

Études & Recherche

Rapport 2021/2022



→ Carte d'identité de l'INRS

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

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

» MISSIONS

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

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

» MODALITÉS D' ACTIONS

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

Assistance

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

Études et recherche

Les programmes d'études et de recherche couvrent l'ensemble des risques professionnels, des risques toxiques, aux risques mécaniques ou psychosociaux. Ils sont conduits au sein de 20 laboratoires et impliquent des ingénieurs, médecins, chimistes, ergonomes, techniciens...

Formation

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

Information

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

» QUELQUES CHIFFRES

Effectif

- 579 salariés basés à :
Paris (siège social)
et Vandœuvre-les-Nancy
(Lorraine)

Budget

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

Public

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

→ Sommaire

■ Avant-propos

Éditorial de Louis LAURENT, Directeur des études et recherche de l'INRS	4
Introduction	6
Présentation des laboratoires de l'INRS	13
Bilan études et recherche à quatre ans du Plan stratégique INRS 2018-2022	16
Entretien avec Paulien BONGERS, Présidente du réseau PEROSH	19

■ Programme Études et recherche 2018-2022

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

Programmes de prévention

Prévention des risques biologiques	21
Prévention des risques chimiques	25
Prévention des risques physiques et mécaniques	52
Prévention des risques liés à l'organisation et aux situations de travail	61

Thématiques Focus en santé et sécurité au travail

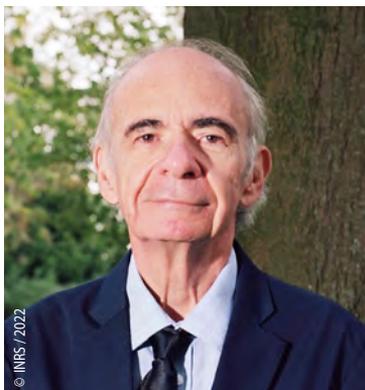
Industrie du futur et prévention	70
Reproduction et travail	73
Impact des technologies de l'information et de la communication	75
Aide et soin à la personne	77
Polyexpositions au travail	78

■ Composition de la Commission scientifique et des groupes de suivi

81

■ Liste des publications 2021

86



Louis LAURENT
Directeur des études et recherche,
INRS

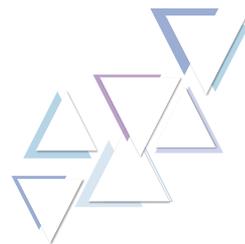
➔ Éditorial

Cette 13^e édition du rapport Etudes et recherche, 2021-2022, est la dernière rédigée durant le plan stratégique 2018-2022 de l'INRS. A cette occasion, un court bilan des études de ces cinq dernières années sera proposé. Cette brochure décrit les études en cours en 2022, et apporte plus de détails sur celles terminées en fin d'année 2021, soit un total de 112 projets. Ces travaux de recherche, dédiés à la prévention des risques professionnels, s'inscrivent dans un continuum d'activités, entre la création de connaissances (études et recherche) et leur transfert aux entreprises et aux acteurs de la prévention (formation, information, assistance).

Le nombre d'études traitées dans la brochure est en nette hausse par rapport à l'édition précédente, l'impact de la pandémie s'étant atténué. Vous pourrez découvrir à la lecture de ce rapport de nombreux résultats de recherche très intéressants. Il serait difficile de tous les citer dans cet éditorial. Aussi me limiterai-je à citer quatre exemples représentatifs de l'étendue des sujets traités.

Fin 2022 s'achèvera **une étude épidémiologique qui visait à déterminer les facteurs prédictifs de la survenue d'accidents du travail pour les salariés du secteur de l'aide à la personne**, secteur frappé par un taux élevé d'accidents du travail. Elle s'appuyait sur les résultats 2013 et 2016 de l'enquête « conditions de travail » de la Dares (Direction de l'animation de la recherche, des études et des statistiques du ministère chargé du Travail), appariée aux données de sinistralité de la Cnam. L'ensemble des données concernant 4 418 personnes ont ainsi été collectées. Les analyses ont fourni de nombreux résultats. Et ont en particulier montré sans ambiguïté que la co-exposition aux facteurs de risque physiques et psychosociaux avait un effet très défavorable. Cette étude a également donné des pistes de prévention en pointant les déterminants organisationnels qui influent sur la sinistralité.

Un deuxième exemple est une **étude portant sur le syndrome de Raynaud**, maladie professionnelle invalidante qui touche les salariés dont le système mains-bras est exposé à des vibrations transmises par des outils, étude qui s'est achevée en 2021. C'est un sujet important, dans la mesure où plus de 10 % des salariés sont exposés à de telles vibrations. Ce travail, réalisé en collaboration avec des partenaires extérieurs, a consisté en une combinaison d'approches numériques et expérimentales. L'approche expérimentale a notamment permis la mesure directe de la perturbation du flux sanguin dans les petites artères des doigts, par échographie-doppler à haute résolution sur des sujets soumis à des vibrations. Des travaux plus exploratoires portaient sur la modélisation des phénomènes biologiques lents qui interviennent au fil des années. Ces travaux mènent à des actions concrètes de protection des salariés, à court terme *via* notamment la normalisation et à plus long terme en prenant en compte les phénomènes lents si les résultats de l'étude se confirment.



Le troisième exemple porte sur **l'exposition des travailleurs dans le secteur du recyclage des batteries**. Les poussières et vapeurs générées peuvent contenir des métaux toxiques tels que le cadmium, le cobalt, le nickel, le lithium et le plomb. Une population de 86 travailleurs a été incluse, aussi bien des opérateurs que du personnel administratif. Les opérateurs ont été répartis en cinq groupes d'exposition similaire : tri, démantèlement, traitement, polyvalent et maintenance. Des concentrations parfois élevées de métaux urinaires collectées chez les travailleurs exposés ont été mesurées, témoignant des niveaux élevés de métaux inhalables dans leur environnement de travail. Cette étude renforce nos connaissances sur la composition des expositions dans ce secteur du recyclage, et démontre la nécessité d'améliorer les mesures préventives telles que l'optimisation de l'extraction de l'air pollué à la source et la séparation des zones de travail afin de limiter la diffusion de la contamination.

Enfin, une étude terminée en 2021, portait sur les travailleurs amenés à **pénétrer dans des conteneurs, susceptibles de les exposer à des composés gazeux dangereux**, qu'ils soient émis par les marchandises ou introduits volontairement (fumigation). Cette étude a été réalisée en collaboration avec les Carsat Normandie, Sud-Est, Rhône-Alpes et un médecin spécialisé en médecine maritime. Elle impliquait des campagnes de mesure sur le terrain ainsi que la réalisation d'essais sur des conteneurs dédiés aux expérimentations. Elle comportait également un volet modélisation numérique de la ventilation. Les mesures ont confirmé la présence de composés chimiques nocifs. La nécessité d'intégrer le risque chimique dans l'évaluation des risques professionnels s'est imposée, et plusieurs supports de communication proposant des mesures de prévention à destination des employeurs, des préventeurs et des salariés ont été édités et diffusés. L'étude a également conduit au développement de deux prototypes industriels de systèmes de ventilation qui ont démontré leur potentiel de dépollution des conteneurs.

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

»» Direction des études et recherche

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

➔ Introduction

» La recherche à l'INRS

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

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

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

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

Ces six départements comptent environ 260 personnes (sur un effectif total de 579 postes permanents à l'INRS, dont environ 60 % au centre de Lorraine). Parmi eux, 63 % sont des chercheurs ou ingénieurs, 23 % sont impliqués dans des activités de support technique, 6 % sont des doctorants. Les 8 % restant recouvrent diverses activités (expertise, coordination, support administratif...). Il est important de noter qu'une partie du temps, les personnels de ces départements sont également impliqués dans des actions d'assistance aux entreprises, de formation et d'information.

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



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

» Particularités de la recherche en santé et sécurité au travail

La complexité des situations de travail à étudier de même que la nécessité d'élaborer et mettre en œuvre des méthodologies menant à des résultats fiables font que cette activité partage avec le monde académique des caractéristiques communes de rigueur et d'excellence scientifique. Les études de l'INRS présentent aussi des spécificités.

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

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

Ces connaissances peuvent porter sur des sujets variés :

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

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

Une caractéristique de ces études, qui constitue aussi leur plus-value, est qu'une bonne partie d'entre elles associe des entreprises et des **données de terrain**, en particulier lorsqu'il s'agit de mesurer des expositions, leurs effets sur la santé, d'analyser des situations de travail, de tester des méthodes de mesure ou des solutions de prévention en conditions réelles. Une analyse des 112 études évoquées dans ce rapport montre qu'environ 40 % d'entre elles comportent des interventions sur le terrain.

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

CONTINUUM RECHERCHE - TRANSFERT DE CONNAISSANCES

ÉTUDES & RECHERCHE



Les travaux concernant **les surfaces contaminées** font suite au constat que de nombreux secteurs d'activité génèrent des produits semi-volatils et particulaires qui contaminent les surfaces de travail ; ils peuvent alors être remis en suspension dans l'air ou exposer les salariés par voie cutanée ou par ingestion (contact main-bouche). Face à un déficit de connaissances sur ce mode de transmission, les équipes de recherche de l'INRS se sont mobilisées pour produire des savoirs sur les prélèvements surfaciques, mieux connaître les processus qui entrent en jeu, dans l'objectif de parvenir à une approche structurée et harmonisée, afin d'évaluer et prévenir ces risques. Ces connaissances ont été transférées par le biais de publications, communications, et par l'organisation d'une journée technique destinée aux acteurs de prévention en 2021. Les outils développés dans ce cadre feront également l'objet d'un transfert technologique.

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 et congrès, fiches décrivant des méthodes d'analyse, contribution à la normalisation, mise à disposition de logiciels, données d'entrée pour une brochure, vidéos explicatives, contenus de formation, 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. Sur la période 2017-2021, 228 articles ont été publiés dans des revues nationales, dont 83 % concernent l'une ou l'autre de ces deux revues.

» Une organisation par étude

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



Évolution du nombre d'études en cours

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

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

- À chaque département de l'INRS est associé un groupe de suivi, composé de personnalités externes reconnues, qui donne un avis sur les projets d'études, voire propose des améliorations. Il se prononce également sur les rapports finaux. L'ensemble des groupes de suivi des six départements mobilise environ 60 personnes.
- Ces avis sont ensuite traités par la commission scientifique de l'INRS qui émet une évaluation sur chaque proposition ou rapport final. Cette commission est composée de 20 membres issus des groupes de suivi des départements qui représentent l'ensemble des disciplines des laboratoires de l'INRS (voir la composition de la commission et des groupes de suivi page 81).

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 établissements de santé, des services de prévention et de santé au travail, ou divers établissements (CSTB, Ineris, Santé publique France). De même, l'INRS s'associe à des établissements étrangers, ses homologues qui sont des partenaires privilégiés et des universités. Parmi les partenaires les plus fréquents, l'IFA (Institut für Arbeitsschutz) en Allemagne, Unisanté en Suisse et les 12 autres membres du réseau européen PEROSH, sans oublier l'RSST (Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail) au Canada. L'enjeu est de partager les connaissances produites au sein de l'INRS et de bénéficier de celles développées par les partenaires, de faire le lien entre des recherches pratiquées dans divers laboratoires et les applications en matière de prévention, d'attirer des équipes extérieures sur la thématique santé - travail. Une proportion importante des partenaires académiques de l'INRS est composée de laboratoires non dédiés au sujet santé et travail, qui apportent des compétences dans des domaines variés (ingénierie, technologies de l'information, sciences humaines et sociales, physicochimie...). Les partenaires travaillant spécifiquement sur la thématique santé au travail sont quelques laboratoires français, mais 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 90 études en cours en 2022, présentées dans cette brochure, 54 soit 60 % impliquent des collaborations avec 109 partenaires (il peut y en avoir plusieurs par étude), dont 86 nationaux et 23 étrangers. Deux études ne sont pas prises en compte dans ce décompte des partenaires car elles impliquent de vastes consortiums comme le projet Parc qui implique 200 acteurs).

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 quatre équipes mixtes entre l'INRS et un établissement de recherche et d'enseignement supérieur.
- **Liées à des projets de recherche.** L'INRS s'associe à des établissements extérieurs qui apportent des compétences particulières.
- **L'accueil des doctorants co-encadrés** par les responsables d'études de l'INRS et des universitaires. Chaque année une trentaine de doctorants sont impliqués dans des études de l'INRS. Parmi eux une petite proportion de salariés INRS (15%). Ce co-encadrement est également propice à l'établissement de liens avec les partenaires universitaires, permettant un enrichissement scientifique réciproque et une mutualisation de moyens au service de l'amélioration des connaissances. Ces doctorants et à travers eux les collaborations engagées concourent de manière significative à la production scientifique de l'INRS. Sur les 112 études décrites dans cette brochure, 44 ont fait ou feront l'objet d'une thèse soit 40%.

	Partenaire national	Partenaire international
Partenaire académique : Organisme, écoles, universités	54	7
Cnam, Cramif / Carsat / CGSS	15	-
Centre technique	6	3
Service de santé au travail, Médecine du travail	5	
Entreprise, structure professionnelle	2	
Homologues de l'INRS	-	13
Autres	4	

Les 109 partenariats en cours en 2022

Les appels à projets collaboratifs, notamment ceux de l'Union européenne, de l'ANR et de l'Anses, sont également un moyen de favoriser les collaborations sur des thèmes que traite l'INRS, mais aussi l'intégration des équipes de l'INRS dans la communauté scientifique. En 2022, 8 études s'inscrivent dans des actions collaboratives financées par des agences externes (4 financements européens, 3 de l'agence nationale de la recherche et un issu de l'Observatoire national Interministériel de la Sécurité routière).

» Équipes projets INRS-CNRS/Université/Écoles

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

» Perosh

L'INRS est engagé au sein du réseau PEROSH, qui rassemble la plupart des acteurs européens de recherche en santé et sécurité au travail. Il regroupe 14 organismes de 13 pays. Ce réseau sert de support à des activités communes. Il est notamment utile pour partager des informations au travers d'ateliers spécifiques, voire mener des activités 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).



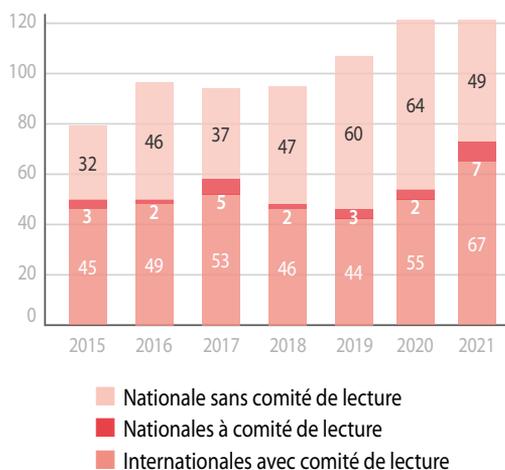
Réunion PEROSH à l'Institut fédéral pour la santé et sécurité au travail (BAuA) à Berlin, mai 2022

- Un travail collectif de neuf établissements visant à analyser les différentes techniques de mesures de l'amiante existant en Europe.
- Un travail collectif de sept établissements sur l'évaluation des risques associés aux projecteurs de haute puissance.
- Des projets de deux ateliers, d'une part sur les exosquelettes et d'autre part sur les activités en relations avec le public.
- Un travail collectif de revue sur l'exposition des personnes en charge de la collecte des déchets qui a été publié en 2021 dans la revue « Sciences of the Total Environment ».

La validation des projets et des résultats

Il s'agit pour l'INRS de produire des résultats robustes et non discutables. Une **évaluation** externe par les pairs au niveau de la publication des résultats : lorsque le sujet de l'étude s'y prête (il faut exclure les travaux à caractère trop exploratoire ou à caractère purement applicatif), les équipes publient leurs résultats dans des revues internationales à comité de lecture, ce qui revient à organiser une mise en débat des résultats. De même, la présentation des résultats à des colloques internationaux constitue un moyen de les confronter avec les travaux des autres équipes.

Nombre de publications dans des revues



Nombre de communications à des colloques de portée nationale ou internationale



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

➔ Présentation des laboratoires de l'INRS

En 2021, 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 260 personnes.



» 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



» Ingénierie des procédés

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

Laboratoires

Analyses spatiales
et temporelles des
expositions chimiques

Ingénierie aéralique

Procédé et épuration
des polluants





© S. Morillon - INRS/2018

» Toxicologie et biométrie

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

Laboratoires

Biométrie

Cancérogénèse,
mutagénèse
et reproxicité

Ototoxicité
et neuroxicité

Immunologie, sensibilisation
et allergie

Toxicocinétique, inhalation
et passage cutané



© S. Morillon - INRS/2018

» Ingénierie des équipements de travail

Le département développe de l'ingénierie de prévention des risques mécaniques et physiques liés aux équipements de travail. Les machines fixes ou mobiles, engins, véhicules, machines portatives, outils... entrent dans le champ d'action du département ainsi que les composants de sécurité, les locaux (ateliers, bureaux...) et les équipements de protection individuelle ou collective. En plus des risques d'accident, les équipements de travail sont sources de bruit, vibrations, rayonnements optiques ou électromagnétiques qui provoquent des maladies professionnelles. Le département vise l'amélioration, si possible dès la conception, de tous ces équipements et dispositifs de protection utilisés par l'homme au travail.

