EU policies and occupational health practices. (Étude HBM4EU sur le chrome hexavalent – résultats et impacts sur les politiques européennes et les pratiques de santé au travail). *March 2022, Vol. 248, 9 p.*

Toxicology *in vitro*

■ JAILLI P., HUETS S., KRAUSE B.C., VION C., CHEVANCE S., GAUFFRE F., GUICHARDY, LAMPEN A., LAUX P., LUCH A., HOGEVEEN K., FESSARD V. - Genotoxic impact of aluminum-containing nanomaterials in human intestinal and hepatic cells. (Impact génotoxique des nanomatériaux contenant de l'aluminium dans les cellules intestinales et hépatiques humaines). *February 2022, Vol. 78, 105257*

International Journal of Environmental Research and Public Health

■ SANTONEN T., P. PORRAS S., BOCCA B., BOUSOUMAH R., CORNELIU DUCA R., S. GALEA K., GODDERIS L., GÖEN T., HARDY E., IAVICOLI I., JANASIK B., JONES K., LEESE E., LESO V., LOURO H., MAJERY N., NDAW S., PINHAL H., RUGGIERI F., J. SILVA M., VAN NIEUWENHUYSE A., VIEGAS S., WASOWICZ W., SEPAI O., T.J. SHEEPERS P. - HBM4EU Chromates Study: Determinants of Exposure to Hexavalent Chromium in Plating, Welding and Other Occupational Settings. (Étude chromates (Projet HBM4EU) : Déterminants de l'exposition au chrome hexavalent dans le chromage, le soudage et autres milieux professionnels). *2022, Vol. 19, N°6, 3683.*

■ JONES K., S GALEA K., SCHOLTEN B., LOIKALA M., P PORRAS S., BOUSOUMAH R., NDAW S., LEESE E., LOURO H., JOAO S., VIEGAS S., GODDERIS L., VERDONCK J., POELS K., GOEN T., CORNELIU DUCA R., SANTONERN T. - HBM4EU Diisocyanates Study – Research Protocol for a Collaborative European Human Biological Monitoring Study on Occupational Exposure. (Étude Diisocyanates (Projet HBM4EU) – Protocole de recherche pour une étude collaborative européenne de biosurveillance humaine des expositions professionnelles). *July 2022, Vol. 19, N° 14, 8811*

■ GRZEBYK M., BOVIO N., ARVEUX P., BULLIARD J.L., CHIOLERO A., FOURNIER E., GERMANN S., KONZELMANN I., MASPOLI M., RAPITI E., GUSEVA-CANU I. - Work-related factors and lung cancer survival: a register-based study in Switzerland (1990-2014). (Facteurs liés au travail et survie au cancer du poumon: une étude basée sur des données de registre en Suisse (1990-2010)). *2022, Vol.19, Issue 21, 13856,*

36^e Congrès national de médecine du travail, 14-17 juin 2022, Strasbourg, France

■ BOUSOUMAH R., NDAW S., ROBERT A. - Biosurveillance de l'exposition professionnelle au chrome hexavalent par une approche intégrant des biomarqueurs d'exposition et des biomarqueurs d'effets. *Actes de Congrès, Th9-CO3-3.*

Références en santé au travail

■ GUICHARDY, KIRSCH A. - Toxicité des silices amorphes synthétiques. *Mars 2022, n°169, TF295, pp.27-37.*

Thèse de doctorat en Biologie-Santé-Environnement « Sciences de la vie et de la santé », mars 2022, Université de Lorraine

■ BARTHEL H. - Influence de paramètres physiques de nanotubes de carbone multi-parois sur leurs propriétés toxicologiques dans un modèle de cellules épithéliales bronchiques. Rapprochement avec les effets pulmonaires chez le rat. *Mémoire de thèse*, 232 p.

► SUBSTANCES ALLERGISANTES

AIRMON 2022 - 10th International Symposium on modern principles of air monitoring and biomonitoring, November 7-11, 2022, Bristol, United Kingdom

■ GUILLEMOT M., RAVERA C., MELIN S., SIMON X., LANGLOIS E. - Isocyanates aerosols sampling for occupational exposures assessment. (Prélèvement des aérosols d'isocyanates pour l'évaluation des expositions professionnelles). *Proceedings*.

Thèse de doctorat en Biologie-Santé-Environnement « Sciences de la vie et de la santé », juin 2022, Université de Lorraine

■ AUDRY A. - L'apport de l'étude des mécanismes intracellulaires pour l'évaluation du pouvoir sensibilisant de substances industrielles. *Mémoire de thèse*.

► AMIANTE ET FIBRES

Note scientifique et technique

■ ROUSSET D., EYPERT-BLAISON C., CHAZELET S. - Synthèse des données de mesurage en fibres courtes d'amiante obtenues dans le cadre de la campagne INRS pour la détermination des facteurs de protection assignés des appareils de protection respiratoire utilisés en chantier de désamiantage. *NS 376, juillet 2022*.

► NANOPARTICULES ET PARTICULES ULTRAFINES

AIRMON 2022 - 10th International Symposium on modern principles of air monitoring and biomonitoring, November 7-11, 2022, Bristol, United Kingdom

■ SUTTER B., BOVIN A., PAYET R., SIMON X., BAU S., WITSCHGER O. - Performances of low-cost sensors exposed to airborne NOAA powders. (Performances de capteurs à bas-coût exposés à des aérosols de poudres de NOAA). *Proceedings*.

■ GHANEM M., ALLEMAN L., ROUSSET D., PERDRIX E., CODDEVILLE P. - Influence of storage conditions on the evaluation of metal bioaccessibility and oxidative potential of welding fumes. (Influence des conditions de stockage sur l'évaluation de la bioaccessibilité des métaux et le potentiel oxydant des fumées de soudage). *Proceedings*.

■ MATERA V., GAUDEL N., BAU S. - Optimization of the preparation of cascade impactors collection media for airborne metallic ultrafine particles sampling. (Optimisation de la préparation des supports de collecte des impacteurs en cascade pour le prélèvement de particules ultrafines métalliques en suspension dans l'air). *Proceedings*.

CHoPS 2022 - 10th International Conference on Conveying and Handling of Particulate Solids, 5-9 July 2022, Salerno, Italy

■ JIMENEZ M., CARES-PACHECO M.G., GERARDIN F., FALK V. - Impact of powders flowability improvement on their dustiness generation. (Impact de l'amélioration de la coulabilité des poudres sur leur production de poussière). *Proceedings*.

WCPT9 2022 - 9th World Congress on Particle Technology, September 18-22, 2022, Madrid, Spain

■ JIMENEZ M., CARES-PACHECO M.G., GERARDIN F., FALK V. - End-use properties of powders from flowability to dustiness. (Propriétés d'usage des poudres, de la coulabilité à la poussière). *Proceedings*.

Hygiène et sécurité du travail

■ OURY B., MATERA V., BEMER D. - Caractérisation des aérosols ultrafins produits lors de travaux de réfection de voies ferrées en tunnel. *Mars 2022, n°266, ec34, pp. 64-73*.

Thèse de doctorat en Sciences de la terre et de l'univers « Chimie théorique, physique, analytique », 13 octobre 2022, IMT Nord Europe, Université de Lorraine

■ GHANEM M. - Étude des déterminants physico-chimiques de la bio accessibilité et du potentiel oxydant des particules de fumées de soudage. *Mémoire de thèse, 215 p.*

► PROTECTION COLLECTIVE ET INDIVIDUELLE

Journal of Environmental Chemical Engineering

■ DELACHAUX F., HESSOU E., VALLIERES C., MONNIER H., BADAWI M. - A dispersion-corrected DFT method for zeolite-based CO₂/N₂ separation: Assessment and application. (Évaluation et application d'une méthode DFT pour la séparation CO₂/N₂ avec des zéolithes). *February 2023, tome 11, n°1, 13 p. 109052*.

Membranes

■ GERARDIN F., SIMARD J., FAVRE É. - Experimental Proof of a By-Products Trap Effect with a Membrane Photocatalytic Process for VOC Removal. (Preuve expérimentale d'un effet de piégeage des sous-produits avec un procédé photocatalytique à membrane pour l'élimination des COV). *Septembre 2022, tome 12, n°9, 900*

Journal of Physical Chemistry

■ DAOULI A., HESSOU E.P., MONNIER H., DZIURLA M.A., HASNAOUI A., MAURIN G., BADAWI M. - Adsorption of NO, NO₂ and H₂O over divalent cations in faujasite zeolite: A Density Functional Theory screening approach. (Adsorption de NO, NO₂ et H₂O sur des cations divalents dans la zéolite faujasite : utilisation de la théorie fonctionnelle de la densité (DFT) pour une approche de criblage). *2022, Vol. 24, pp. 15565–15578*

Industrial & Engineering Chemistry Research

■ JIMENEZ M., CARES PACHECO M., GERARDIN F., FALK V. - Silica Nanoparticles as Glidants for Industrial Processing: A Statistical Approach. (Usage des nanoparticules de silice comme agent d'écoulement dans des procédés industriels : approche statistique). *2022, Vol. 61, Issue 44, pp. 16517–16528*.

Traitements & Matériaux

■ MATAMOROS F, MONNIER H., BENSABATH T., MARCHAL M., GLAUDE P.A., BOUNACEUR R., LATIFI A., BARDIN-MONNIER N. - Risque HAP en cémentation gazeuse basse pression - Évaluation des expositions, modélisation et optimisation du procédé. *2022, Vol. 475, pp. 39-44.*

Références en santé au travail

■ CHAZELET S., PACAULT S. - Comparaison de différents types de masques comme mesure barrière pour réduire les émissions. Mars 2022, n°169, TF296, pp. 39-52.

■ CHAZELET S. - Évaluation de l'ajustement des appareils de protection respiratoire de type pièce faciale filtrante à pli vertical et élastiques derrière les oreilles (forme KN95). *Septembre 2022, n°171, ac167, pp. 7-9.*

Hygiène et sécurité du travail

■ SANTANDREA A., CHAZELET S. - Humidité de l'air exhalé : quel impact sur la respirabilité et l'efficacité des masques ?. *Septembre 2022, n°268, nt101, pp. 45-54.*

■ CHAZELET S., PACAULT S. - Efficacité barrière des masques FFP (avec et sans soupape expiratoire) et chirurgicaux face aux risques de propagation virale. *Mars 2022, n°266, nt97, pp. 54-62.*

■ MARSTEAU S., GALLAND B., MARCHAL M. - Étanchéité des caissons d'épuration équipant les cabines d'engins mobiles dans les zones polluées : cas des polluants gazeux. *Décembre 2022, n°269, nt105, pp. 25-33.*

■ BEMER D., GERARDIN F. - Évaluation des performances de filtration de trois technologies d'épurateur d'air intérieur. *Décembre 2022, n°269, nt103, pp. 42-55.*

Ventilation 2022 - 13th International Industrial Ventilation Conference for Contaminant Control, 22-24 June 2022, Toronto, Canada

■ JENFT A., VEITH N. - Preliminary study on the efficiency of air showers to decontaminate workers from dust. (Étude préliminaire sur l'efficacité des douches à air pour décontaminer les vêtements de travail des poussières). *Proceedings.*

Hakone XVII - 17th International Symposium on High Pressure Low Temperature Plasma Chemistry, August 21-25, 2022, Kerkrade, The Netherlands