Laboratoires

Acoustique
au travail

Conception – équipements
de protection – interfaces
homme-machine

Électromagnétisme,
vibrations, optique

Sécurité des équipements
de travail et des
automatismes



© S. Morillon - INRS/2017

» Homme au travail

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

Laboratoires

Ergonomie et psychologie appliquée à la prévention

Gestion et organisation pour la santé et sécurité au travail

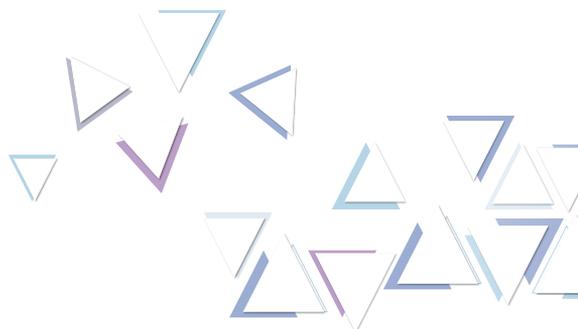
Physiologie mouvement - travail



© J.-P. Dalens - INRS/2012

» Épidémiologie en entreprise

Le département conduit des études épidémiologiques visant à mettre en évidence des altérations de la santé en rapport avec des expositions professionnelles à des produits, des environnements de travail ou des facteurs psychosociaux. Les études conduites s'intéressent aux pathologies respiratoires, cardiovasculaires, aux allergies, aux cancers, aux troubles musculosquelettiques, aux troubles de la reproduction et aux troubles liés à des facteurs psychosociaux. Le département conduit également des études d'évaluation d'impact sur la prévention d'interventions ou de formations. Ces différentes études peuvent nécessiter le développement, en interne, de méthodes statistiques adaptées.



➔ Bilan Etudes et recherche à quatre ans du Plan stratégique INRS 2018-2022

A l'approche de la fin du plan stratégique 2018-2022 de l'INRS, il a semblé intéressant de proposer un panorama des avancées scientifiques et techniques réalisées et des nouvelles connaissances acquises. Elles permettent de mieux se projeter dans les futures orientations de la recherche qui feront l'objet du prochain plan stratégique. Celui-ci, en cours d'élaboration en ce second semestre 2022, intégrera les évolutions du monde du travail, tout en prenant en compte les besoins d'expertise sur les risques traditionnels, pour répondre au plus près aux enjeux de santé et sécurité au travail.

QUELQUES CHIFFRES

159 études se sont déroulées au moins partiellement lors du plan stratégique 2018-2022. Parmi elles, 63 avaient été lancées avant 2018 et un tiers sera toujours en cours en 2023. Sur ces 159 études, 10 font ou ont fait l'objet de cofinancements externes par une agence nationale (ANR, Anses ...) et 6 par des fonds européens. Environ un tiers de ces études impliquent un travail de thèse co-encadré par des partenaires académiques.

» Les activités d'études et recherche

Concernant le risque chimique, 70 études ont été conduites et répondaient à quatre finalités :

Connaissance des dangers des substances chimiques (19 études). Il s'agissait d'apporter des connaissances manquantes sur certaines substances (nanoparticules, CMR, perturbateurs endocriniens, allergisants, solvants) et également de proposer des méthodes génériques pour tester les dangers : par exemple avec le développement de méthodes numériques ou la mise en œuvre de tests *in vitro* pour l'identification d'allergènes, de CMR, de perturbateurs endocriniens.

Développements de méthodes pour mesurer l'exposition des salariés (28 études). Parmi les faits marquants : la mise au point de méthodes d'analyse des émissions de moteurs diesel, ou des progrès importants en ce qui concerne les brouillards de fluides semi-volatils. On note également l'importations de techniques issues d'autres domaines comme la métrologie temps réel ou spatio-temporelle et la spectrométrie de masse non ciblée.

Exposition des salariés (6 études) dans diverses branches d'activité évaluée à partir de prélèvements en entreprise et/ou la recherche d'effets sur la santé des salariés. Parmi les résultats figurent ceux sur l'exposition des travailleurs aux huiles de coupe, l'étude de locaux de stockage de produits neufs, le cas du recyclage des batteries.

Moyens de protection (17 études). Il s'agit d'avancées en matière de ventilation, de filtres, de masques, voire de l'amélioration de procédés pour en améliorer la sécurité. Parmi les résultats d'études récentes, figurent ceux sur la pulvérulence des poudres, l'étude des caissons d'épuration des engins, la mise au point d'un procédé d'épuration par membrane et la caractérisation de l'efficacité des masques.

Concernant le risque biologique, 9 études ont été conduites sur trois sujets :

Exposition des salariés à des agents infectieux ou des toxines. Cette activité s'est fortement développée lors du dernier plan stratégique. Des résultats ont été obtenus sur l'exposition des travailleurs dans le secteur du tri et du recyclage des déchets, dans celui des installations de méthanisation. Des travaux ont également été initiés sur la connaissance des expositions aux mycotoxines.



Développements méthodologiques, un enjeu pour le risque biologique est l'harmonisation des méthodes qui en sont à un degré de maturité moindre que dans le cas de la chimie. On peut citer l'optimisation des milieux de culture utilisés pour évaluer les expositions aux bactéries ou moisissures, la mesure des endotoxines, les méthodes d'analyse des bioaérosols. Des travaux qui vont se poursuivre lors du prochain plan stratégique visent à développer une méthode de référence pour analyser le risque biologique au poste de travail.

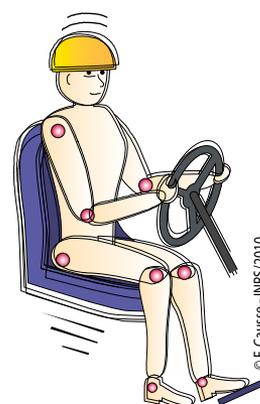
Equipements de protection, en lien avec la crise sanitaire, il a fallu apporter des réponses rapides sur l'efficacité des masques de protection respiratoire. Des travaux ont été menés pour définir l'efficacité des masques de tous types pour filtrer l'air expiré, la potentielle émission de matières toxiques par les masques chirurgicaux et pour porter à la connaissance des entreprises et des milieux de soin, les préconisations de choix et d'usage des masques.

Risques physiques et mécaniques qui comptent 23 études :

Bruit (10 études) : un premier sujet traité est le bruit non lésionnel qui, sans affecter l'audition, provoque de la gêne ou la fatigue cognitive des travailleurs. Des méthodes et outils ont été développés pour évaluer la qualité sonore des bureaux ouverts et améliorer les situations bruyantes dans le tertiaire. En ce qui concerne les bruits lésionnels, un protocole pour évaluer le confort des bouchons d'oreille a été développé. Une étude a également traité de l'exposition des professionnels du spectacle. Par ailleurs, des travaux ont porté sur le cas des salariés porteurs d'aides auditives.

Champs électromagnétiques (3 études) : il s'agissait de développer des outils numériques simplifiés permettant d'évaluer le risque. Un développement spécifique est également en cours pour traiter le cas des travailleurs équipés de dispositifs médicaux susceptibles d'être affectés par les champs électromagnétiques.

Vibrations (5 études) : le premier sujet traité concernait les vibrations « corps entier ». Des résultats ont été obtenus sur des moyens pratiques pour réduire l'exposition aux vibrations de travailleurs sur des engins de manutention. D'autre part, une étude exhaustive a été menée sur l'influence de la posture d'un conducteur d'engin sur l'exposition aux vibrations. Un second volet a concerné les vibrations main-bras. Parmi les résultats, une connaissance accrue de la transmission des vibrations qui aura un impact en normalisation et une modélisation de leur effet sur la santé.



© F. Causse - INRS/2010

Risques liés à l'organisation et aux situations de travail. Ce thème représente 34 études :

Troubles musculosquelettiques (10 études) : les travaux ont porté sur l'efficacité de moyens de prévention et leur acceptabilité. Des connaissances ont été apportées sur le recours aux exosquelettes pour intégrer la prévention dès le stade de projet d'acquisition, puis les travaux se sont généralisés vers d'autres outils ou dispositifs liés aux nouvelles technologies. D'autres travaux ont porté sur des situations de travail variées, comme le travail sur écran ou l'usage de chariots roulants. Deux études ont traité des liens entre les expositions, physiques et psychosociales, avec les capacités fonctionnelles physiques et la santé perçue.

Culture de prévention et perception du risque (6 études) : des travaux ont été conduits sur les outils et pratiques associées en entreprise. Une étude sur la perception des risques a été menée visant en particulier son intégration plus large parmi les leviers d'action des préventeurs. En ce qui concerne l'analyse des accidents, des travaux ont porté sur l'élaboration et la mise à l'épreuve sur le terrain d'une méthode d'analyse des accidents. Une dernière étude opère une analyse du lien entre pratiques de prévention et performance économique.

Risques psychosociaux (5 études) : différentes méthodes ont été mises en œuvre. Deux études portent sur la façon dont les acteurs gèrent sur le terrain les problèmes de violence et peuvent tirer bénéfice d'outils d'analyse. Deux autres traitent, pour l'une, des déterminants organisationnels et des facteurs de risque physiques et psychosociaux en lien avec la survenue des accidents du travail et, pour l'autre, de l'effet des pratiques de prévention des RPS sur la santé et la sécurité des salariés. Une dernière étude, qui s'achèvera en 2025 traite de l'impact du statut d'entreprise à mission sur l'exposition aux risques professionnels et leur gestion.

Organisations du travail (5 études) et impact sur la prévention des risques professionnels : ce sujet a été traité sous différents angles, via l'analyse de l'externalisation de la maintenance, celle des organisations alternatives au salariat classique, des horaires atypiques ou encore du recours à des outils informatiques qui prescrivent le travail.

Conception des situations de travail (5 études) : les travaux portent sur la manière de prendre en compte la prévention lors de la phase de conception à travers des approches variées : prise en compte de facteurs multiples dans les bureaux ouverts, utilisation du BIM (modélisation des informations des bâtiments), pratiques des concepteurs pour intégrer la sécurité dans leurs projets ou encore méthodes destinées à analyser les dérives de situations de travail et les moyens de les prévenir.

Prévention de la désinsertion professionnelle (3 études) : deux sujets ont été abordés. Le premier concerne les facteurs prédictifs du retour au travail après chirurgie de l'épaule, les deux autres portaient sur des stratégies de maintien au travail.

Les thématiques focus et projets ont impliqué 20 études.

La thématique polyexposition au travail (8 études) a permis d'initier des travaux sur des secteurs ou situations de travail variés (sites et sols pollués, cabinets dentaires, déchets électroniques, agroalimentaire). Cette thématique a fait évoluer les manières d'appréhender un sujet avec notamment une meilleure prise en considération de la situation de travail dans sa globalité (exposition à un agent chimique, charge physique, contrainte thermique, horaires...) et le développement de tests adaptés aux mélanges complexes.

La thématique reproduction et travail (5 études) a fait l'objet d'un engagement important sur les perturbateurs endocriniens (effets, passage percutané, tests) pour répondre aux enjeux de prévention. Il faut également mentionner une étude épidémiologique sur le déroulement des grossesses au travail et les modalités de retour à l'emploi après congé maternité.

La thématique de l'industrie du futur (4 études), les travaux ont essentiellement porté sur les conséquences sur la santé et la sécurité au travail de l'introduction de nouvelles technologies dans les processus de production : robotique collaborative, intelligence artificielle, réalité augmentée. Cette thématique a également suscité des travaux pluridisciplinaires associant l'ingénierie technique et la psycho-ergonomie pour étudier, entre autres, l'impact sur la santé et la sécurité des interactions homme-robot collaboratif dans différentes configurations, en laboratoire et sur le terrain des entreprises.

La thématique des technologies de l'information et de la communication (2 études plus une partie des travaux déjà répertoriés pour l'industrie du futur ou le sujet organisation du travail). Dans le domaine tertiaire, il est à souligner les travaux sur les pratiques numériques des entreprises et les modalités de leur mise en débat à des fins de prévention. L'impact des TIC sur l'organisation, les conditions de travail et la santé des salariés en Ehpad fait également l'objet d'une étude.

La thématique de l'aide à la personne et ses perspectives, une étude de grande ampleur a été instruite et portera sur le déploiement de la démarche ALM (« accompagner la mobilité de la personne aidée en prenant soin de l'autre et de soi ») dans les métiers de ce secteur et permettra d'expérimenter et analyser la mise en pratique auprès des personnels concernés.



» Un constat

Ce plan stratégique aura été marqué par diverses inflexions.

Tout d'abord un net virage vers le numérique pour la réalisation d'études et de recherche avec la modélisation de phénomènes variés qu'il n'était pas possible de mesurer : propagation des ondes électromagnétiques ou des vibrations dans le corps, écoulement d'air autour de gouttelettes, ventilation en géométrie complexe. Des essais en laboratoires interviennent ensuite pour valider ces méthodes. De même, le recours à des bases de données (expositions, pratiques de prévention, effets sur la santé, consommation de soins, grandes enquêtes nationales, données économétriques) s'amplifie avec la mise en œuvre d'une grande variété de méthodes numériques : les régressions multivariées utilisées traditionnellement en épidémiologie mais également des méthodes de bio-informatique, l'usage d'inférences bayésiennes, des méthodes d'apprentissage.

Autre tendance, la réalisation de travaux abordant le sujet sous différents angles, souvent avec le concours de plusieurs laboratoires, dans le but d'apporter des réponses plus complexes associant à des degrés divers, mesures d'exposition, biométrie, analyse d'effets sur la santé, observation de l'activité, voire reconstitution du poste de travail en laboratoire, à partir des observations de terrain.



Paulien BONGERS
Présidente du réseau européen de recherche en santé et sécurité au travail PEROSH, directrice scientifique de TNO Healthy Living aux Pays-Bas.

➔ Entretien avec Paulien BONGERS

1/ PEROSH va fêter son vingtième anniversaire, quel est le rôle de ce réseau européen ?

Le réseau PEROSH (Partnership for european research in occupational safety and health) vise à mutualiser et améliorer au niveau européen la recherche dans le domaine de la santé et sécurité au travail. Il a pour vocation de coordonner les actions entre les partenaires, de développer la recherche, de partager et diffuser largement les connaissances au-delà des frontières. Concrètement, tous les deux ans, nous organisons des conférences sur des sujets communs en santé et sécurité au travail. Ce sont des moments privilégiés d'échanges, de partage et d'apprentissage au cours desquels, notamment, les jeunes chercheurs apprennent de chercheurs plus expérimentés. En complément, nous organisons régulièrement des *workshops* thématiques afin de prendre connaissance de ce qui est fait dans les pays partenaires, d'évaluer dans quelle mesure les acquis sont transposables d'un pays à un autre, et d'estimer la plus-value à travailler ensemble sur certains sujets. Nous mettons également en place des programmes d'échanges entre instituts afin de favoriser l'accueil de chercheurs intéressés par des recherches initiées dans d'autres structures que la leur. Sans oublier le développement de projets communs.

2/ Quel est l'impact de PEROSH sur les institutions européennes telles qu'EU-OSHA ?

PEROSH regroupe 14 instituts européens indépendants issus de 13 pays, il a un rôle informel en Europe. Nous rencontrons et informons régulièrement des personnes clés

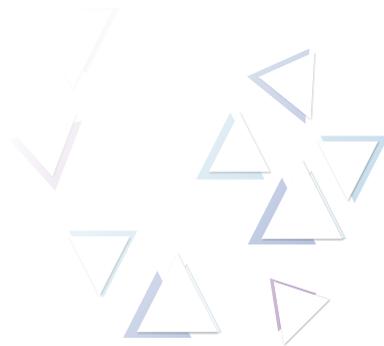
à Bruxelles sur nos projets (représentants des employeurs, des salariés et acteurs politiques) par des échanges directs ou *via* nos supports d'information (newsletter, site Internet). A partir d'un travail consensuel réalisé avec l'ensemble des membres de PEROSH, nous avons par exemple à plusieurs reprises transmis à la commission européenne un document reflétant notre vision des priorités de recherches à mener en santé et sécurité au travail dans une perspective de moyen terme.

3/ Quels sont les sujets communs de recherche qui mobilisent les partenaires actuellement ?