■ TRAD P., BLIN-SIMIAND N., FLEURY M., GERARDIN F., HENINGER M., JEANNEY P., PASQUIERS S. - Influence of the applied HV-pulse rise time on the removal efficiency of n-hexane in a DBD. (Influence du temps de montée des impulsions de haute tension sur l'efficacité de l'élimination du n-hexane dans un système DBD). *Proceedings.*

CFTL 2022 - 17^e Congrès Francophone de techniques laser, 12-16 septembre 2022, Leuven, Belgique

■ BELUT E., LECHENE S., TROUETTE B., VINCENT S. - PIV-stéréo (2D3C) temps réel et à l'échelle 1 de la rupture de confinement d'une enceinte ventilée induite par le sillage d'un objet mobile. *Acte de congrès.*

CFA2022 - 35^e Congrès français sur les aérosols, 9-10 mai 2022, Paris, France

■ SANTANDREA A., CHAZELET S. - Rôles du rythme respiratoire et de l'ajustement sur l'efficacité de protection respiratoire. *Acte de congrès 4 p.*

SFP 2022 - 16^e Congrès de la division plasmas, 6-8 juillet 2022, Marseille, France

■ TRAD P., BLIN-SIMIAND N., FLEURY M., GERARDIN F., HENINGER M., JEANNEY P., PASQUIERS S. - Cinétique chimique-plasma de la décomposition du n-hexane dans une décharge N₂/O₂ (20%) comparée à une décharge N₂. *Acte de congrès*.

ESCAPE 32, 32^e Symposium européen sur le génie des procédés assisté par ordinateur, 12-15 juin 2022, Toulouse, France

■ CARDENAS C., LATIFI A., VALLIERES C., MARSTEAU S. - Analysis of an industrial adsorption process based on ammonia chemisorption: model validation. (Analyse d'un procédé industriel d'adsorption basé sur la chimisorption de l'ammoniac : validation du modèle). *Actes de congrès*, 6 p.

■ ESPOSITO F., CARDENAS C., LATIFI A., MARSTEAU S. - CFD modeling and simulation of an ammonia adsorption process. (Modélisation CFD et simulation d'un procédé d'adsorption d'ammoniac). *Actes de congrès*, 6 p.

HDR, Sciences et ingénierie des molécules, des produits, des procédés et de l'énergie, décembre 2022, Université de Lorraine

■ MONNIER H. - Réflexions pour une approche intégrée de la prévention des risques chimiques. *Mémoire d'habilitation à diriger des recherches*, 273 p.

Thèse de doctorat en Génie des procédés et des produits et des molécules, Novembre 2022, Université de Lorraine, Nancy

■ MATAMOROS MARIN F. - Modélisation et optimisation des fours de cémentation gazeuse basse pression. *Mémoire de thèse*, 209 p.

▶ AUTRES RISQUES CHIMIQUES

Chemosphere

■ MARECHAL M., CORRECO, DEMELAS C., COUZINET A., CIMETIERE N., VASSALO L., GERARDIN F., BOUDENNE J.L. - Characterization and chlorine reactivity of particulate matter released by bathers in indoor swimming pools. (Caractérisation et réactivité au chlore des particules libérées par les baigneurs dans les piscines couvertes). *2023, Vol. 313, 137589*.

Particule and Fibre Toxicology

■ SAUVAIN J.J., HEMMENDINGER M., SUAREZ G., CREZE C., HOPF N., JOUANNIQUE V., DEBATISSE A., PRALONG J., WILD P., GESUVA CANU I. - Malondialdehyde and anion patterns in exhaled breath condensate among subway workers. (Modèles de malondialdéhyde et d'anions dans le condensat expiré chez les travailleurs du métro). *2022, Vol. 19, Issue 1, 13 p.*

Waste Management

■ HANSER O., MELCZER M., REMY A., NDAW S. - Occupational exposure to metals among battery recyclers in France: biomonitoring and external dose measurements. (Expositions professionnelles aux métaux chez les recycleurs de batteries par biométrie et mesurages atmosphériques). *August 2022, Vol. 150, pp. 122-130*.

Hygiène et sécurité du travail

■ SAVARY B., EMILI A. - Portrait rétrospectif des expositions aux fumées de soudage de métaux 2000 à 2020. *Juin 2022, n°267, bd16, pp. 80-87*.

- GALLAND B., GERARDIN K. - Mesure en temps réel du dioxyde de carbone dans les espaces de travail. *Mars 2022, n°266, nt96, pp. 43-52.*
- SAUVE J.F., MATER G. - Panorama des niveaux d'exposition aux contaminants chimiques dans le secteur d'activité vétérinaire entre 2011 et 2020. *Mars 2022, n°266, bd14, pp. 74-79.*
- SAUVE J.F., MATER G. - Exposition professionnelle à l'antimoine, au cobalt et au tungstène en France. *Mars 2022, bd15, (publication Web uniquement)*
- GALLAND B. - Étude et évaluation de détecteurs individuel de sécurité « quatre-gaz » à bas coût. *Juin 2022, n°267, nt98, pp. 70-78.*
- GALLAND B., MAGOT D., DOGAN C., HAINOZ L. - Prévention du risque chimique dans les espaces confinés. *Septembre 2022, n°268, nt102, pp. 56-63.*
- SAUVE J.F., MATER G. - Portrait de l'exposition aux substances chimiques visées par les mises à jour des valeurs limites d'exposition professionnelle réglementaires en 2021. *Septembre 2022, n°268, bd17, pp. 72-76.*
- COSNIER F., CHAMPMARTIN C., CHEDIK L., MARQUET F. - Exposition cutanée et passage percutané : de quoi parle-t-on ?. *Décembre 2022, n°269, dc35, pp.5-10.*

Ventilation 2022 - 13th International Industrial Ventilation Conference for Contaminant Control, 22-24 June 2022, Toronto, Canada

- AZZOUAGH M., KELLER F.X., CABROL E., POURCHEZ J. - Characterization of particle emissions from additive manufacturing of metals by laser powder bed fusion. (Caractérisation des émissions de particules issues de la fabrication additive de métaux par fusion laser sur lit de poudre). *Proceedings, 8 p.*

Thèse de doctorat en Sciences, ingénierie, santé "Génie des procédés matériaux", 1^{er} mars 2022, Université de Lyon

- AZZOUAGH M.N. - Caractérisation des émissions générées au cours de la fabrication additive métallique. *Mémoire de thèse, 188 p.*

Newsletter Perosh

- HANSER O. - Recycling batteries: beware of exposure to metals! (Recyclage des batteries : gare à l'exposition aux métaux !). *6 October 2022.*

➔ PRÉVENTION DES RISQUES PHYSIQUES ET MÉCANIQUES

► BRUIT

Ergonomics

- TERROIR J., PERRIN N., WILD P. - Comfort of earplugs: results of a field survey based on the COPROD questionnaire. (Confort des bouchons d'oreille : résultats d'une enquête de terrain basée sur le questionnaire COPROD). *2022, Vol. 65, N° 9, pp. 1173-1193.*

International Journal of Environmental Research and Public Health

■ DOUTRES O., TERROIR J., JOLLY C., GAUVIN C., MARTIN L., NEGRINI A. - Towards a Holistic Model Explaining Hearing Protection Device Use among Workers. (Vers un modèle holistique expliquant l'utilisation des dispositifs de protection auditive chez les travailleurs). *May 2022, Vol.19, 20 p., 5578.*

Santé et travail

■ CHEVRET P., CHATILLON J. - Entendons-nous pour réduire le bruit au travail. *Juillet 2022, n°119, pp. 24-27.*

Les Cahiers de l'audition

■ MAILLOU B., DUCOURNEAU J., BOISLEVE J., MALRIN A., CHEVRET P. - Évaluation objective des performances des aides auditives. *Mai/juin 2022, Vol. 35, n° 3, pp. 20-35.*

Références en santé au travail

■ ARZ J.P. - Surdité et prothèses auditives : quels conseils pour le port d'un protecteur individuel contre le bruit ?. *Juin 2022, n° 170, QR 164, pp. 117-118.*

Hygiène et sécurité du travail

■ TROMPETTE N., CHEVRET P. - Comment utiliser la base de données "Techniques de réduction du bruit en entreprise" ? *Juin 2022, n°267, fi31, 2 p.*

Inter-noise 2022 - 51th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, 21-24 August 2022, Glasgow, Scotland

■ LENNE L., CHEVRET P., PARIZET E. - Assessment of annoyance and cognitive fatigue of open-plan office occupants subjected to noise from two different activities. ( valuation de la g ne et de la fatigue cognitive des occupants de bureaux ouverts soumis au bruit de deux activités différentes). *Proceedings, 4 p.*

■ BONZOM T., CHEVRET P., BROCOLINI L., LE MUET Y. - Outlook for the ISO 22955: Acoustic quality of open plan offices. (Perspectives de la norme ISO 22955 : Qualité acoustique des bureaux ouverts). *Proceedings, 6 p.*

DCASE 2022 Workshop - 7th Workshop on Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events, 3-4 november 2022, Nancy, France

■ EFFA F., SERIZEL R., ARZ J.P., GRIMAULT N. - Convolutional Neural Network for audibility assessment of acoustic alarms. (Utilisation d'un réseau de neurones convolutif pour évaluer l'audibilité des alarmes sonores). *Proceedings, 5 p.*

Thèse de doctorat en Biologie-santé-environnement « Sciences de la vie et de la santé », juin 2022, Université de Lorraine

■ VENETT. - évaluation de la fatigue auditive chez des sujets exposés à de la musique amplifiée : recherche d'indicateurs d'exposition pertinents. *Mémoire de thèse, 222 p.*

Note scientifique et technique

■ CHEVRET P., BROCOLINI L., BONZOM T. - Clefs de lecture de la norme NF ISO 22955 (2021) " Acoustique - Qualité acoustique des espaces de bureaux ouverts ". *NS 375, avril 2022, 16 p.*

■ LENNE L. - G ne dans les bureaux ouverts : incertitudes des indicateurs de la norme ISO 3382-3 et proposition d'amélioration de la norme ISO 22955. *NS 380, octobre 2022, 153 p.*

► CHUTES

In: Risk-Taking, Prevention and Design. A Cross-Fertilization Approach, Published July 29, 2022 by CRC Press

- LECLERCQ S. - Décisions et risques qui se manifestent à travers les mouvements des travailleurs. *Chapter 3, 14 p.*

Activités

- LECLERCQ S., GARRIGOU A. - Compréhension des perturbations accidentelles du mouvement dans l'activité dans une perspective de prévention. *2022, Vol. 19, n°2, pp. 8-30.*

Hygiène et sécurité du travail

- LECLERCQ S. - Evolution de la représentation du risque d'accident du travail et de sa manifestation dans une perspective d'évaluation des risques. *Juin 2022, n° 267, nt100, pp. 58-68.*

► CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

EMC Europe 2022 - International Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility, September 5-8, 2022, Gothenburg, Sweden

- HAMMEN L., PICHON L., LE BIHANY Y., BENSETTI M., FLEURY G. - Testing immunity of active implantable medical devices to industrial magnetic field environments. (Tester l'immunité des dispositifs médicaux implantables actifs aux champs magnétiques industriels). *Proceedings, 6 p.*

► PROTECTION COLLECTIVE ET INDIVIDUELLE

International Journal Of Occupational Safety and Ergonomics

- MARCHAL P., BAUDOIN J. - Proposal for a method for analyzing smart personal protective systems. (Proposition de méthode d'analyse des systèmes intelligents de protection individuelle). *Juillet 2022, vol. 28, n°3, p. 1566-1576.*