Nous observons un *continuum* dans les recherches menées par les partenaires mais certaines portent aussi sur des sujets émergents. Huit projets sont actuellement en cours ou en préparation sur des sujets variés qui peuvent concerner des secteurs d'activité spécifiques tels que les déchets, des expositions complexes à évaluer comme la lumière bleue et le rayonnement infra-rouge ou encore des problématiques plus globales, ayant trait par exemple à la numérisation de l'environnement de travail, au prolongement de la vie active ou aux leçons à tirer de la pandémie de Covid-19.

4/ Au cours de ces 20 dernières années, quel est le changement principal que vous avez observé dans la conduite des projets ?

Par le passé, il était difficile d'avoir accès aux savoirs collectifs des instituts européens. Désormais l'accès est plus aisé grâce à une meilleure collaboration, moins de procédures. Les efforts sont coordonnés et mutualisés dès le début



des recherches sur des sujets d'intérêt commun au plan européen.

Le travail en mode projet s'est avéré être une valeur ajoutée pour les parties prenantes nationales et génère aujourd'hui un certain enthousiasme de la part des chercheurs, car ils apprennent eux-mêmes beaucoup de ces projets conjoints. Les travaux sur les risques liés aux nanoparticules en sont un bon exemple avec, depuis le début, un effort commun de recherche au niveau européen.

5/ Quels seront, à votre sens, les prochains défis de recherche à relever en matière de prévention des risques professionnels ?

Certains sujets sont pérennes comme l'exposition des salariés à certaines substances. Ils se renouvellent néanmoins car les technologies utilisables pour la recherche sont en train de changer, deviennent plus accessibles, moins coûteuses, permettent des enregistrements de données en continu, en temps réel, qu'il est possible d'exploiter finement à partir de l'analyse de grosses bases de données. Une meilleure utilisation de ces données donnerait l'opportunité, non seulement de s'assurer que l'exposition des travailleurs ne dépasse pas les valeurs limites, mais aussi d'évaluer en temps réel leur exposition, de façon à identifier et analyser les sources et facteurs d'exposition sur lesquels agir en priorité. Par ailleurs, d'autres sujets se développent. La combinaison entre changement climatique, transition énergétique et santé au travail est un sujet d'avenir, notamment pour les travailleurs en extérieur. Le travail de nuit et plus globalement les horaires atypiques concernent de plus en plus de travailleurs, de même que l'impact du développement des technologies de l'information et de la communication. Ces évolutions, en modifiant les conditions de travail, peuvent engendrer des risques importants pour la santé ; cela nécessite que l'on s'y intéresse particulièrement. Et puis, depuis 20 ans, le bien-être au travail a pris une place de plus en plus importante. Nous devons continuer nos efforts afin qu'il soit pleinement reconnu comme un enjeu

majeur de santé au travail. Les modes d'organisation des entreprises européennes doivent être favorables à la santé physique et mentale des travailleurs.

Nous constatons que le monde du travail est en perpétuelle évolution : tertiarisation, numérisation, mutations technologiques... Les entreprises locales ont laissé la place à des entreprises multinationales, les plateformes de service sont en pleine croissance, de nombreux salariés ne travaillent pas dans leur pays de résidence. Le défi majeur pour nos instituts est de prendre collectivement en considération l'évolution de l'ensemble de ces facteurs de risques pour la santé et la sécurité des travailleurs européens.

» Carte d'identité de PEROSH

Le réseau PEROSH (Partnership for european research in occupational safety and health) a été créé en 2003. L'association regroupe 14 instituts* européens de prévention rattachés à des ministères ou à des caisses d'assurance maladie et accident, qui emploient près de 1 000 chercheurs et experts. Les partenaires PEROSH visent à coordonner leurs actions et à coopérer sur les efforts européens de recherche et de développement dans le domaine de la sécurité et de la santé au travail. Cela comprend le partage de connaissances, la promotion de la recherche conjointe et le développement de projets communs.

<https://perosh.eu/>

* AUIVA (Autriche), BAuA (Allemagne), CIOP-PIB (Pologne), FIOH (Finlande), INAIL (Italie), INRS (France), INSST (Espagne), NFA (Danemark), Sawee (Suède), Stami (Norvège), Unisanté (Suisse), HSE (Royaume-Uni), IFA (Allemagne), TNO (Pays-Bas)

PROGRAMMES DE PRÉVENTION 2018 - 2022

Les pages qui suivent proposent une présentation détaillée des 22 études qui se sont achevées fin 2021, ainsi qu'un résumé des 90 études en cours en 2022.

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

➔ Prévention des risques biologiques

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

»» OBJECTIFS GÉNÉRAUX D'ÉTUDES ET RECHERCHE

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

»» OBJECTIFS SPÉCIFIQUES D'ÉTUDES ET RECHERCHE

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

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

La démarche générale consiste à mettre au point des méthodes d'analyse et à les tester sur le terrain.



▶ AGENTS ALLERGISANTS

2022 → 2025

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

■ Patricia BATAIS, Sullivan LECHENE, Philippe DUQUENNE
Département ingénierie des procédés

■ Thèse de doctorat : Reshad FANTELLI
Inrae - Céline DELBES

■ Fabrice BATAIS
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, et la caractérisation 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 aux polluants et bioallergènes. Les résultats permettront une meilleure identification des substances présentes ainsi que leur quantification, en lien direct avec l'activité des salariés et de proposer des mesures de prévention adaptées aux pathologies de type allergique décrites dans ce secteur d'activité.

▶ MILIEUX DE SOINS

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.

▶ MYCOTOXINES ET ENDOTOXINES

2019 → 2022

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

■ Xavier SIMON, Catherine COULAIS, Pauline LOISON
Département métrologie des polluants

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

2021 → 2022

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

■ Valérie DEMANGE, Eve BOURGKARD
Département épidémiologie en entreprise

■ Sophie NDAW
Département toxicologie et biométrie

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

▶ EXPOSITION AUX AGENTS PATHOGENES

ÉTUDE
 TERMINÉE

2017 → 2021

Méthodologie d'aide à l'évaluation du risque biologique

■ Sarah BURZONI
Département métrologie des polluants

■ Thèse de doctorat : Sarah BURZONI
Université de Lorraine - Luc FERRARI

Objectifs

En milieu professionnel, plusieurs types de risques coexistent, dont le risque biologique. En matière de santé et de sécurité au travail, l'une des obligations de l'employeur est de réaliser une évaluation du risque, préalable à toute démarche de prévention. Pour les risques liés à la manipulation de produits chimiques ou liés à l'utilisation des nanomatériaux, des moyens (méthodes, guides...) permettant d'évaluer le risque existant et sont considérés comme des méthodes de référence. Cependant, le domaine de l'évaluation du risque biologique (EvRB) reste assez peu développé et il n'existe pas, à ce jour, une démarche standardisée qui intègre tous les critères à travers lesquels le risque biologique peut être évalué. Cette étude a consisté à élaborer une démarche d'EvRB qualitative dans un secteur d'activité expérimentale, le compostage. Elle visait à proposer aux chefs d'entreprises ou aux préventeurs du secteur, une méthodologie pour réaliser l'évaluation du risque biologique, en complément des évaluations des autres risques et ainsi répondre à leur obligation d'assurer la sécurité et préserver la santé de leurs salariés.

Démarche

Pour répondre à cet objectif, quatre grandes étapes ont été réalisées :

- une revue dans la littérature des démarches qui traitent de l'EvRB de manière qualitative en milieu professionnel ;
- une identification des informations accessibles par l'utilisateur, en réalisant une enquête par questionnaire et des visites d'entreprises ;
- la constitution de la démarche d'EvRB en s'appuyant sur le recensement et l'analyse de l'existant et des paramètres d'intérêt identifiables et accessibles par l'utilisateur ;
- une validation de la démarche en la mettant en œuvre sur le terrain et en comparant les résultats obtenus à ceux issus de deux autres méthodes et à la base de données Colchic.



© F. Dimier pour l'INRS/2016

Résultats principaux

L'analyse de la littérature a montré que des démarches variées d'EvRB sont proposées mais qu'aucune n'est exhaustive. En combinant les qualités de chacune, il a été possible de déterminer les caractéristiques d'une démarche EvRB complète. Une méthodologie de référence a été construite pour le secteur de compostage, fondée sur une gestion graduée du risque impliquant des variables, nommées « descripteurs ». Le descripteur de danger a été déterminé en identifiant les agents biologiques potentiellement présents dans les matières manipulées et en créant une matrice de hiérarchisation des dangers qu'ils présentent. Les descripteurs de l'exposition ont été déterminés à partir d'une revue de la littérature et par l'implication des futurs utilisateurs. La méthodologie de référence proposée permet d'estimer le niveau de risque par inhalation et par contact cutané. Elle comprend des descripteurs :

- communs aux deux voies d'exposition : danger, quantité manipulée, durée et fréquence de la tâche ;
- spécifiques au risque par inhalation : état physique, procédé et protection collective ;
- spécifiques au risque par contact cutané : scénario d'exposition et surface exposée.

Une vingtaine de tâches de travail ont été évaluées à travers les visites de trois établissements. Les niveaux d'exposition obtenus sont cohérents avec les données issues de la littérature, ce qui n'est pas le cas pour les deux autres démarches. En comparant les résultats obtenus avec ceux issus des deux autres démarches et avec les données de la base Colchic, la méthodologie proposée s'avère plus protectrice.

Discussion

Cette étude a permis, après une analyse critique des démarches existantes dans le domaine du risque biologique en milieu de travail, de concevoir, appliquer et valider une méthodologie d'évaluation qualitative du risque biologique de référence en ciblant le secteur du compostage. Cette méthodologie est apparue plus préventive comparativement aux autres démarches. L'apport de connaissances supplémentaires sur les communautés microbiennes présentes et l'aspect cumulatif des dangers permettrait, d'une part, d'ajuster la dangerosité des matières manipulées et, d'autre part, de perfectionner la matrice de hiérarchisation des dangers. Par ailleurs, les résultats d'études épidémiologiques pourraient apporter de nouveaux éléments à comparer aux résultats issus de la méthodologie proposée afin de l'améliorer. Cette méthodologie de référence permettra aux employeurs et aux préventeurs de concevoir une méthodologie d'évaluation du risque biologique adaptée à leurs activités professionnelles concernées par ce risque.

2020 → 2022

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

Evaluation 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 MétroPol M-147.

➔ Prévention des risques chimiques

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

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

»» OBJECTIFS GÉNÉRAUX D'ÉTUDES ET RECHERCHE

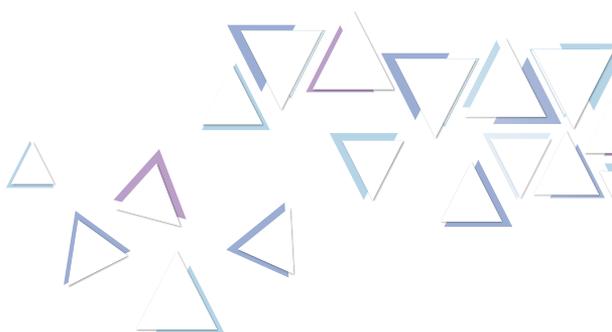
- **Développer des méthodes pour identifier les substances dangereuses pour la santé des salariés et agir en amont.**
- **Contribuer à faire progresser la conception des machines et des procédés** en améliorant l'intégration, à la source, de la limitation ou de l'épuration des émissions de polluants.
- **Renforcer la prise en compte des polyexpositions** (voir thématique focus page 78).
- **Veiller à l'adéquation des dispositifs de protection collective et des équipements de protection individuelle face au risque chimique, et au maintien de leur efficacité dans le temps.**

Dans cette rubrique, 14 études liées à ces objectifs généraux sont présentées. Elles s'inscrivent dans l'axe **développement de méthodes liées aux mesures d'exposition ou pour la prévention**:

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

Puis sont résumées, quatre études sur la **connaissance des expositions** en lien avec le travail, auprès de conteneurs maritimes, ou en présence de batteries au lithium, d'imprimantes 3D, de métaux.

Enfin dix études portant sur les **moyens de prévention** sont décrites.





► DÉVELOPPEMENT DE MÉTHODES

2018 → 2021

Prélèvements surfaciques en situation de travail

■ Williams ESTEVE et Virginie MATERA
Département métrologie des polluants

Objectifs

L'évaluation de l'exposition aux composés chimiques a longtemps été restreinte à la voie d'exposition par inhalation. Pourtant, de nombreuses activités génèrent des dépôts sur les surfaces et les objets. Cette source d'exposition peut conduire à une contamination des organismes humains par passage cutané et par ingestion. Elle peut alors entraîner des effets propres aux polluants concernés et à ce mode d'exposition, tels que des effets cancérogènes et mutagènes, mais aussi des allergies. Cette étude était motivée par le constat d'un manque de standardisation et d'harmonisation des méthodes de prélèvement surfacique.

Démarche

Les travaux ont tout d'abord porté sur la mise en application de la méthodologie d'évaluation des contaminations surfaciques proposée à l'issue de travaux précédents. L'objectif était de collecter des données de terrain sur des composés et des situations variées, et ainsi d'éprouver et d'améliorer la démarche si nécessaire.

Compte tenu de la variabilité opératoire observée lors des prélèvements surfaciques, cette étude a également consisté en une réflexion sur la conception d'outils pratiques et fiables pour réaliser des prélèvements surfaciques reproductibles.

Résultats principaux

Cette étude a permis, d'une part, d'éprouver la méthodologie développée sur une douzaine d'interventions correspondant à une vingtaine de situations professionnelles différentes (types de polluant, nature de surfaces, environnement de travail, etc.). Sur la base de ces nombreux retours d'expériences, il a pu être apporté des modifications à la version préliminaire de la méthodologie. Ces modifications ont eu pour objet une meilleure adaptation des prélèvements surfaciques à chaque situation professionnelle, tout en simplifiant certaines étapes qui pouvaient s'avérer, dans la pratique, complexes et parfois contre-productives.

D'autre part, ces travaux ont conduit au développement de différents outils de prélèvement, d'une part des outils simplifiés pour faciliter la tâche des opérateurs et réduire les biais opératoires liés à des contraintes pratiques, et d'autre part des outils standardisés et/ou automatisés plus complexes. Ces prototypes ont été conçus avec le souci de garantir la représentativité des prélèvements, en réduisant notamment les biais liés à la variabilité intra et inter-opérateur. Les performances de tous les outils ainsi développés ont été comparés aux procédures actuellement en vigueur. Il ressort globalement que toutes les solutions techniques proposées présentent des niveaux de performance similaires ou supérieurs à ceux des outils actuels, tout en simplifiant les modes opératoires.

Discussion

Les outils méthodologiques et métrologiques proposés dans cette étude permettront de tendre vers une harmonisation de pratiques des prélèvements surfaciques et de renforcer la confiance des utilisateurs.

Enfin, cette démarche d'homogénéisation aura pour effet de faciliter les comparaisons de données entre les différents travaux de la communauté scientifique et, de fait, pourra favoriser une éventuelle prise de décision quant à des valeurs limites réglementaires ou indicatives de contaminations surfaciques.



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

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

ÉTUDE
TERMINÉE

2020 → 2021

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

■ Philippe DUQUENNE, Karine GÉRARDIN et Bruno GALLAND

Département ingénierie des procédés

Objectifs

L'analyse spatiotemporelle consiste à décrire la variation des polluants chimiques et biologiques (concentrations ambiantes et expositions) dans les environnements de travail, dans l'espace et dans le temps, en lien avec les activités et les procédés de travail. Elle aide à mieux comprendre les situations de travail et les expositions associées pour mieux agir en prévention. Largement appliquée dans les domaines de l'environnement et de la santé publique, elle est encore peu répandue en santé au travail. L'analyse spatiotemporelle pourrait pourtant présenter un réel intérêt pour la prévention. Les objectifs de cette étude d'instruction étaient de définir les besoins en connaissances et d'apporter les éléments nécessaires pour dimensionner et préciser les contours d'un programme d'étude dans ce domaine.



© G. Kerbaol - INRS/2022

Démarche

L'étude d'instruction s'est appuyée sur une phase expérimentale consistant à concevoir une stratégie pour la mesure des concentrations en polluants chimiques dans le temps et l'espace, de l'évaluer en laboratoire avec les méthodes et infrastructures disponibles, puis d'en faire une première application en conditions réelles d'exposition. Un effort particulier a été fait sur l'analyse des données et leur représentation.

Résultats principaux

Les travaux ont permis d'aborder les différentes composantes de l'analyse spatiotemporelle. Des avancées scientifiques et techniques ont été réalisées (utilisation de scanner 3D, mise en œuvre d'instruments de mesure en temps réel et d'un réseau de capteurs). Un travail spécifique a montré l'intérêt d'intégrer l'analyse ergotoxicologique de l'activité du travailleur dans l'analyse spatiotemporelle pour une meilleure compréhension des situations de travail. De même, les réalisations expérimentales ont montré la nécessité de maîtriser l'analyse mathématique et la représentation cartographique des données pour bénéficier pleinement de l'ensemble des moyens d'investigation déployés au profit de la prévention.

Discussion

L'analyse spatiotemporelle met en œuvre différentes méthodes et stratégies d'investigation qui sont à adapter aux situations de travail. Les travaux se poursuivent dans le cadre d'une étude longue destinée à concevoir un outil expérimental applicable aux environnements professionnels. Il s'agit notamment :

- d'élaborer un outil expérimental pour l'analyse et la représentation des données spatio-temporelles hétérogènes ;
- d'évaluer cet outil en conditions maîtrisées au laboratoire ;
- de déployer cet outil en entreprise pour établir des cartographies spatio-temporelles des concentrations et évaluer la possibilité d'utiliser ces cartes pour reconstruire les expositions à partir de données collectées ;
- d'évaluer la contribution de l'outil expérimental aux orientations en matière de prévention ainsi que le potentiel de transfert de l'outil proposé vers les préventeurs.

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, intégrant de nouvelles données, comme celles issues de la géolocalisation des équipements de mesure et de la numérisation 2D/3D des environnements de travail. À 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 d'évaluer les risques.

ÉTUDE
TERMINÉE

2016 → 2021

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

■ Virginie MATERA

Département métrologie des polluants

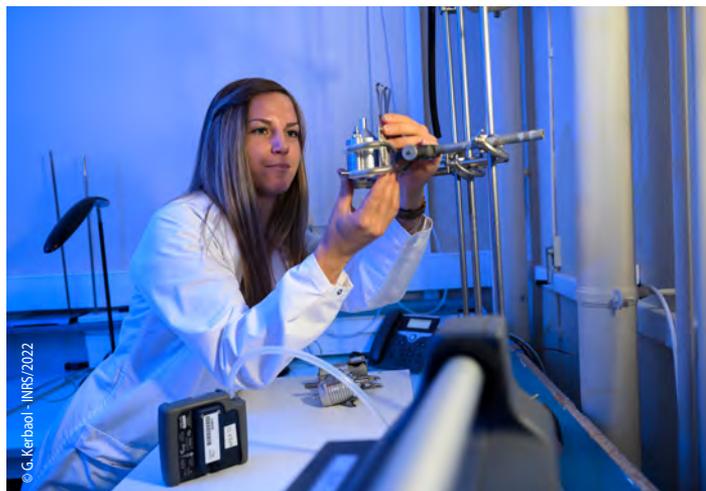
Objectifs

Les impacteurs en cascade sont des dispositifs pour collecter les aérosols en fonction de leur taille et ainsi de déterminer la distribution granulométrique associée. Plusieurs dispositifs sont commercialisés mais force est de constater que les prélèvements par impacteurs sont peu reproductibles, donc difficilement exploitables en l'état. Les objectifs de cette étude consistaient donc à évaluer, par le biais d'une approche pragmatique, les performances de différents impacteurs en cascade et de proposer une méthode de prélèvement facile à mettre en œuvre et reproductible pour le prélèvement, notamment, des particules ultrafines (PUF) dans un contexte d'exposition aux particules métalliques. Les secteurs concernés sont nombreux (soudage, oxygoupage, découpe laser, impression 3D ...).



Démarche

Les premiers travaux ont consisté à objectiver l'intérêt du graissage des supports de collecte (membranes placées à l'intérieur du dispositif) afin d'éviter les phénomènes de rebond et réentrainement des particules ; deux phénomènes physiques qui faussent les distributions et nuisent à la reproductibilité des prélèvements. Puis il s'est agi d'optimiser cette préparation, à savoir préciser la nature de la graisse et la quantité à déposer pour limiter significativement ces phénomènes. Divers impacteurs ont été testés. Suite à ces essais, un dispositif jusqu'alors peu connu et peu déployé en hygiène industrielle a montré des performances très intéressantes. Le Minimoudi (version 135-8) permet en effet d'effectuer un prélèvement individuel sur 8 étages d'impaction avec la possibilité de collecter des particules de très faible taille (jusqu'à 180 nm).



Résultats principaux

Les principaux résultats de l'étude confirment l'intérêt du graissage pour les quatre impacteurs testés (Sioutas, Marple, Minimoudi 135-8 et DLPI+). La graisse de silicone montre de meilleures performances que l'huile de vaseline. La quantité nécessaire de graisse a été déterminée. Les prélèvements effectués dans différentes conditions de génération avec le Minimoudi confirment son intérêt. De nombreux paramètres à optimiser afin d'assurer la reproductibilité des prélèvements par impacteurs en cascade ont également été déterminés et feront l'objet d'une fiche MetroPol dédiée.

Discussion

Cette étude se voulait avant tout prospective. Il s'agissait d'élargir et d'explorer des champs peu investigués. Les résultats sont d'ores et déjà applicables afin d'apporter davantage de connaissances sur les expositions professionnelles aux particules ultrafines, quel que soit l'impacteur utilisé. L'impacteur en cascade Minimoudi identifié lors de cette étude, présente l'avantage d'obtenir, avec une bonne résolution, une distribution dans une gamme submicronique et micronique, c'est-à-dire qu'il couvre avec beaucoup de précision les fractions conventionnelles alvéolaire mais également inhalable. La fiche MetroPol à venir permettra d'identifier, en fonction des situations d'exposition, l'impacteur le plus adapté (les avantages et inconvénients de chaque dispositif seront précisés) ainsi que les recommandations techniques afin d'assurer des prélèvements reproductibles à la fois pour un même impacteur, mais également entre différents dispositifs.

2020 → 2023

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

■ Sébastien BAU, Xavier SIMON

Département métrologie des polluants

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

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.

2018 → 2022

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

■ Benjamin SUTTER

Département métrologie des polluants

■ Thèse de doctorat : Noredine REKEB

Université Paris-Est-Créteil – Evelyne GEHIN

■ Emmanuel BELUT

Département ingénierie des procédés

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

2019 → 2022

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

■ Andréa EMILI et Gautier MATER

Département métrologie des polluants

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



2019 → 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

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

■ Florian MARC

Département Expertise et conseil technique

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

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 MétroPol. De plus, les formations de l'INRS abordant la problématique du risque chimique seront complétées avec cette méthodologie.

ÉTUDE
TERMINÉE

2018 → 2021

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

■ Amandine ERB et Sophie NDAW

Département toxicologie et biométrie

Objectifs

L'acétone, la méthyléthylcétone (MEK), la méthylisobutylcétone (MIBK) et la cyclohexanone sont des cétones utilisées en entreprise, qui peuvent provoquer des effets délétères sur la santé des salariés, notamment des effets sur le système nerveux. Ces cétones pouvant être utilisées conjointement, il était intéressant de mettre au point une méthode simple et rapide pour les doser simultanément dans les urines de travailleurs.

Démarche

Une méthode de dosage par *Headspace* en mode statique, couplé à un chromatographe en phase gazeuse et à un spectromètre de masse, a été mise au



point pour doser les cétones d'intérêt sous leur forme non-métabolisée dans l'urine. La technique *Headspace* permet de s'affranchir de la complexité de la matrice en analysant uniquement les composés présents dans la phase gazeuse du flacon d'analyse. Les différents paramètres de cette méthode (conditions chromatographiques, température et durée de chauffage pour la dérivation...) ont été optimisés. La méthode a ensuite été validée (linéarité, fidélités - répétabilité et reproductibilité - limite de détection, limite de quantification et justesse).

Résultats principaux

Les paramètres de dérivation les plus adaptés à l'analyse des cétones étudiées étaient un chauffage à 80°C pendant 20 minutes, précédé d'une période (15 heures) à température ambiante. Dans de telles conditions, la méthode s'est révélée linéaire entre la limite de quantification et la valeur de 2 mg/L. Pour les quatre cétones étudiées, les limites de quantification étaient comprises entre 5 et 20 µg/L. La répétabilité a été validée avec des coefficients de variations allant de 1,7 à 5,6 % (4,5 et 9,5 % pour la reproductibilité). La justesse a été vérifiée grâce à des essais de comparaison inter-laboratoires pour l'acétone, la MEK et la MIBK. Un test sur des urines de salariés non-exposés, qui provenaient d'études antérieures, a montré la présence d'acétone (valeurs comprises entre 310 µg/L et 898 µg/L) et de la MEK (valeurs comprises entre 10 et 29 µg/L). Ces valeurs sont en accord avec celles mesurées pour la population générale.



Discussion

Cette étude a permis de mettre au point puis de valider avec succès une méthode d'analyse simultanée de l'acétone, la MEK, la MIBK et la cyclohexanone. Elle donne des limites de quantification plus basses que celles rapportées dans la littérature. Compte tenu des valeurs mesurées dans la population générale et des niveaux des valeurs biologiques d'interprétation (valeurs non-réglementaires à ne pas dépasser en fin de poste) comprises entre 1 et 25 mg/L, ces limites de quantification sont suffisantes pour évaluer des expositions professionnelles. Cette méthode peut d'ores et déjà être considérée comme un outil capable d'évaluer les polyexpositions en une seule analyse ; elle a le mérite de tenir compte de toutes les voies d'exposition, ainsi que de la charge physique à laquelle sont astreints les salariés exposés à ces composés. L'outil sera mis à disposition des hygiénistes du travail et des préventeurs.

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.

► CONNAISSANCE DES EXPOSITIONS

ÉTUDE
TERMINÉE

2017 → 2021

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

■ Ogier HANSER et Nadège JACOBY

Département toxicologie et biométrie

Exposé des motifs et objectifs

La France est l'un des plus gros opérateurs européens de recyclage des piles et accumulateurs. Cette opération implique la manipulation de nombreux métaux potentiellement toxiques. La littérature, trop parcellaire, n'aborde pas la problématique liée aux expositions professionnelles à ces métaux.

Cette étude avait pour objectif principal la caractérisation des expositions professionnelles aux métaux dans cette filière par une approche de biométrie (dosage des métaux urinaires). Un objectif secondaire était d'anticiper d'éventuels effets liés à une exposition aux métaux par la recherche d'indicateurs d'effets précoces dans les urines des travailleurs.

Démarche

Trois campagnes de prélèvement ont été organisées avec, durant cinq jours consécutifs, des recueils urinaires auprès des 86 travailleurs volontaires. En parallèle, des prélèvements atmosphériques et sur la peau ont été réalisés. Un ensemble de 33 métaux ont été dosés dans tous les échantillons, qu'ils soient urinaires, atmosphériques ou surfaciques. Il faut ajouter à ces analyses, le dosage dans les urines d'indicateurs biologiques d'effets précoces d'atteinte rénale et de stress oxydant. Les traitements statistiques ont permis de comparer des groupes d'expositions similaires entre eux, afin d'identifier les postes les plus exposés.

Résultats principaux

Les mesures ont mis en évidence une polyexposition aux métaux dans ces usines, avec des concentrations atmosphériques élevées en cadmium, cobalt et manganèse, ponctuellement supérieures aux seuils



réglementaires. Ces métaux ont également été retrouvés dans les urines des travailleurs, ce qui suggère une exposition professionnelle manifeste et des moyens de prévention insuffisants. Toutefois, malgré des expositions patentes, les concentrations en indicateurs d'effets précoces n'ont pas montré d'effets biologiques, si ce n'est des corrélations faibles entre le taux de cadmium urinaire et des marqueurs d'atteinte rénale.

Discussion

Alors que les travailleurs administratifs et les trieurs étaient les plus épargnés, les opérateurs de traitement et de maintenance étaient particulièrement exposés aux métaux ; ils l'étaient à des teneurs supérieures à celles rapportées dans la littérature relative à des secteurs proches. Le port du masque de protection respiratoire, élément clé dans les entreprises visitées, n'était pas suffisant pour protéger les travailleurs : des mesures de prévention collective supplémentaires sont préconisées.

Certains métaux dosés dans les urines, comme le cadmium et le manganèse, ne permettaient pas de traduire les expositions récentes des salariés de façon pertinente. Des travaux complémentaires sont nécessaires pour identifier de nouveaux biomarqueurs, notamment les métaux sanguins, plus adaptés à l'évaluation d'expositions récentes (un exemple d'un tel développement pour le cadmium est exposé à la rubrique « développements de méthodes »).

L'approche exploratoire des indicateurs biologiques d'effets précoces n'a pas permis de préciser l'évaluation de l'exposition aux métaux, et nécessiterait des études complémentaires pour affiner l'interprétation des polyexpositions.

ÉTUDE
TERMINÉE

2017 → 2021

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

■ Bruno GALLAND et François-Xavier KELLER

Département ingénierie des procédés

Exposé des motifs et objectifs

Plusieurs dizaines de milliers de personnes en France sont amenées à pénétrer dans des conteneurs pour exercer leur activité professionnelle, et sont alors potentiellement exposées à des composés gazeux pouvant avoir un impact sur leur santé, qu'ils soient émis par les marchandises et leurs contenants ou introduits volontairement (fumigation).

Le premier objectif de l'étude était de réaliser des mesures de l'atmosphère d'un certain nombre de conteneurs en vue d'établir un diagnostic, et de valider les méthodes d'échantillonnage et de mesure des potentiels polluants gazeux avec des appareils temps réel. Le deuxième objectif était la collecte des données d'exposition des salariés en charge du dépotage des conteneurs pollués. Cette étape n'a pu être réalisée comme escompté car les conteneurs présentant une pollution significative, ont été ventilés avant le dépotage. Enfin, le troisième objectif était d'étudier et de valider l'efficacité des systèmes de ventilation mécanique disponibles sur le marché.

Démarche

Cette étude s'est articulée principalement selon deux axes : réalisation de campagnes de mesure en entreprise pour diagnostiquer la qualité de l'air des conteneurs investigués, et réalisation d'essais sur le site de l'INRS via des conteneurs dédiés aux expérimentations.



© G. Kerbaol - INRS/2022

Toutes les opérations ont été validées par un groupe de pilotage national mis en place dans le cadre de l'étude, composé de représentants de plusieurs Carsat et de la médecine maritime.

Résultats principaux

Les campagnes de mesures en entreprise ont quasiment toutes révélé la présence de composés chimiques nocifs pour la santé des opérateurs. La nécessité d'intégrer le risque chimique dans l'évaluation des risques professionnels s'est imposée, et plusieurs supports d'information proposant des mesures de prévention à destination des employeurs, des préventeurs et des salariés ont été édités et diffusés par l'INRS. L'étude des systèmes de ventilation a également conduit au développement de deux prototypes industriels qui ont démontré leur potentiel de dépollution des conteneurs.

Discussion

La sensibilisation aux risques d'exposition chimique à l'ouverture des conteneurs n'est pas achevée avec l'étude et deux autres guides de prévention suivent courant 2022. Le premier traite de la méthodologie de mesure de la qualité de l'air intérieur des conteneurs et le second des solutions de ventilation mécanique. Les actions à destination des groupes de travail des Carsat traitant du secteur logistique se poursuivent également en 2022. Une convention de collaboration entre la Direction générale des douanes et droits indirects et l'INRS a été signée pour accompagner cette administration dans la mise en place de mesures de prévention.

Enfin, l'INRS continuera à accompagner dans un futur proche les industriels volontaires dans le développement des solutions de ventilations mécaniques des conteneurs.

2022 → 2025

Etude 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 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 batterie Lithium Nickel Manganèse Cobalt (NMC) et batterie 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 seront analysés puis hiérarchisés 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.

2018 → 2022

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

■ François-Xavier KELLER

Département ingénierie des procédés

■ Thèse de doctorat : Mohamed Nour AZZOUAGH

Mines de Saint-Etienne - Jérémie POURCHEZ

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



► PROTECTION COLLECTIVE ET INDIVIDUELLE

2014 → 2021

Intérêt et limites de l'abattage humide en hygiène industrielle

■ Fabien GÉRARDIN et Emmanuel BELUT
Département ingénierie des procédés

■ Thèse de doctorat : Gaël CHERRIER
Université de Lorraine - Anne TANIÈRE

Exposé des motifs et objectifs

L'abattage humide consiste à pulvériser des gouttelettes de liquide pour capturer les particules d'un aérosol ou les molécules d'un gaz polluant dispersées dans l'air des lieux de travail. Les éléments polluants, capturés à la surface des gouttes ou entraînés dans leur sillage, sont ensuite rabattus vers le sol ou éliminés par un autre dispositif de protection collective tel que la ventilation. Cette technique peut être utilisée aussi bien comme technique de réduction à la source, que comme dispositif de protection général à plus grande échelle. L'abattage humide peut également être utilisé comme dispositif d'épuration en ligne après captage des polluants par aspiration. L'objectif de ce projet était l'étude des performances de l'abattage humide, notamment en développant un certain nombre d'outils pour déterminer les conditions d'utilisation optimales de cette technique.