► RAYONNEMENTS OPTIQUES

Radioprotection

- DENIEL J.M., THOMMET S. - Occupational eye protection using Augmented Reality: a proof of concept. (Réalité Augmentée et protection visuelle: une preuve de concept). *April 2022, Vol. 57, N°2, pp. 165-173.*

Références en santé au travail

- BRISSINGER D. - Désinfection par UV-C : quels risques professionnels ? *Septembre 2022, n°171, QR 167, pp. 103-105.*

Hygiène et sécurité du travail

- BRISSINGER D., DENIEL J.M. - Risques photobiologiques liés aux équipements de désinfection UV-C et mesures de prévention. *Septembre 2022, n° 268, dc34, pp. 5-11.*

► VIBRATIONS

Biomechanics and Modeling in Mechanobiology

■ REDA M., NOEL C., SETTEMBRE N., CHAMBERT J., LEJEUNE A., ROLIN G., JACQUET E. - An agent-based model of vibration-induced intimal hyperplasia. (Modélisation multi-agents de l'hyperplasie intimale induite par les vibrations). *Juillet 2022, Vol. 21, pp. 1457-1481.*

Ergonomics

■ AMARI M., PERRIN N. - Whole-body vibration exposure in unfavourable seated postures: apparent mass and seat-to-head transmissibility measurements in the fore-and-aft, lateral, and vertical directions. (Exposition aux vibrations du corps entier dans des postures assises défavorables : mesures de la masse apparente et de la transmissibilité siège-tête dans les directions avant-arrière, latérale et verticale). *2022, Vol. 66, N°1, pp. 136-151.*

Journal of Biomechanics

■ NOEL C., SETTEMBRE N. - Assessing mechanical vibration-altered wall shear stress in digital arteries. (Estimation des modifications induites par les vibrations mécaniques sur les contraintes de cisaillement dans les artères digitales). *January 2022, Vol. 131, 14 p.*

Vibration

■ NOEL C., SETTEMBRE N., REDA M., JACQUET E. - A Multiscale Approach for Predicting Certain Effects of Hand-Transmitted Vibration on Finger Arteries. (Une approche multi-échelle pour la prédiction de certains effets des vibrations sur les artères digitales). *April 2022, Vol. 5, Issue 2, pp. 213-237.*

Références en santé au travail

■ AMARI M., PERRIN N. - Effets des positions de conduite sur l'exposition aux vibrations transmises à l'ensemble du corps. *Septembre 2022, n°171, TF301, pp. 15-24.*

ISB2021 – 28^e Congress of the International Society of Biomechanics, July 25-29, 2021, Stockholm, Sweden

■ REDA M., NOEL C., SETTEMBRE N., CHAMBERT J., LEJEUNE A., ROLIN G., JACQUET E. - An agent based model of the vibration-induced arterial growth: feeding the model parameters by cellular tests. (Modélisation multi-agent de la croissance artérielle induite par les vibrations : identification des paramètres du modèle par des tests cellulaires). *Proceedings, 1 p.*

HRV2022 - 55th Conference on Human Responses to Vibration, June 22-24, 2022, Exeter, United Kingdom

■ REBELLE J., BRUANT D. - Design and developments of a low-cost velocity sensor to refine analysis during whole-body vibration assessments. (Développements pour la conception d'un capteur de vitesse bas coût pour raffiner les analyses lors de l'évaluation de l'exposition aux vibrations de l'ensemble du corps). *Proceedings, 11 p.*

■ REBELLE J. - A new dock leveller platform hinged lip design: the level of vibration and shock reduction obtained. (Une nouvelle conception de lèvres articulées de niveleur de quai : niveau de réduction des vibrations et des chocs obtenu). *Proceedings, 10 p.*



Thèse de doctorat en Sciences pour l'ingénieur et microtechniques, juillet 2022, Université Bourgogne Franche-Comté, École doctorale n°37

■ REDA M. - Modélisation mécano-biologique de l'hyperplasie intinale induite par les vibrations transmises au système main-bras. *Mémoire de thèse 184 p. (Note scientifique et technique n° 379).*

▶ AUTRES RISQUES PHYSIQUES ET MÉCANIQUES

Archives des maladies professionnelles et de l'environnement

■ TISSOT C., REBELLE J. - Évaluation de l'impact d'actions en prévention menées sur 20 ans par l'analyse textuelle de 77 cas d'accidents de chariots élévateurs. *Décembre 2022, Vol. 83, n°6, pp. 558-570.*

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

▶ CONCEPTION DES LIEUX ET SITUATIONS DE TRAVAIL

Hygiène et sécurité du travail

■ FENO M., SAVESCU A., LIEHRMANN E., RICCI E. - Conception des locaux de travail en "BIM". Quels enjeux pour la prévention des risques professionnels ? *Mars 2022, n°266, dc33, pp. 5-9.*

In: *Risk-Taking, Prevention and Design. A Cross-Fertilization Approach*, Published July 29, 2022 by CRC Press

■ QUILLEROU E., A. BOY G. - Risk-Taking, prevention and design: Introduction. (Prise de risque, prévention et conception : Introduction). 5 p.