Démarche

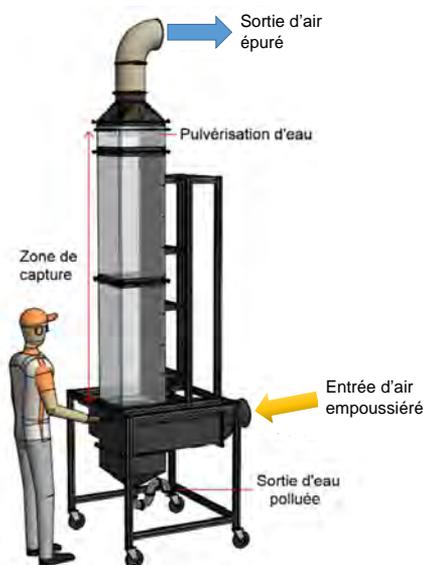
Le travail de recherche a reposé sur un volet simulation numérique adossé à une démarche expérimentale. Pour les simulations, une approche à deux échelles a été retenue : la première, au niveau du procédé (le poste de travail) et la seconde, au niveau des gouttes. Pour cette dernière, il s'agissait de développer les connaissances dans le domaine de la capture des polluants par les gouttes et alimenter la modélisation à l'échelle du procédé. La démarche expérimentale a consisté à développer un banc d'essai pour la validation de la méthodologie de simulation numérique, avant application sur des solutions de prévention de terrain.

Résultats principaux

Un modèle prédictif de l'efficacité de collecte des aérosols polluants par abattage humide adapté aux situations de travail a été développé. Des avancées significatives dans le domaine des aérosols ont également été réalisées grâce aux recherches sur la microphysique de capture. En particulier, la validation de l'approche de simulation sur des cas réels reproduits en laboratoire a été achevée par comparaison avec l'expérimentation menée à l'aide du banc d'essai. Du point de vue de la prévention des risques professionnels, le rôle des mécanismes élémentaires de collecte dans l'efficacité globale d'épuration est maintenant mieux connu, et les voies pour améliorer l'efficacité des procédés d'abattage humide semblent claires : adéquation des tailles de gouttes et des tailles d'aérosol à capter, utilisation des forces phorétiques et électriques pour limiter l'effet négatif du « minimum de Greenfield » sur l'efficacité de collecte de certaines tailles de particules, et maximisation du temps de résidence des gouttes dans la zone polluée.

Discussion

Les travaux conduits permettent d'envisager l'utilisation de la simulation numérique, mais également de modèles simplifiés pour évaluer, *a priori*, l'efficacité de l'abattage humide comme technique d'assainissement appliquée à diverses situations d'hygiène industrielle. Les valorisations réalisées sous forme de publications et communications scientifiques confirment le rôle de premier plan de l'INRS dans la connaissance des aérosols appliquée aux problématiques d'hygiène industrielle.



Colonne d'abattage humide des poussières



2018 → 2021

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

■ Denis BEMER

Département ingénierie des procédés

■ Thèse de doctorat : Nassim KHIROUNI

Université de Lorraine - Dominique THOMAS

Exposé des motifs et objectifs

Les procédés de projection thermique de métaux, de découpe des métaux (procédé arc / air) ou de soudage à l'arc génèrent de grandes quantités de particules ultrafines (PUF). Elles sont à l'origine du colmatage des filtres des installations de ventilation, ce qui conduit à une dégradation du fonctionnement des dispositifs de captage et de la qualité de l'air. L'étude visait à établir les paramètres qui contrôlent l'adhésion des PUF métalliques aux médias fibreux, empêchant ainsi leur élimination par décolmatage pneumatique. Il s'agissait de proposer des solutions efficaces de décolmatage. L'étude s'est orientée sur la technique du *precoating* (application d'une couche de particules microniques) et la recherche des conditions optimales de mise en œuvre de cette technique, afin d'obtenir la meilleure régénération possible de la perte de charge, et donc du débit.

Démarche

Des PUF métalliques issues d'un procédé de projection thermique à arc électrique ont été générées sur un banc d'essai et ont servi à l'étude de la filtration et du décolmatage sur médias plans et des cartouches à filtre plissé. Les essais ont été conduits avec les PUF métalliques seules et en mettant en œuvre la technique du *precoating* en modes *on-line* (filtration de l'air maintenue pendant leur dépôt) ou *off-line* (débit arrêté).

Résultats principaux

L'étude confirme le colmatage irréversible des cartouches plissées par des particules ultrafines métalliques. Cela s'explique par la forte adhésion du gâteau de filtration formé. De plus celui-ci présente une résistance importante à l'écoulement d'air du fait de son caractère nano-structuré. L'effet néfaste de l'humidité de l'air, qui augmente les propriétés d'adhésion de la couche de PUF métalliques sur le filtre, a été clairement démontré. Les essais réalisés sur médias plans et sur cartouches à filtre plissé ont démontré les gains apportés par la technique du *precoating* sur le décolmatage. Des processus de filtration très stables ont ainsi pu être obtenus, surtout en mode *off-line*. Les essais ont également montré que la quantité de *precoating* à utiliser pouvait être réduite grâce au traitement surfacique du média par une membrane de fibres sub-microniques de polytétrafluoroéthylène.

Discussion

Les gains apportés par le *precoating* pour la régénération des filtres ont été clairement démontrés. Cette technique permet d'assurer une filtration continue des PUF métalliques en maintenant le débit d'air dans les limites acceptables pour l'installation de ventilation. Cependant, son application industrielle nécessitera de prendre en compte certains aspects pratiques comme le recyclage éventuel des poudres de *precoating*, l'automatisation de l'application de ces poudres, etc... Une note technique à destination des préventeurs sera élaborée dans le but de fournir des indications pratiques pour la mise en œuvre de cette technique.



2017 → 2021

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

■ Stéphanie MARSTEAU et Bruno GALLAND

Département ingénierie des procédés

■ Thèse de doctorat : Cristian CARDENAS SARABIA

Université de Lorraine - Abderrazak LATIFI

Exposé des motifs et objectifs

Les cabines pressurisées à air épuré sont couramment utilisées dans des secteurs d'activité tels que le BTP, le traitement et la valorisation des déchets ou encore l'agriculture. Elles apportent une protection aux conducteurs d'engins contre les risques liés aux particules et/ou aux gaz et vapeurs toxiques présents dans leur environnement. Pour ce faire, la cabine



© G. Verbaud - INRS 2022

de l'engin est mise en surpression par rapport à l'extérieur *via* un système de ventilation injectant de l'air filtré et épuré. L'étude avait deux objectifs principaux : améliorer les connaissances sur les caissons utilisés pour la filtration afin d'évaluer leur efficacité à protéger l'opérateur, et proposer des solutions pour estimer ou mesurer leur durée d'utilisation en situation réelle *via* la détection en temps réel.

Démarche

Les paramètres d'adsorption du média filtrant ont tout d'abord été déterminés pour le gaz cible, ici l'ammoniac. Des modélisations d'une colonne d'adsorbant ont ensuite été proposées. Par ailleurs, les écoulements dans le caisson ont été modélisés, et la simulation numérique a été validée. Ensuite, le couplage du modèle d'écoulement avec les modèles d'adsorption a permis de réaliser la simulation complète de deux caissons commerciaux. Un second volet de l'étude était la détection d'efficacité en temps réel du média épurant. Un démonstrateur miniature à base d'éléments commerciaux a été évalué en laboratoire sur les bancs d'essai. L'étude s'est attachée, en plus des deux volets principaux, à formuler des préconisations dans le cadre de la normalisation, sur les tests de performance des caissons d'épuration.

Résultats principaux

Une modélisation en plusieurs étapes a été réalisée, du grain de charbon qui constitue l'absorbant jusqu'au caisson complet avec l'écoulement d'air. Elle a permis de simuler le fonctionnement de deux modèles commerciaux qui sont représentatifs des deux géométries rencontrées actuellement sur le marché. Par ailleurs, le développement d'une solution technique de détection, en temps réel, de fin de vie du média épurant a été validé à la fois sur l'installation d'essais des charges épurantes, et sur l'installation d'évaluation des caissons de cabines d'engins. La facilité d'utilisation et d'implantation, la robustesse et la fiabilité de détection sont conformes à ce que l'on peut attendre d'un tel dispositif. Enfin, un protocole normatif de tests des caissons a été développé et proposé.

Discussion

La modélisation permettra d'évaluer le comportement des caissons sur le long terme, en simulant des expositions longues et à des concentrations plus faibles, ce qui n'est pas réalisable expérimentalement. Le développement d'un démonstrateur rend accessible aux fabricants de caissons la possibilité d'intégrer une solution de mesure en temps réel de l'efficacité de leurs médias épurants. Le protocole normatif proposé a été repris en grande partie par le projet de norme en cours.

2019 → 2022

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

■ Fabien GÉRARDIN et Éric SILVENTE

Département ingénierie des procédés

■ Thèse de doctorat : Maria JIMENEZ

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

Les matériaux pulvérulents sont utilisés dans un grand nombre de secteurs industriels. Lors de leur mise en œuvre, les salariés sont exposés à des poussières. 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.

2017 → 2022

Impact des perturbations aérauliques fugitives sur le confinement des enceintes ventilées

■ Sullivan LECHENE et Emmanuel BELUT

Département ingénierie des procédés

■ Thèse de doctorat : Georges HALIM-ATALLAH

Université Paris-Est - Stéphane VINCENT

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

2018 → 2022

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 → 2022

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'homme. Il est possible de réduire ces expositions en captant à la source les émissions, à l'aide de dispositifs d'aspiration localisés : masques double enveloppe nez-bouche ou nez uniquement. Trois dispositifs ont été identifiés pour les masques complets et les masques nasaux. Cette étude a pour objectif d'en mesurer l'efficacité sur la réduction des expositions.

2019 → 2022

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

■ Hubert MONNIER

Département ingénierie des procédés

■ Thèse de doctorat : Ioannis KARAMANIS

Université de Lorraine - Michael BADAWI

Dans un objectif de réduction et d'épuration à la source des oxydes d'azote (NOx) présents dans certaines atmosphères de travail, différents matériaux adsorbants, notamment les zéolithes, sont étudiés pour déterminer leur capacité à capturer le NO et le NO₂ en présence d'eau et de co-polluants. D'autres milieux adsorbants sont considérés, tels les argiles, les silices mésoporeuses et les MOF (*Metal Organic Framework*). Les résultats théoriques en termes de capacité d'adsorption seront

comparés aux données expérimentales. D'autre part, des mesures seront menées pour étudier la capacité de ces matériaux à être régénérés à l'aide d'une thermobalance et du banc d'essai de l'INRS. Ces données permettront d'identifier un ensemble de matériaux efficaces et pertinents selon les sources d'émissions des NOx, et donc des activités professionnelles considérées.

2021 → 2024

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

■ Hubert MONNIER

Département ingénierie des procédés

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

2018 → 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

Cette étude a pour objectifs :

- la mesure des performances de différents appareils de protection respiratoire filtrants vis-à-vis d'un mélange gaz / particules de natures chimiques et granulométrie choisies ;
- l'analyse des interactions entre ces polluants et l'appareil ;
- l'évaluation de l'incidence de l'utilisation de différentes cartouches combinées et de leur colmatage au cours du temps sur ces performances.

Les résultats enrichiront les recommandations pour le choix des appareils de protection respiratoire lors de situations d'exposition à des mélanges de polluants diphasiques et contribueront à l'amélioration des connaissances sur la comparaison entre la pénétration d'un aérosol et celle d'un gaz à l'intérieur d'un masque respiratoire, en fonction notamment de la résistance aéraulique des cartouches filtrantes.

»» OBJECTIFS SPÉCIFIQUES D'ÉTUDES ET RECHERCHE

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

C'est ainsi que, outre les 14 portant sur les objectifs généraux, des travaux sont menés sur des substances présentant un danger particulier :

- six études traitent de substances cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction ou la mise au point de tests à caractère carcinogène de certaines substances ;
- trois portent sur des substances allergisantes ;
- une étude vise à mesurer l'impact du vent sur le confinement d'un chantier de désamiantage ;
- sept ont trait aux nanoparticules ;
- deux études portent sur les perturbateurs endocriniens (en plus d'une décrite dans le chapitre consacré à la thématique focus « reproduction et travail » page 73) ;
- quatre études portent sur le développement de méthodes pour caractériser le danger d'autres substances.

▶ AGENTS CANCÉROGÈNES, MUTAGÈNES OU TOXIQUES POUR LA REPRODUCTION (CMR)

ÉTUDE
TERMINÉE

2017 → 2021

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

■ Eve BOURGKARD et Valérie DEMANGE

Département épidémiologie en entreprise

Objectifs

Une exposition aux fluides de coupe est susceptible de provoquer, parmi les utilisateurs, diverses affections malignes et non malignes (cancers de la peau, de la vessie, pneumopathie d'hypersensibilité, symptômes d'irritation respiratoire, asthme, dermatite de contact...). La composition de ces fluides est en constante évolution et la question de leurs effets sur la santé est récurrente. L'objectif de cette étude était d'analyser les relations entre les différents paramètres d'exposition professionnelle aux fluides de coupe et les biomarqueurs d'exposition et d'effets précoces sur la santé des travailleurs.



Démarche

L'étude épidémiologique a été menée en France et en Suisse. Des travailleurs utilisant des fluides de coupe (huiles entières, fluides aqueux) dans leur activité (exposés) et des travailleurs n'en utilisant pas (non exposés) ont été suivis pendant deux jours. La concentration atmosphérique de l'aérosol de fluides de coupe a été mesurée à l'aide d'un dispositif permettant de séparer les fractions collectées à l'état gazeux et à l'état particulaire (avec des incertitudes qui justifient l'usage de guillemets lorsqu'on nomme ces fractions). Par ailleurs, les concentrations en métaux et aldéhydes ont été mesurées dans l'aérosol. La capacité de l'aérosol à induire la formation d'espèces oxydantes dans l'organisme, appelée potentiel oxydant, a été mesurée dans les deux fractions collectées. Des marqueurs d'exposition (métaux et 1-hydroxypyrene) et des marqueurs de stress oxydant (malondialdéhyde (MDA), 8-isoprostane, 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine) ont été mesurés dans le condensat d'air exhalé (CAE) et dans l'urine, ainsi que le monoxyde d'azote exhalé, marqueur d'une inflammation bronchique. Les effets génotoxiques ont été évalués en recherchant les anomalies nucléaires dans les cellules de la muqueuse buccale. Les symptômes respiratoires ont été relevés par questionnaire.

Résultats principaux

L'étude a inclus 120 sujets (86 exposés et 34 non exposés), issus de 15 entreprises (9 en France et 6 en Suisse). L'exposition mesurée à la fraction « particulaire » collectée révèle des niveaux inférieurs à la valeur recommandée d'exposition, excepté sur certains sites. Les niveaux de concentrations mesurés dans l'aérosol pour les métaux ou les aldéhydes sont relativement faibles et très souvent proches des limites de quantification. Les concentrations des métaux dans le CAE et l'urine ne diffèrent pas entre les exposés et les non-exposés. Une association statistiquement significative a été observée entre la concentration de MDA, mesurée dans le CAE, et différents indicateurs de l'exposition notamment dans la fraction « gazeuse » collectée. Aucune relation entre l'exposition à l'aérosol de fluide de coupe et les trois biomarqueurs urinaires de stress oxydant n'a été mise en évidence. L'ensemble des symptômes respiratoires (évocateurs d'asthme, rhinite, toux et/ou expectoration) est associé à une exposition à l'aérosol de fluide de coupe au poste actuel, quelle que soit la fraction collectée, sauf la rhinite, associée à la fraction « gazeuse » collectée. Certains effets génotoxiques au niveau des cellules buccales ont été observés, associés à la concentration de l'aérosol de fluide de coupe mesurée au poste actuel.

Discussion

Les résultats sont en faveur d'une association entre l'exposition à un aérosol de fluide de coupe et des effets précoces sur la santé, de type stress oxydant et génotoxique. Un résultat similaire est également observé avec les symptômes respiratoires. Il est à noter que ces relations sont souvent plus marquées en considérant la fraction « gazeuse » collectée de l'aérosol de fluide de coupe.

Les mesures de prévention mises en place lors d'exposition à un aérosol de fluide de coupe doivent se poursuivre avec une attention particulière pour la fraction « gazeuse ».

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 corréler 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.



2018 → 2021

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

■ Yves GUICHARD et Christian DARNE

Département toxicologie et biométrologie

■ Thèse de doctorat : Anaïs KIRSCH

Université de Lorraine - Hervé SCHOHN

Objectifs

Une étude précédente avait montré que des silices amorphes synthétiques (SAS) induisaient la transformation des cellules Bhas 42, événement qui est une étape précoce de la formation de cancers. Ces résultats méritaient d'être approfondis au niveau moléculaire. L'objectif de cette étude était donc de rechercher par une approche moléculaire (analyse globale de l'expression des gènes sur puces à ADN ou transcriptomique) quels gènes pouvaient être associés à la transformation des cellules Bhas 42 induite par des SAS.

Démarche

L'étude a porté à la fois sur la SAS qui s'était révélée la plus transformante dans l'étude précédente et sur d'autres agents chimiques connus pour être transformants : une silice cristalline et un ester de phorbol. De plus, une silice non transformante a été utilisée comme contrôle négatif. Une analyse transcriptomique a été réalisée en recherchant les voies de signalisation cellulaire et les gènes affectés de manière similaire par les agents chimiques transformants. Des méthodes d'analyses d'expression de gènes (RT-qPCR) et de protéines ont été utilisées pour vérifier les données de transcriptomique.

Résultats principaux

Douze gènes différemment exprimés, et communs aux traitements des cellules Bhas 42 avec les agents chimiques transformants testés, ont ainsi été identifiés. Ces gènes sont impliqués dans le contrôle de la prolifération et de l'adhésion cellulaires. De plus, l'expression de ces gènes était modifiée de la même manière par d'autres SAS transformantes. Cette signature d'expression peut ainsi représenter un marqueur moléculaire pertinent de la transformation cellulaire induite par les SAS. Au-delà de l'objectif de cette étude, la possibilité d'une modification de l'expression de ces douze gènes par des agents chimiques autres que des SAS, positifs dans l'essai Bhas 42, a été étudiée. Mais la modification de l'expression de ces gènes ne s'est pas révélée systématique pour plusieurs agents chimiques testés.

Discussion

En utilisant une approche transcriptomique, douze gènes ont été identifiés comme potentiellement impliqués dans l'effet transformant des SAS sur les cellules Bhas 42. Ces gènes sont principalement liés à des mécanismes moléculaires connus de la transformation cellulaire. Cette signature peut être recherchée par des techniques accessibles telles que la RT-qPCR. Si cet ensemble de gènes peut être proposé dans un test *in vitro* pour évaluer les premiers stades de la transformation des cellules Bhas 42 induite par des SAS, la modification de l'expression de ces gènes ne semble pas être généralisable à d'autres agents chimiques transformants.

2018 → 2022

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

■ Carole SEIDEL, Yves GUICHARD et Laurent GATÉ

Département toxicologie et biométrie

■ Thèse de doctorat : Hélène BARTHEL

Université de Lorraine - Athanase VISVIKIS

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

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) dont la forme et la chimie influencent les propriétés. Mais ces modifications de surface peuvent impacter les propriétés toxicologiques des NTC. L'utilisation croissante de tels nanomatériaux manufacturés montre l'importance d'évaluer leur toxicité, la manipulation par les salariés pouvant conduire à leur inhalation, même fortuite. 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.

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

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

▶ ALLERGIES PROFESSIONNELLES

ÉTUDE
TERMINÉE

2016 → 2021

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

■ Danièle JARGOT

Département métrologie des polluants

Objectifs

La dermatose de contact allergique est une pathologie répandue dans le monde du travail, bien que sous-évaluée. La Commission européenne a estimé la perte annuelle de productivité associée à plus de 5 milliards d'euros et en a fait une priorité en terme de prévention. Les médecins allergologues disposent d'outils de diagnostic tels que les tests épicutanés, dont l'utilisation est orientée par l'observation du poste de travail. Un test épi-cutané positif prouve la sensibilisation du travailleur à une substance ou une famille de substances, mais il ne constitue pas une preuve irréfutable de lien entre la présence de ce composé dans l'environnement de travail et l'apparition des symptômes allergiques. Seule l'analyse chimique de la composition de tous les matériaux en contact avec le travailleur permet de conclure à ce lien. Mais la quantité et la diversité de ces matériaux sont importantes, ce qui rend l'identification extrêmement complexe.

L'objectif de cette étude était donc de définir un protocole analytique standardisé pour identifier un maximum d'allergènes dans les gants de protection. Cet outil permettrait d'aider au diagnostic mais également de capitaliser les données d'analyse pour proposer des solutions de substitution aux travailleurs, pour qui le port de gants est indispensable.

L'objectif de cette étude était donc de définir un protocole analytique standardisé pour identifier un maximum d'allergènes dans les gants de protection. Cet outil permettrait d'aider au diagnostic mais également de capitaliser les données d'analyse pour proposer des solutions de substitution aux travailleurs, pour qui le port de gants est indispensable.

Démarche

La démarche a reposé sur l'utilisation de la technique de chromatographie en phase liquide, couplée à la spectrométrie de masse en tandem. Un important travail de collecte d'informations sur les procédés de fabrication des gants, sur la répartition des types de gants disponibles sur le marché, sur la nature des produits constitutifs, des adjuvants et de leur caractère allergisant a été réalisé. Dans un



© G. Kerbaol - INRS/2022

second temps, une optimisation analytique a été menée afin de pouvoir analyser un maximum de ces produits en une seule extraction de gant. Enfin, ce protocole a été appliqué à 70 types de gants représentatifs du marché actuel.

Résultats principaux

Le protocole a permis d'identifier 43 substances allergènes dans les gants, réparties en 9 familles. Il est déclinable en trois versions en fonction du besoin de la recherche : soit le ciblage de l'ensemble des substances, soit une substance en particulier, soit une famille de substances. L'application aux quelque 70 types de gants collectés montre que tous les gants contiennent au moins un allergène, souvent un accélérateur de vulcanisation et que 45 % des gants analysés en contiennent au moins cinq. Par ailleurs, certaines familles d'allergènes ont été retrouvées dans des gants réputés ne pas en contenir.

Discussion

Les résultats obtenus dans cette étude vont être capitalisés dans une future base de données et le protocole analytique stabilisé permettra d'enrichir cette base avec les nouveaux types de gants qui seront mis sur le marché dans les années à venir. Devant l'importance du nombre d'allergènes mis en évidence, il a été suggéré de développer une batterie de tests épicutanés spécifiquement dédiée aux gants, ce qui va être étudié au niveau européen en 2022.

ÉTUDE
TERMINÉE

2017 → 2021

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

■ Isabelle SPONNE et Fabrice BATAIS
Département toxicologie et biométrie

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

Objectifs

Les allergies professionnelles peuvent être liées à la présence dans l'environnement de travail de produits chimiques appelés sensibilisants. Le seul moyen de prévenir la survenue de ces pathologies est de limiter l'exposition à ces substances. Celles-ci doivent donc être clairement identifiées. Dans ce contexte, la réglementation sur l'étiquetage permet d'identifier ces toxiques ; elle distingue les sensibilisants respiratoires, à l'origine d'asthme ou de rhinite, des sensibilisants cutanés responsables d'eczéma. Toutefois, l'évaluation de ces dangers repose sur la disponibilité de tests spécifiques. Pour identifier les sensibilisants cutanés, une démarche définie par l'OCDE recommande l'utilisation de tests chimiques et cellulaires, développés à partir des connaissances des mécanismes d'action de ces produits sur l'organisme. Pour les sensibilisants respiratoires, aucun test de caractérisation n'est à l'heure actuelle reconnu. Par ailleurs les mécanismes reliant les sensibilisants respiratoires aux pathologies associées demeurent lacunaires. L'objectif de l'étude était de connaître les mécanismes induits par les sensibilisants cutanés ou respiratoires dans un modèle cellulaire appelé *Bone marrow derived dendritic cells* (BMDC) développé à l'INRS.



Démarche

Des méthodes d'analyse ont été mises au point pour explorer des voies intracellulaires d'intérêt. Après avoir été validées, elles ont été appliquées sur le modèle cellulaire exposé à des produits chimiques de référence connus pour être des sensibilisants cutanés, des sensibilisants respiratoires, ou des non sensibilisants.

Résultats principaux

Les expériences réalisées ont permis de mettre en évidence des réponses intracellulaires différentes qui dépendent de la nature des substances chimiques testées. En fait, les activations de deux voies de signalisation, Nrf2-Keap1 et MAPKp38, permettent de distinguer les sensibilisants des non sensibilisants et surtout d'identifier les sensibilisants respiratoires. Ces derniers n'étaient pas identifiables par des tests *in vitro* auparavant.

Discussion

Il est désormais établi que l'évaluation des dangers des produits liés à la survenue d'allergie (sensibilisant), passe par une meilleure compréhension des mécanismes physiopathologiques concernés. Les essais visant à caractériser ces risques doivent faire appel à des tests alternatifs à l'expérimentation animale ; c'est dans ce contexte, que l'INRS a développé un modèle cellulaire adapté : BMDC. Les expérimentations réalisées au cours de l'étude ont permis de valider ce modèle *in vitro*. En montrant les réponses cellulaires spécifiquement induites par les substances sensibilisantes, ces travaux participent à une meilleure compréhension des mécanismes impliqués dans la survenue d'allergie ; les connaissances acquises complètent celles utilisées pour les tests d'évaluation des toxiques. Désormais, l'INRS dispose d'un test *in vitro* capable d'identifier les sensibilisants respiratoires. Il reste à approfondir les mécanismes pour distinguer les sensibilisants cutanés des respiratoires.

2018 → 2022

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

■ Marianne GUILLEMOT

Département métrologie des polluants

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

▶ AMIANTE ET FIBRES

2020 → 2022

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

■ Romain GUICHARD

Département ingénierie des procédés

■ Thèse de doctorat : Anjali KRISHNAN

Université Technique d'Eindhoven – Bert BLOCKEN

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



▶ NANOPARTICULES ET PARTICULES ULTRAFINES

2018 → 2021

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

■ Jérôme DEVOY et Frédéric COSNIER

Département toxicologie et biométrie

Objectifs

Les nanotubes de carbone (NTC) sont des nanomatériaux manufacturés aux propriétés mécaniques, électriques et chimiques exceptionnelles qui les rendent utiles pour de nombreuses applications. Leur utilisation grandissante suscite néanmoins des inquiétudes quant aux risques pour la santé des travailleurs exposés. L'exposition par inhalation à certains types de NTC peut induire une inflammation pulmonaire susceptible d'évoluer vers une fibrose ou un cancer. A ce jour, seul un NTC est classé cancérigène possible pour l'homme ; les autres n'ont pu être classés par manque de données suffisantes.

Cette étude portait sur le développement de nouveaux outils analytiques et leur utilisation pour approfondir les connaissances relatives aux effets pulmonaires des NTC. Son premier objectif était de répondre à la question récurrente de la dosimétrie des NTC dans l'appareil respiratoire. Le second était de tester l'utilisation du condensat d'air exhalé (CAE) chez le rat, comme alternative au liquide de lavage broncho alvéolaire (LBA), pour mesurer des marqueurs d'effets précoces liés aux phénomènes d'inflammation, de stress oxydant ou d'atteinte à l'ADN.

Démarche

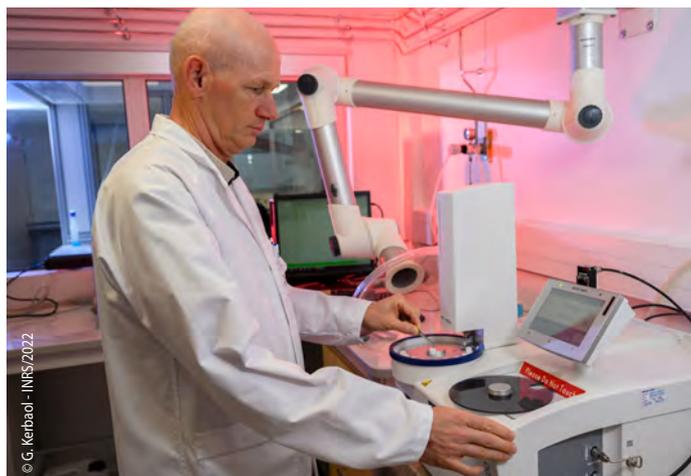
Une méthode de dosage des NTC dans le poumon par analyse thermogravimétrique (ATG) a été développée et mise en œuvre sur des échantillons, collectés à l'issue de différentes campagnes d'exposition par inhalation. Les tests sur le CAE ont d'abord nécessité la mise en place et la validation du dispositif de recueil de ces condensats ainsi que le développement de différentes méthodes chromatographiques nécessaires pour l'analyse des marqueurs d'effets. Des CAE ont ensuite été collectés au cours de différentes expérimentations.

Résultats principaux

Le dosage pulmonaire par ATG a été validé et mis en place avec succès sur différents NTC mais aussi sur le noir de carbone. Il a permis d'étudier les cinétiques de dépôt et d'élimination de NTC de différentes morphologies. La technique de recueil du CAE chez le rat est en place ; les méthodes de dosage des différents marqueurs également. Cependant, aucun marqueur d'effet n'a pu être mesuré dans des échantillons. Il apparaît que le CAE de rat est une matrice trop diluée pour permettre un suivi longitudinal des animaux dans le cadre des études de cancérogénèse. A ce jour, il ne peut donc pas se substituer au LBA.

Discussion

La mesure des NTC, et plus généralement des nanomatériaux, dans les matrices biologiques fait l'objet d'intenses échanges au niveau mondial en vue d'élaborer des guides ou normes, afin de consolider les résultats de recherches en éco-toxicologie. La technique analytique développée dans cette étude répond à cette préoccupation. Elle sera prochainement confrontée à d'autres techniques lors d'un contrôle inter-laboratoires. En outre, les données générées relatives au dépôt et à la biopersistance pulmonaires sont également essentielles ; elles permettront d'étudier la relation entre le dépôt et le risque de pathologie et de tester (ou d'améliorer) la pertinence des modèles mathématiques permettant l'estimation de ces dépôts.



© G. Kerbaol - INRS/2022

2016 → 2022

Caractérisation multiparamétrique des particules ultrafines métalliques

■ Davy ROUSSET

Département métrologie des polluants

■ Thèse de doctorat : Manuella GHANEM

Ecole des Mines de Douai - Patrice CODDEVILLE

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

2021 → 2024

Etude 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 VALLIERES

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.

2020 → 2025

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

■ Olivier WITSCHGER et Céline EYPERT-BLAISON

Département métrologie des polluants

Devant la multitude de situations d'exposition aux aérosols constitués en tout ou partie de nano-objets, leurs agrégats et agglomérats, il est nécessaire de développer des méthodes d'évaluation, pour 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 et Olivier WITSCHGER

Département métrologie des polluants

Les capteurs d'aérosols dits « à bas coût » (en anglais *low-cost aerosol sensors*, LCS) sont en plein essor et l'offre commerciale s'accroît. Pour autant, la connaissance de leur qualité métrologique est quasi inexistante. En réponse au mandat M/461

de la Commission européenne, un projet de recherche prénormative a été élaboré. Porté par l'IUTA (Allemagne), il mobilise quatre autres partenaires : l'INRS et le LNE en France ; l'IFA en Allemagne ; le TNO aux Pays-Bas. Il s'articule autour de plusieurs phases : revues bibliographiques, actions expérimentales en laboratoire et sur le terrain, développement d'une stratégie de mise en œuvre et élaboration du document normatif. Les objectifs pour l'INRS sont le développement de nouvelles connaissances techniques et l'acquisition de nouvelles pratiques en matière de mise en œuvre des capteurs dits « à bas coût », à des fins d'évaluation des expositions.

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.

2019 → 2023

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

■ Anca RADAUCEANU et Michel GRZEBYK

Département épidémiologie en entreprise

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

▶ PERTURBATEURS ENDOCRINIENS

2020 → 2022

Passage percutané du bisphénol S et modélisation

■ Fabrice MARQUET et Lisa CHEDIK

Département toxicologie et biométrie

Les résultats d'une première étude de passage percutané réalisée *in vitro* chez l'homme ont montré que le flux de passage percutané du 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.

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.

▶ AUTRES SUBSTANCES

2017 → 2022

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

■ Sophie NDAW et Radia BOUSOUHAH

Département toxicologie et biométrie

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



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

2019 → 2022

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.

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, « le cyste ». 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 GATE

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, cancérigènes 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 persistante sur la prévention des nuisances physiques et des risques mécaniques.