■ BOULNOIS S., QUILLEROU E. - Managing and Preventing Operational Risk Taking at Design Time: Stories from a Human-Centered Design Project. (Gestion et prévention de la prise de risques opérationnels au moment de la conception : histoires d'un projet de conception centrée sur l'humain). *Chapter 12, pp. 185-211.*

■ QUILLEROU E., A. BOY G. - Risk-Taking, prevention and design: Conclusion. (Prise de risque, prévention et conception : conclusion). *Chapter 14, pp. 239-243.*

Thèse de doctorat en Génie Informatique, automatique et traitement du signal, 31 janvier 2022, Université de Lorraine, École Doctorale IAEM, Cran – UMR 7039

■ DUPONNOIS R. - Contribution à l'identification de situations dangereuses et à leurs détections par l'analyse des dérives de l'équipement de production. Application à une ligne d'assemblage automatisée. *Mémoire de thèse 231 p. (Note scientifique et technique n° 377).*

► HORAIRES ATYPIQUES

Frontiers in Public Health

■ BOINI S., BOURGKARDE., FERRIERES J., ESQUIROL Y. - What do we know about the effect of night-shift work on cardiovascular risk factors? An umbrella review. (Que savons-nous des effets du travail de nuit sur les facteurs de risque cardiovasculaires ? Une revue de la littérature). *November 2022, Vol. 10, 21 p.*

► MAINTENANCE

Safety Science

■ GRUSENMEYER C. - Maintenance outsourcing and safety. Case study of disorganization phenomena in a reticular organization. (Externalisation de la maintenance et sécurité. Étude de cas de phénomènes de désorganisation dans une organisation réticulaire). *Septembre 2022, Vol. 153, 14 p., 105801.*

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

Références en santé au travail

■ GUYOT S. - Rétrospective du télétravail en Europe et implications en matière de santé, sécurité et conditions de travail. *Mars 2022, n°169, TM66, p. 53-66.*

■ LAURENT L. - Les défis de la pandémie et du monde post-pandémique - Conférence PEROSH. *Mars 2022, n°169, TD286, pp. 89-97.*

■ LAPOIRE-CHASSET M., URMES I., WILD P., TISSOT C. - Expositions professionnelles et santé des travailleurs intérimaires. *Juin 2022, n° 170, TF 300, p. 63-76.*

Hygiène et sécurité du travail

■ LAURENT L. - Défis pandémiques et post-pandémiques liés au télétravail. *Mars 2022, n°266, cc36, pp. 81-84.*

► CULTURE DE PRÉVENTION ET PERCEPTION DU RISQUE

Revue française des affaires sociales

■ BONNETT., DRAIS E. - Comprendre les inégalités sociales de santé par la dimension émotionnelle du travail. Esquisse d'une typologie dans le secteur marchand de l'aide à domicile. *Février 2022, Vol. 2021/4, pp. 227-244.*

Références en santé au travail

■ DRAIS E., BONNET T., ARDAGNA J. - Risques et ressource du travail émotionnel : actualités, enjeux pour la prévention, perspectives théoriques et méthodologiques, Compte rendu Colloque GESTES Lyon. *Décembre 2022, n° 172, TD293, pp. 61-67.*

In: Risk-Taking, Prevention and Design. A Cross-Fertilization Approach, Published July 29, 2022 by CRC Press

■ DRAIS E., FAVARO M. - Worksite risk management as a cultural issue: The needs of risk work and regulation to improve safety culture. (La gestion des risques sur le lieu de travail en tant que problème culturel : les besoins du travail sur les risques et de la réglementation pour améliorer la culture de prévention. *Chapter 5, pp. 61-73.*

In: Socialisation des émotions, Sous la direction de Nathalie Burnay, Juin 2022, De Boeck Supérieur, Bruxelles, Belgique

■ DRAIS E., BONNET T. - La contractualisation émotionnelle et ses ambivalences au cœur de l'aide à domicile. *Chapitre 7, pp. 149-170.*

SELF 2022 – 56^e Congrès de la Société d'ergonomie de langue française, 6-8 juillet 2022, Genève, Suisse

■ MARC J. - La difficile prise en compte des risques pour la santé par l'encadrement intermédiaire. *Actes de congrès, pp.19-24.*

► RISQUES PSYCHOSOCIAUX

Frontiers in Public Health

■ COLIN R., WILD P., PARIS C., BOINI S. - Co-exposures to Physical and Psychosocial Work Factors increase the occurrence of workplace injuries among French care workers. (La multi-exposition aux facteurs physiques et psychosociaux accroît le risque de survenue d'accidents du travail chez les travailleurs français de l'aide et du soin). *13 December 2022, Vol. 10, 13 p. 1055846.*

Archives des maladies professionnelles et de l'environnement

■ COLIN R., WILD P., PARIS C., BOINI S. - Facteurs psychosociaux et accidents du travail, que dit la littérature ? 2022, *Vol. 83, pp. 587-605.*

Références en santé au travail

■ VAN DE WEERDT C., MARC J., PATY B. - Vulnérabilité et risques émergents : penser et agir ensemble pour transformer durablement - 56^e congrès SELF. *Décembre 2022, n° 172, TD295, pp. 79-87.*

Hygiène et sécurité du travail

■ VAN DE WEERDT C., LE DOUCE L. - Violences externes en services d'urgences hospitalières : éclairage théorique et pratique pour la prévention. *Septembre 2022, n° 268, ec35, pp. 64-71.*

■ GROSJEANV. - Compte-rendu de la conférence du réseau Perosh Wellbeing at Work 2022 sur le thème du bien-être au travail dans une époque tourmentée. *Décembre 2022, n° 269, cc38, pp. 67-73.*

SELF 2022 – 56^e Congrès de la Société d'ergonomie de langue française, 6-8 juillet 2022, Genève, Suisse

■ VAN DE WEERDT C., LE DOUCE L. - Violences externes en services d'urgences hospitalières : éclairage théorique et pratique pour la prévention. *Actes de congrès, p.198-203.*

► TRANSPORT, LOGISTIQUE, RISQUE-ROUTIER

Références en santé au travail

■ AUBLET-CUVELIER A., DELEPINE A., GHEZZI-TOURNADE F., GOVAERE V., PERIS E., SIANO B., WEIBEL L. - 36^{ème} congrès national de médecine et de santé du travail. *Septembre 2022, n°171, TD 291, pp. 67-74.*