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

»» OBJECTIFS GÉNÉRAUX D'ÉTUDES ET RECHERCHE

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

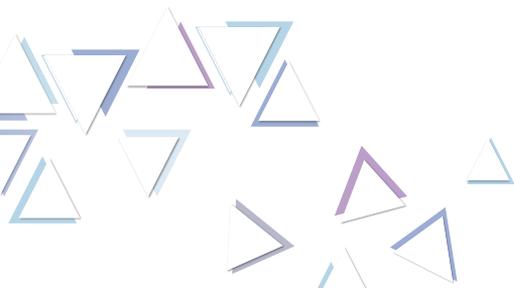
»» OBJECTIFS SPÉCIFIQUES D'ÉTUDES ET RECHERCHE

Des actions plus ciblées sur chacun des agents physiques ou mécaniques sont entreprises, afin d'accompagner, à tous les niveaux, les acteurs amenés à **veiller au respect des valeurs limites d'exposition et à réduire l'ensemble des risques liés aux procédés ou équipements de travail.**

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

- huit études traitent du bruit. Elles visent à mieux appréhender les nuisances sonores dues aux bruits dans le tertiaire, à agir sur les parois des locaux ou les protecteurs d'oreilles. La dernière traite de la fatigue auditive chez les professionnels exposés à de la musique amplifiée ;
- une étude propose de caractériser les effets des perturbations dynamiques sur la marche afin de prévenir les risques de chutes ;
- quatre études portent sur l'exposition aux champs électromagnétiques ou les rayonnements optiques ;
- deux portent sur les effets des vibrations transmises au système main-bras

Enfin, une étude a trait aux risques mécaniques, elle concerne l'arrimage de charges.



► BRUIT**ÉTUDE
TERMINÉE**

2018 → 2021

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

■ Patrick CHEVRET

*Département ingénierie des équipements de travail***Objectifs**

Plusieurs centaines de milliers de personnes travaillent en bureaux ouverts, espaces souvent promus pour la facilitation des échanges entre les collaborateurs. Ils favorisent néanmoins l'installation d'un bruit ambiant parfois élevé, bruit qui peut se révéler gênant et cofacteur du stress engendré par l'activité de travail en open-space. Parmi les différentes sources de bruit, il est admis aujourd'hui que la parole intelligible est la plus gênante. Les deux principaux objectifs de ce projet de recherche étaient, d'une part, de mettre au point un protocole de terrain pour l'évaluation de la fatigue ressentie par les occupants des bureaux ouverts et des déterminants de cette fatigue et, d'autre part, de développer un système prototype pour la mesure de l'exposition aux bruits de parole dans ces espaces.



© G. Kerbaol - INRS 2022

Démarche

Le projet était segmenté en quatre phases : un nouveau protocole expérimental d'évaluation de la fatigue en bureau ouvert a été établi et une expérience en laboratoire, dans des conditions proches du terrain, a été menée. Parallèlement à ces deux actions, la troisième phase prévoyait de développer un appareil de mesure de l'exposition aux bruits de parole, appareil déployé et validé sur le terrain dans une quatrième phase.

Résultats principaux

Un questionnaire a été créé pour évaluer la fatigue, la perception de l'environnement sonore, la somnolence et des dimensions psychologiques telles que la vigilance et la tension. En déployant ce questionnaire deux fois au cours de la journée, il a été possible de noter une évolution des états psychologiques au cours de la journée. Cette variation peut être différente selon l'activité des salariés. Les résultats obtenus en laboratoire confirment en partie ceux obtenus lors des interventions de terrain. De plus, il a été montré que la fatigue mentale était influencée par le niveau d'intelligibilité de l'environnement sonore. Plus il est élevé, plus importante est l'augmentation de la fatigue mentale et de la gêne sonore au cours de la journée. Enfin plusieurs exemplaires d'appareil à faible coût pour la mesure des bruits de parole ont été produits et testés en laboratoire et sur le terrain.

Discussion

Le questionnaire développé s'est montré pertinent quant à l'évaluation de la fatigue ressentie dans les bureaux ouverts. Relativement succinct, il peut être facilement utilisé en entreprise, en début et en fin d'activité. Par ailleurs, la démarche mise au point permet de faire des recommandations aux entreprises, comme des préconisations acoustiques ou des réaménagements de l'espace, afin de réduire le bruit et ses effets. Enfin, le développement d'un appareil à faible coût pour la mesure de l'exposition offre la possibilité de déployer ces appareils en quantité importante, afin de compléter les données acoustiques pour l'évaluation des effets du bruit en bureau ouvert.

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 -
Etienne PARIZET*

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

2021 → 2025

Etude 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.

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 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. Il est conduit avec trois partenaires : l'Institut de l'audition, l'Institut des neurosciences de Montpellier et le CHU de Montpellier. 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'homme ; 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.

2019 → 2022

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

■ Benoît POUYATOS et Thomas VENET
Département toxicologie et biométrie

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

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

ÉTUDE
TERMINÉE

2017 → 2021

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

■ Jonathan TERROIR
Département ingénierie des équipements de travail

Objectifs

En France, de nombreux travailleurs sont exposés quotidiennement à des niveaux de bruit susceptibles d'engendrer des problèmes d'audition. Afin de protéger ces travailleurs, l'utilisation de bouchons d'oreille est courante. Néanmoins, il est souvent constaté un port discontinu ou un refus de les porter. Ainsi, alors que la dimension de confort peut *a priori* sembler secondaire, elle conditionne la bonne utilisation des bouchons et donc la protection effective des personnes. Au vu de ces constats, une recherche dédiée à la compréhension du confort dans son sens le plus large a été initiée en collaboration avec l'IRSST (Canada).

Démarche

Une revue de la littérature a permis d'identifier les paramètres pouvant influencer le confort et de proposer une définition multidimensionnelle de celui-ci (physique, acoustique, fonctionnel et psychologique). Sur cette base, un questionnaire a été développé et déployé dans quatre entreprises auprès de 118 personnes, afin d'évaluer le confort de neuf modèles de bouchons d'oreille (appartenant à trois familles : malléables, pré-moulés et sur mesure). Un protocole d'évaluation en laboratoire a également été développé afin d'évaluer la reproductibilité des résultats de terrain et d'estimer l'impact de certains paramètres sur le ressenti du confort, tout en s'affranchissant des contraintes liées aux tests de terrain.

Résultats principaux

Les analyses ont permis de valider la structure du questionnaire et de confirmer la pertinence des dimensions proposées et des items abordés. Ce travail a également permis de classer les familles et modèles testés, permettant d'identifier et d'expliquer les préférences des utilisateurs (les modèles sur mesure ont été privilégiés) et de progresser dans la compréhension des paramètres pouvant intervenir dans le ressenti du confort. Concernant les tests en laboratoire, malgré



des divergences avec les données collectées sur le terrain des tendances homogènes sont identifiées au sein de chaque dimension du confort (conforts acoustique et physique plus faibles en laboratoire, confort fonctionnel et psychologique plus importants en laboratoire). Il a été possible d'émettre des hypothèses quant aux origines de ces divergences (durée du test, supervision de la mise en place du bouchon...).

Discussion

Si le protocole de laboratoire reste perfectible, le questionnaire développé s'avère être un outil adapté à l'évaluation (subjective) du confort, outil qui facilitera le choix d'un protecteur (adapté et accepté) en milieu professionnel et donc l'amélioration de la protection des travailleurs. Les résultats de l'étude pourront également aider les fabricants dans la conception de bouchons plus confortables *via* l'identification et la prise en compte des principales sources d'inconfort. A terme, un des objectifs sera d'intégrer le questionnaire à la norme EN 458, afin que ce dernier soit utilisable par les entreprises utilisatrices et les fabricants de bouchons. Le questionnaire permettra par ailleurs de progresser quant à la définition d'un indice de confort, d'impliquer les travailleurs dans le choix de leur protection auditive et de les sensibiliser au risque lié au bruit.

2021 → 2024

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

■ Jean-Pierre ARZ

Département ingénierie des équipements de travail

■ Thèse de doctorat : François EFFA

MEGA Université de Lyon – Nicolas GRIMAUULT

LORIA Université de Lorraine – Romain SERIZEL

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

2018 → 2022

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

■ Patrick CHEVRET

Département ingénierie des équipements de travail

■ Thèse de doctorat : Antoine MALRIN

Université de Lorraine - Joël DUCOURNEAU

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



► CHUTES

2020 → 2022

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

■ Pierre LEMERLE

Département Homme au travail

Dans les secteurs aérien, maritime ou ferroviaire, les travailleurs partagent des conditions de travail spécifiques dont une composante est l'exposition aux mouvements parasites (houle, turbulences, secousses), combinée à la marche ou à la station debout. Les excitations dynamiques représentent un risque majeur de chutes de plain-pied, à l'origine de 16 % des accidents du travail. L'INRS propose d'étudier ces effets en laboratoire, en collaboration avec son homologues 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.



© G. Merbaud - INRS/2022

► CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

2020 → 2022

Compatibilité électromagnétique des dispositifs médicaux implantables actifs au poste de travail

■ Gérard FLEURY et Lucien HAMMEN

Département ingénierie des équipements de travail

■ Thèse de doctorat : Lucien HAMMEN

Centrale Supélec GEEPS – Lionel PICHON

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.

2022 → 2026

Evaluation 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.

▶ RAYONNEMENTS OPTIQUES

2018 → 2022

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

■ Damien BRISSINGER

Département ingénierie des équipements de travail

Afin d'aider les entreprises à se conformer aux exigences de prévention des risques liés à l'exposition aux rayonnements optiques, l'INRS a développé et mis à disposition l'application CatRayon. Celle-ci intègre notamment une liste de protecteurs, mais la versatilité du marché rend difficile sa mise à jour. L'utilisation d'un modèle pour évaluer la transmission des filtres optiques à partir de leur composition chimique permettra d'étendre la gamme des données proposées sur les protecteurs.

2020 → 2022

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

■ Jean-Marc DENIEL

Département ingénierie des équipements de travail

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

▶ VIBRATIONS

2017 → 2021

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

■ Christophe NOËL

Département ingénierie des équipements de travail

■ Thèse de doctorat : Maha REDA

*Université de Bourgogne Franche-Comté –
Emmanuelle JACQUET*

Objectifs

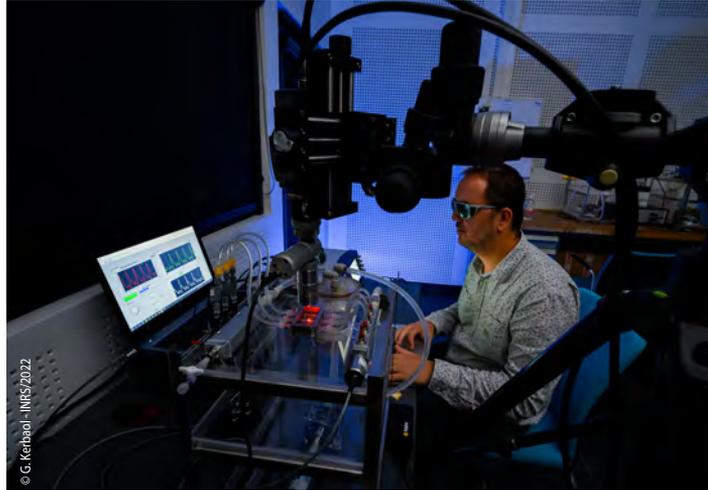
Aujourd'hui en France, 11,3 % des salariés sont exposés à des vibrations transmises aux membres supérieurs. Une exposition prolongée à de forts niveaux vibratoires peut entraîner des pathologies. Pour tenter de protéger les salariés, la dose d'exposition journalière aux vibrations est réglementée. Elle est évaluée selon une norme de mesurage qui



ne garantit pas une protection suffisante des salariés, au regard des troubles vasculaires d'origine vibratoire tel que le syndrome de Raynaud. Le but de cette étude est d'apporter des connaissances pour définir, à terme, une dose vibratoire qui reflèterait mieux les effets physiopathologiques induits par les vibrations sur le réseau vasculaire des doigts.

Démarche

Les vibrations mécaniques émises par une machine vibrante se propagent à l'intérieur des doigts et de la main du salarié tenant ou portant cette machine. Ces vibrations à l'intérieur des tissus vivants modifient les champs de contraintes, ceux de déformations mécaniques ou bien encore la température. Ces modifications thermomécaniques entraînent une diminution des forces tangentielles exercées par le sang sur la paroi des artères (*Wall Shear Stress – WSS*). Ces baisses aiguës du WSS, répétées pendant plusieurs années, sont susceptibles de conduire à une sténose artérielle, caractéristique d'un syndrome de Raynaud vibratoire. Dans une première étape, un dispositif expérimental a été développé, pour quantifier la baisse du WSS sur la main gauche d'un volontaire, lorsque sa main droite est exposée à des vibrations de fréquence et d'amplitude variables. Ce dispositif a été mis en œuvre sur une cohorte de 24 volontaires. Dans une seconde étape, un modèle mécano-biologique qui simule la sténose artérielle en fonction du WSS a été construit. Cette sténose est supposée être engendrée par des mécanismes biologiques d'hyperplasie intimale.



Résultats principaux

Les vibrations diminuent de manière importante les forces tangentielles exercées par le sang sur la paroi de l'artère. Par exemple, le WSS est divisé par trois (par rapport à son niveau basal) pour une vibration de $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ (niveau vibratoire d'une ponceuse). La fréquence des vibrations n'a pas d'effet statistiquement significatif sur la baisse du WSS, qui est donc identique pour les 8 fréquences testées entre 31 Hz et 400 Hz. Par ailleurs, il a été montré que la baisse de WSS est proportionnelle au logarithme de l'amplitude de la vibration. Le modèle mécano-biologique a simulé une sténose artérielle de 30 % pour un salarié exposé 4 heures par jour pendant 10 ans. Ce modèle a aussi mis en évidence l'accumulation chronique d'une enzyme impliquée dans le remodelage des parois de l'artère : la métalloprotéase matricielle 2 (MMP-2).

Discussion

En connaissant l'exposition journalière (le modèle peut prendre en compte tout type de cycle d'exposition) et le WSS (ou de manière équivalente l'accélération sur la machine), le modèle mécano-biologique développé permet de déduire le degré de sténose (en tenant compte éventuellement de la variabilité interindividuelle) donc celui de la pathologie pour une exposition chronique aux vibrations. Il permet de parvenir à une nouvelle définition de la dose vibratoire.

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

■ Thèse de doctorat : Simon VAUTHIER

Institut FEMTO-ST - Emmanuelle JACQUET

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, et les effets sanitaires des vibrations hautes fréquences et des chocs, générés par exemple par les burineurs, non plus. 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.

► RISQUES MECANIQUES

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.



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

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

»» OBJECTIFS GÉNÉRAUX D'ÉTUDES ET RECHERCHE

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

»» OBJECTIFS SPÉCIFIQUES D'ÉTUDES ET RECHERCHE

Les travaux liés à l'organisation du travail sont conduits dans l'objectif **de développer des solutions de prévention que les acteurs puissent effectivement s'approprier.**

Dans cette rubrique, vingt et un projets sont menés :

- six études portent sur divers aspects de l'organisation du travail en termes de conception des lieux et des situations de travail, ou d'horaires atypiques ;
- quatre études portent sur l'organisation de la prévention et la culture de prévention à travers des questions telles que l'impact économique de la prévention, les nouvelles formes de travail et d'emploi, les pratiques de terrain en matière d'analyse des accidents du travail ou encore les perceptions et représentations des risques ;
- trois études traitent des risques psychosociaux ;
- cinq ont trait aux troubles musculosquelettiques ;
- trois projets traitent du vieillissement et du retour au travail.



► CONCEPTION DES LIEUX ET DES SITUATIONS DE TRAVAIL

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

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

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

Ecole d'architecture de Nancy- Gilles HALIN et Tommy MESSAOUDI

L'émergence d'outils numériques liés au BIM (ou 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.

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

L'objectif de cette étude d'instruction est de faire un état de connaissances sur les nuisances dans les bureaux ouverts et de construire un programme dont l'objectif sera de préconiser des solutions de construction et d'aménagement, afin que ces locaux de travail présentent des conditions de travail satisfaisantes pour les salariés. Cette étude intégrera les contraintes liées aux mutations des



organisations de travail. Les résultats attendus sont une connaissance approfondie des différentes typologies de bureaux ouverts existants et à venir, ainsi que des facteurs physiques de l'environnement de travail. Par ailleurs, il est aussi attendu une meilleure connaissance des liens entre facteurs physiques, confort, processus cognitifs liés à la charge de travail et à la fatigue, et la santé. La contribution des facteurs psychosociaux (dimensions psychologiques, ambiance de travail, etc.) à la mauvaise qualité perçue de l'environnement physique de travail sera également abordée.

2022 → 2025

Elaboration 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 84000 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 envisagées 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.

▶ HORAIRES ATYPIQUES

2019 → 2022

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 services, afin de mieux connaître les stratégies mises en œuvre, les difficultés et les leviers (échelle organisationnelle) ainsi que les facteurs influençant l'appropriation (échelle collective et individuelle) du travail posté. Les résultats s'adresseront en priorité aux acteurs des services de prévention et de santé au travail.

2016 → 2022

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

■ Stéphanie BOINI-HERRMANN et Ève BOURGKARD

Département épidémiologie en entreprise

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

► ORGANISATION DE LA PRÉVENTION ET CULTURE DE PRÉVENTION

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

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

2019 → 2023

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

■ Corinne VAN DE WEERDT

Département homme au travail

■ Thèse de doctorat : 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.



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.