Hygiène et sécurité du travail

■ GOVAERE V., WIOLAND L. - Ce que peut nous apprendre la crise sanitaire sur le secteur de la logistique. *Juin 2022, n°267, do37, p.42-48.*

► TROUBLES MUSCOLOSQUELETTIQUES

European Journal of Applied Physiology

■ SCHWARTZ M., DESBROSSES K., THEUREL J., MORNIEUX G. - Using passive or active back-support exoskeletons during a repetitive lifting task: influence on cardiorespiratory parameters. (Utilisation d'exosquelettes passifs ou actifs d'assistances du dos lors d'une tâche de manutention répétée : influence sur les coûts métaboliques et cardiaques). *December 2022, Vol. 122, Issue 12, pp. 2575-2583.*

International Journal of Occupational Safety and Ergonomics

■ SCHOOSE C., CUNY A., CAROLY S., CLAUDON L., WILD P., SAVESCU A. - Evolution of the biomechanical dimension of the professional gestures of grinders when using a collaborative robot. (Evolution de la dimension biomécanique des gestes professionnels des ébarbeurs lors de l'usage d'un robot collaboratif). *24 May 2022, 8 p.*

Le travail humain

■ COUTAREL F., AUBLET-CUVELIER A., CAROLY S., VEZINA N., ROQUELAURE Y., CUNY A., NORVAL M., COMPAN N. - Marge de manœuvre et prévention des troubles musculo-squelettiques : quelles perspectives ? *Janvier 2022, Vol. 85, n°1, pp. 3-31.*

Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé

■ MAJOR M.E., WILD P., CLABAULT H. - Développement méthodologique : indicateurs et profils pour le suivi longitudinal des TMS. *2022, 24-1, 7280.*

SST Mag

■ AUBLET-CUVELIER A., ROQUELAURE Y., DESCATHA A. - TMS, un enjeu fort pour l'équipe de santé au travail. *Décembre 2022-Janvier-Février 2023, n° 23, pp. 26-27.*

Références en santé au travail

■ SAVESCU A., TIHAY D. - Robotique collaborative : enjeux de santé et de sécurité au travail. *Juin 2022, n° 170, TC 177, pp. 17-26.*



AHFE 2022 – 13th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, July 24 - 28, 2022, New-York, United-States

■ SAVESCU A., URMES I., REMY O., RENO G., MOREL O., DESBROSSES K. - Collaborative Robotics: The Analysis of the Influence of the Tool and the Characteristics of the Task on the Upper Limbs Joint Angles and Task Precision. (Robots collaboratifs : Analyse de l'influence de l'outil et de la force sur les angles articulaires au niveau des membres supérieurs). *Proceedings*, pp. 403–410.

Thèse de doctorat en Biologie-santé-environnement « Sciences de la vie et de la santé », 15 décembre 2022, Université de Lorraine

■ SCHWARTZ M. - Conséquences biomécaniques et physiologiques de l'usage d'exosquelettes robotisés lors de tâches de manutention manuelle. *Mémoire de thèse*, 152 p.

Thèse de doctorat en biologie santé « Epidémiologie, analyse de risque, recherche clinique », 1^{er} juin 2022, Université de Rennes 1

■ COLIN R. - Effets de la co-exposition aux facteurs de risque physiques et psychosociaux dans la survenue d'accident du travail. *Mémoire de thèse*, 218 p.

► VIEILLISSEMENT, RETOUR AU TRAVAIL, PDP

Journal of Occupational Rehabilitation

■ WILSON N., NAMBIEMA A., PORRO B., DESCATHA A., AUBLET-CUVELIER A., EVANOFF B., ROQUELAURE Y. - Effectiveness of physical activity interventions on return to work after a cancer diagnosis: a systematic review and meta-analysis. (Efficacité des interventions d'activité physique sur le retour au travail après un diagnostic de cancer : une revue systématique et une méta-analyse). *2022 July, Vol. 33, n°1, pp. 4-19.*

Gérer et comprendre

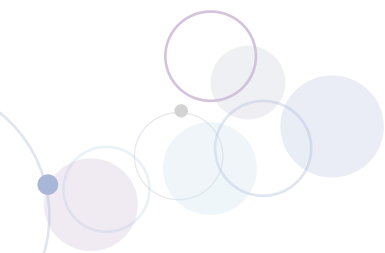
■ SALMON I., JUBAN J.Y., ABORD DE CHATILLON E. - Plutôt un ou deux ripeurs derrière le camion-poubelle ? Quand la réalité du travailleur brise le rêve du gestionnaire. *Juin 2022, n°148, pp. 37-48.*

Recherches en sciences de gestion

■ SALMON I., JUBAN J.Y., ABORD DE CHATILLON E. - Il est temps pour la gestion des âges de prendre sa retraite : une revue de littérature. *2022, Vol. 2, n° 149, pp. 127-150.*

Références en santé au travail

■ GUYOT S. - Vivre en santé, au travail et au chômage : l'affaire de tous, Colloque du conservatoire national des arts et métiers, 29-30 Septembre 2022. *Décembre 2022, n° 172, TD296, pp. 89-98.*



➔ THÉMATIQUES FOCUS

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

Références en santé au travail

■ PIERRETTE M., CUNY A. - Impacts de la pandémie de Covid-19 sur les conditions de travail et la santé du personnel soignant des Ehpad privés en France. *Juin 2022, n° 170, TF 299, p. 53-62.*

► INDUSTRIE DU FUTUR ET PREVENTION

Techniques de l'ingénieur

■ MARTIN P., DAILLE-LEFEVRE B., GODOT X., MARSOT J. - Usine du futur : conception des postes de travail et aspects santé-sécurité. *Juillet 2022, SF 150, 23 p.*

Hygiène et sécurité du travail

■ SGHAIER A., WIOLAND L. - Robots collaboratifs : de l'identification des risques aux solutions techniques et organisationnelles. *Septembre 2022, n° 268, do38, pp. 30-36.*

■ TIHAY D., BLAISE J.C. - La robotique collaborative : les enjeux en prévention des risques professionnels. *Septembre 2022, n° 268, do38, pp. 20-25.*

■ WIOLAND L., BALSIERE A. - Collaboration Homme-robot sur une chaîne de production dans le secteur de l'agroalimentaire. *Septembre 2022, n° 268, do38, pp. 37-42.*

Références en santé au travail

■ SAVESCU A., TIHAY D. - Robotique collaborative : enjeux de santé et de sécurité au travail. *Juin 2022, n° 170, TC 177, pp. 17-26.*

CIGI-Qualita 19 – Conférence Internationale Génie Industriel QUALITA, 25-26 juin 2019, Montréal, Québec, Canada

■ MARTIN P., DAILLE-LEFEVRE B., SIADAT A., MARSOT J., GODOT X., LUX A., ETIENNE A., DANTAN J.Y. - Résultats préliminaires sur les nouveaux challenges de santé - sécurité au sein de l'usine du futur. *Proceedings 10 p.*

JCM18 – International Joint Conference on Mechanics, Design Engineering and Advanced Manufacturing, Cartagena, Spain

■ MARTIN P., MARSOT J., DAILLE-LEFEVRE B., GODOT X., ABBA G., SIADAT A. - New issues for workers safety in the Factory of the future. (Nouvelles questions soulevées par l'Usine du futur vis-à-vis de la sécurité des travailleurs). *Proceedings, pp. 402-411.*

► POLYEXPOSITIONS AU TRAVAIL

International Journal of Environmental Research and Public Health

- LAROCCA B., SARAZIN P. - MiXie, an online tool for better health assessment of workers exposed to multiple chemicals. (MiXie, un outil en ligne pour une meilleure évaluation de la santé des travailleurs exposés à des polyexpositions chimiques). *January 2022, Vol. 19, n°2, 11 p., 951.*
- CLERC F., POUYATOS B. - A Case Study about Joining Databases for the Assessment of Exposures to Noise and Ototoxic Substances in Occupational Settings. (Jonction de bases de données pour l'évaluation des polyexpositions en milieu professionnel : une étude de cas sur le bruit et les substances ototoxiques). *April 2022, Vol. 19, n°8, 13 p., 4455.*
- SAUVE J.F., EMILI A., MATER G. - Application of Market Basket Analysis methods to assess exposures to chemical mixtures in two large occupational exposure databases. (Application de méthodes d'analyse de paniers du marché dans l'évaluation de l'exposition aux mélanges d'agents chimiques au sein de deux grandes bases de données d'exposition professionnelle). *February 2022, Vol. 19, n°3, 13 p. 1746.*
- BOHN V., RENATA JOSE M., MARIOTTI ROGGIA S., ZUCKTI F., POUYATOS B., VENETT., KRIEG E., BENDER MOREIRA DE LACERDA A. - Temporary and permanent auditory effects associated with occupational co-exposure to low levels of noise and solvents. (Effets auditifs temporaires et permanents associés à la co-exposition professionnelle à de faibles niveaux de bruit et de solvants). *August 2022, Vol. 19, n° 16, 19 p., 9894.*

Detritus

- BATAIS P., BONTHOUX F., LECHENE S., KUNZ-IFFLI J., MONTA N., GROSJEAN J., DUQUENNE P. - A comparative study of real-time monitoring detection and active sampling measurements in evaluating exposure levels to ammonia. (Une étude comparative de la détection en temps réel et de prélèvements actifs sur filtres pour l'évaluation des niveaux d'exposition à l'ammoniac). *2022, Vol. 21, pp. 94-104.*

EMC – Pathologie professionnelle et de l'environnement

- BERNAL E., THOMAS A., VENET T., POUYATOS B. - Troubles de l'audition liés à l'exposition professionnelle au bruit et à des agents chimiques. *2022, 6 p.*

Hygiène et sécurité du travail

- CLERC F., POUYATOS B. - Poly-exposition au bruit et aux substances ototoxiques : premiers résultats d'analyse de bases de données nationales et institutionnelles. *Janvier 2022, n°265, do35, pp. 21-31.*
- SAUVE J.F., EMILI A., MATER G. - Portrait des situations de polyexposition aux substances chimiques identifiées dans la base Colchic entre 2010 et 2019. *Janvier 2022, n°265, db13, pp. 80-86.*
- JUDON N., BERLIOZ B., BOINI S., CHEDIK L., CLAUDON L., CLERC F., COSNIER F., EMILI A., KERANGUEVEN L., NDAW S., PERIS E., POUYATOS B., TURPIN-LEGENDRE E., SAUVE J.F., PATRASCU C. - La charge physique et son influence sur les effets de l'exposition aux substances chimiques volatiles. *Janvier 2022, n° 265, do35, pp.32-44.*

■ **Directeur de publication**

Stéphane PIMBERT

■ **Rédaction en chef**

Louis LAURENT

■ **Direction rédactionnelle et coordination générale**

Agnès AUBLET-CUVELIER, Patricia BERNARD

■ **Crédits photos de la couverture :**

Gaël KERBAOL - INRS / 2023 (laboratoires)

Serge Morillon - INRS / 2014 (terrain)

■ **Ont également contribué à la publication**

Les responsables d'études de l'INRS, Aline MARCELIN, Chantal ROLIN

■ **Conception graphique**

Trait d'Union

■ **Mise en page**

Valérie LATCHAGUE CAUSSE

Edition INRS ED 4494 - ISSN 2265-0504



Notre métier, rendre le vôtre plus sûr

Siège social

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

Centre de Lorraine

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

Courriel : info@inrs.fr

www.inrs.fr