► PERCEPTION ET REPRÉSENTATION DU RISQUE

2020 → 2024

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

■ Mireille LAPOIRE-CHASSET

Département homme au travail

■ 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.

► 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.

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 → 2022

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

■ Régis COLIN et Stéphanie BOINI-HERRMANN

Département épidémiologie en entreprise

■ Thèse de doctorat : Régis COLIN

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

L'étude a pour objectif d'identifier les déterminants des accidents du travail (AT) liés à l'organisation et aux situations de travail et de caractériser les effets conjoints de la multiexposition aux facteurs psychosociaux et aux facteurs physiques (interaction, médiation, modération) en tenant compte des facteurs individuels et du macro-environnement.

Elle repose sur les données de l'enquête Santé itinéraire professionnel et de l'enquête « Conditions de travail 2013 » de la Dares, appariée à l'enquête Risques psychosociaux de 2016. Les résultats permettront de développer une connaissance plus fine des effets des différentes dimensions de l'environnement de travail sur la survenue d'AT. L'étude des effets des multiexpositions entre facteurs physiques et facteurs psychosociaux sur les AT, encore peu explorés, permettra de caractériser les conséquences d'expositions conjointes à plusieurs déterminants d'AT.

► TROUBLES MUSCULOSQUELETTIQUES (TMS)

2018 → 2022

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

■ Aude CUNY et Kevin DESBROSSES

Département homme au travail

■ Thèse de doctorat : Clara SCHOOSE

Université de Grenoble - Sandrine CAROLY

■ Adriana SAVESCU

Département ingénierie des équipements de travail

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

2019 → 2022

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

■ Jean THEUREL et Kévin DESBROSSES

Département homme au travail

■ Thèse de doctorat :

Mathilde SCHWARTZ

*Université de Lorraine -**Guillaume MORNIEUX*

Cette étude de laboratoire a pour premier objectif d'investiguer les adaptations neuromusculaires et cinématiques liées à l'utilisation d'exosquelettes robotisés d'assistance lors de différentes tâches de manutention. Au-delà des groupes musculaires directement assistés, l'analyse sera étendue aux muscles antagonistes (i.e., opposés à l'assistance) et aux muscles posturaux. Par ailleurs, il s'agira d'évaluer l'impact de l'usage d'un exosquelette robotisé sur le métabolisme énergétique et les réponses cardiovasculaires, ainsi que sur l'occurrence de la fatigue au cours d'une



tâche prolongée. Les résultats permettront d'enrichir le débat sur le rôle des exosquelettes dans la prévention des TMS, en apportant notamment des connaissances quant à l'impact des technologies robotisées sur les coordinations motrices et gestuelles, ou encore sur les réponses métaboliques.

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 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 : Etienne 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.

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 confrontation au 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.

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

ÉTUDE
TERMINÉE

2015 → 2021

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

■ Anne PICHENE-HOUARD

Département homme au travail

Objectifs

Les atteintes dégénératives opérées de l'épaule, survenues dans un contexte professionnel, sont source d'arrêts de travail prolongés, de pertes d'emploi, voire de désinsertion professionnelle, en particulier pour les travailleurs manuels manipulant des charges lourdes et encore éloignés de l'âge de la retraite. Les objectifs de cette recherche étaient triples : l'identification de facteurs préopératoires explicatifs de la durée d'arrêt de travail postopératoire ; la caractérisation de profils de retour au travail sous la forme de trajectoires stables, instables ou de non-retour au travail ; l'identification de facteurs pronostiques favorables et défavorables au retour durable au travail, à travers des analyses statistiques prédictives. Il s'agissait également d'identifier les outils (questionnaires, tests) les plus pertinents pour détecter précocement un risque de retard ou d'échec du retour au travail, afin de faciliter une prise en charge adaptée, notamment par les soignants et les services de santé au travail.

Démarche

La démarche reposait sur une étude épidémiologique longitudinale conduite sur 108 participants, comportant cinq temps de recueil de données, depuis le stade préopératoire jusqu'à une année après le retour au travail. Les données collectées comportaient un compte rendu opératoire standardisé, des questionnaires de santé et de travail validés, des tests fonctionnels ; des entretiens directifs explorant notamment le parcours professionnel, le rapport au travail, les modalités de reprise du travail, les arrêts de travail éventuels. Elles comportaient, enfin, un cahier de suivi de la douleur et de la gêne fonctionnelle pendant le premier mois de reprise, ainsi qu'une mesure des mouvements à l'aide d'accéléromètres, un mois et un an après la reprise de travail. Les trois types de trajectoires de retour et de maintien au travail prenaient en compte l'évolution du temps de travail et l'aménagement éventuel du contenu des tâches.

Principaux résultats

L'analyse des facteurs prédisant la durée d'arrêt de travail postopératoire a retenu le nombre de régions du corps entier douloureuses ou gênantes lors des douze derniers mois, le fait d'être en arrêt de travail au stade préopératoire, le niveau d'exigence physique du travail pour les épaules, le pronostic autoévalué de maintien dans l'emploi actuel dans les deux années à venir selon la santé et, enfin, le degré de préparation au retour au travail. L'analyse des facteurs prédisant la trajectoire de retour et de maintien au travail a tenu compte de la santé perçue par le participant, le fait d'avoir ou pas une déchirure d'un tendon de l'épaule et enfin, le niveau d'exigence physique du travail pour les épaules.



Par ailleurs, les participants « à trajectoire instable » éprouvaient, en moyenne, davantage de difficultés lors des mouvements de l'épaule opérée que les participants « à trajectoire stable ». La mesure des mouvements à l'aide d'accéléromètres a suggéré l'augmentation de la sollicitation du membre opéré un an après la reprise, par rapport à un mois après celle-ci, ainsi que l'abandon de stratégies gestuelles compensatoires sur le membre supérieur non opéré. Les tests fonctionnels ne prédisaient pas le résultat du retour au travail.

Discussion

Des questions simples à poser sont prédictives de la durée d'arrêt de travail postopératoire et de la trajectoire de retour et de maintien au travail. Certaines d'entre elles sont nouvelles par rapport à celles citées dans la littérature sur les pathologies dégénératives de l'épaule. Les cahiers de suivi et la mesure de mouvements corporels à l'aide d'accéléromètres sont rares dans cette littérature. En termes de valorisation, des articles seront publiés et des applications sont à prévoir en formation, notamment en direction des préventeurs, pour sensibiliser les acteurs de la santé au travail et les employeurs.

2018 → 2022

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

■ Sandrine GUYOT

Département homme au travail

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

Département homme au travail

Une première étude dans le secteur du BTP a 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.



THÉMATIQUES FOCUS EN SANTÉ ET SÉCURITÉ AU TRAVAIL

Les pages qui suivent présentent dix-sept études conduites en 2021-2022, dans le cadre des cinq thématiques focus inscrites au plan stratégique de l'INRS pour les années 2018-2022.

➔ Industrie du futur et prévention

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

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

»» OBJECTIFS D'ÉTUDES ET RECHERCHE 2018 - 2022

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

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



2018 → 2021

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

■ Pascal LAMY

Département ingénierie des équipements de travail

■ Thèse de doctorat : Romain DUPONNOIS

Université de Lorraine - Éric LEVRAT et

Ecole nationale des arts et métiers de Metz - Ali SIADAT

Objectifs

Cette étude concernait la prévention des accidents pour les machines en exploitation dans le secteur manufacturier. Le contexte d'exploitation fait que la machine, et d'une façon plus générale la situation de travail, peut dériver. Ceci peut conduire à des dysfonctionnements qui vont mener l'opérateur à vouloir intervenir. Cette réponse de l'opérateur peut le placer dans une situation dangereuse.

Le but de ce travail était de fonder les bases d'un système de surveillance de la situation de travail et ainsi de pouvoir prévenir ces situations dangereuses spécifiques, en cas de réponses de l'opérateur suite à des dérives. Il s'agissait de construire une démarche structurée de modélisation, d'analyse de la situation de travail et de définir un indicateur d'état de santé de la situation de travail.

Démarche

Cette étude a été menée en partenariat avec le Centre de recherche en automatique de Nancy (Cran-Université de Lorraine) et le Laboratoire de conception fabrication commande (LCFC-Ensam). La méthode a été construite afin de répondre aux spécificités des types d'accidents et les différentes étapes ont été construites et ajustées en exploitant un ensemble automatisé de l'AIP Lorrain (Atelier inter-établissements de productique).

Résultats principaux

Ces travaux ont abouti à l'élaboration d'un modèle générique de la situation de travail, en préliminaire à la démarche innovante proposée pour la surveillance des situations dangereuses spécifiques, objet de cette étude. La première étape de la démarche modélise la situation globale (machine, produit, opérateur, environnement) et les interactions entre ses composantes. La deuxième étape utilise ce modèle de données et explicite la réalisation d'une analyse dysfonctionnelle pour déterminer les dérives (machines et produits) mais aussi les dérives des interactions (pour obtenir les réponses de l'opérateur, et leurs causes, suite à un dysfonctionnement). Elle estime ensuite les situations dangereuses en résultant. La troisième étape propose un indicateur global, indicateur qui s'appuie sur les résultats de la deuxième étape (relations entre les dérives techniques et les réponses de l'opérateur) et les données associées issues de la première étape, pour refléter la santé de la situation de travail.

Discussion

La réalisation d'un modèle de données permet de rendre la démarche systématique et de structurer l'analyse. Il pourrait être utilisé à d'autres fins, par exemple en re-conception. Cependant, il nécessite d'avoir à disposition la documentation décrivant la situation de travail, sinon des observations devront être menées pour l'établir. L'analyse dysfonctionnelle proposée permet aussi d'avoir un cadre structurant pour l'analyse. Elle est innovante en couplant l'analyse dysfonctionnelle de la machine et du produit ou flux de produit et leurs interactions. Des travaux complémentaires pourraient être menés pour outiller cette deuxième étape de la méthode. Un indicateur d'état de santé de la situation de travail est défini mais son mode de calcul pourrait être approfondi, par exemple en prenant en compte des variables telles que la durée de la dérive. Enfin, la méthode reste à déployer sur plusieurs cas industriels, afin de l'optimiser.



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

Département ingénierie des équipements de travail

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

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

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

2020 → 2022

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

■ Michaël SARREY

Département ingénierie des équipements de travail

Quels risques 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.

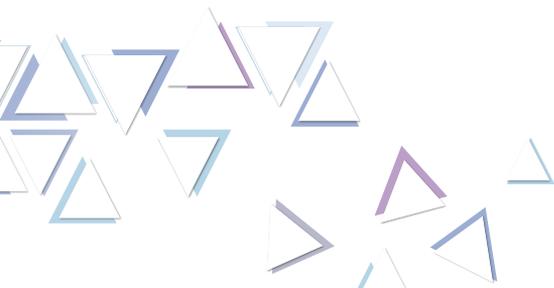
2021 → 2023

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.



➔ Reproduction et travail

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

»» OBJECTIFS D'ÉTUDES ET RECHERCHE 2018 - 2022

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

**ÉTUDE
TERMINÉE**

2018 → 2021

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

■ Anca RADAUCEANU et Valérie DEMANGE

Département épidémiologie en entreprise

Objectifs

Près de trois quarts des femmes françaises travaillent pendant leur grossesse. Certaines situations de travail ou expositions peuvent être à risque pour le déroulement de la grossesse ou pour l'enfant à naître. Par ailleurs, la reprise du travail après le congé de maternité représente une période de vulnérabilité physique et psychologique peu explorée. Faisant suite à des travaux antérieurs, cette étude avait pour objectif d'examiner l'ensemble de ces facteurs et d'analyser, à la reprise du travail après congé de maternité, les relations entre des caractéristiques professionnelles et des sollicitations en dehors du travail d'une part, le conflit travail - famille et la santé mentale / vécu professionnel d'autre part. Les particularités de la région parisienne (temps de trajet, secteurs d'activité, taille des entreprises) ainsi que le partenariat établi avec les médecins du travail de la région parisienne ont justifié le déroulement de cette étude en Ile-de-France.

Démarche

Menée auprès de salariées recrutées lors de la visite de reprise par des services de santé au travail interentreprises ou autonomes, l'étude exploratoire a permis de recueillir des données *via* trois questionnaires pour renseigner deux aspects :



- le déroulement de la grossesse au travail renseigné lors de la visite médicale : auto-questionnaire rempli par la salariée pour informer sur sa situation socioprofessionnelle et le déroulement de sa grossesse ; questionnaire rempli par le médecin pour informer sur les caractéristiques de l'emploi, les expositions professionnelles à risque pour la grossesse, les actions de prévention et les arrêts de travail pendant la grossesse ;
- le retour à l'emploi, renseigné par la salariée trois mois après la reprise de travail par auto-questionnaire retourné à l'INRS : informations sur l'emploi et l'organisation du travail, la manière dont la salariée est sollicitée au travail et hors travail, les difficultés à concilier vie professionnelle et familiale (conflit travail-famille), la santé mentale et le vécu professionnel.

2 375 salariées ont été recrutées par 165 médecins du travail, 1 511 salariées (64 %) ont renseigné le volet retour à l'emploi.

A suivi une phase d'analyses statistiques pour étudier les relations entre les sollicitations que subit le salarié au travail et hors travail et les scores d'anxiété, de dépression, et du vécu professionnel (sens du travail, engagement dans l'entreprise, satisfaction au travail), et explorer le rôle médiateur des conflits travail-famille ainsi que le rôle modulateur des soutiens professionnels (vertical et horizontal) et personnels (conjoint, famille, aide rémunérée) dans ces relations.

Résultats principaux

La plupart des sollicitations au travail est associée aux scores d'anxiété et de dépression, et ces relations sont médiées par le conflit travail-famille à des degrés divers (entièrement médiées pour la charge et le rythme de travail), moins pour le score de dépression que pour le score d'anxiété. Les modulations sont rares aussi bien par les ressources professionnelles (soutien de collègues pour la marge de manœuvre, soutien hiérarchique pour les horaires atypiques et le rythme de travail) que personnelles (soutien de la famille pour garde d'enfant compliquée, soutien du conjoint ou aide rémunérée pour le fait d'avoir un enfant demandant beaucoup d'attention). Concernant le vécu professionnel, toutes les demandes y sont associées et ces relations sont pour la plupart directes et non médiées par les conflits travail-famille, à l'exception de la charge et du rythme de travail. Les relations sont globalement modulées par les soutiens, plutôt par les soutiens professionnels que familiaux.

Discussion

L'étude a montré des relations entre les exigences subies au travail mais aussi hors travail avec des indicateurs de santé mentale et de vécu professionnel, pendant la période de reprise du travail après congé de maternité. Ces relations sont pour la plupart directes, à part pour les troubles anxieux dont les relations sont médiées par les conflits travail-famille. L'effet modulateur favorable des soutiens professionnels a été montré pour les troubles anxieux et le vécu professionnel, alors que l'effet modulateur des soutiens familiaux semble plus complexe. Renforcer les soutiens professionnels verticaux et les ressources par rapport aux demandes hors travail pourrait ainsi ouvrir des pistes de prévention. Aborder les sollicitations que subit la salariée au travail, les difficultés hors travail et les ressources potentielles lors de la visite de reprise permettrait de faire un état des lieux des facteurs associés à la santé mentale et au vécu professionnel.

2018 → 2022

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

■ Dieynaba NDIAYE

Département toxicologie et biométrie

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

2018 → 2022

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

■ Sarah VALENTINO

Département toxicologie et biométrie

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

➔ Impact des technologies de l'information et de la communication

Dans un contexte marqué par une compétition économique et un essor technologique sans précédent, la mise en œuvre de solutions innovantes pour collecter, stocker et transmettre des informations a profondément transformé les environnements et les organisations de travail. Les progrès apportés par les technologies de l'information et de la communication ont aussi modifié les relations professionnelles.

Ces usages ne sont pas sans conséquence sur la santé et la sécurité des salariés et sur les stratégies de prévention des risques professionnels, ni sur la place des collectifs de travail.

»» OBJECTIFS D'ÉTUDES ET RECHERCHE 2018 - 2022

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

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

2017 → 2021

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

■ Virginie GOVAERE et Lièn WIOLAND

Département homme au travail

Objectifs

Les entreprises de Transport routier de marchandises (TRM) sont soumises à de fortes contraintes : concurrence (enjeux économiques), réglementations spécifiques (enjeux environnementaux) et prévention des risques professionnels (enjeux santé et sécurité au travail). Au centre de l'organisation de ces entreprises se trouve le planificateur qui, parmi l'ensemble de ses activités, doit intégrer ces enjeux lorsqu'il élabore les tournées des conducteurs. Le projet Smart Planning avait pour objectif d'élaborer un système d'aide à la planification des tournées de livraisons prenant en compte l'ensemble de ces enjeux. Les retombées attendues en termes de santé et sécurité pour les planificateurs sont un allègement de leur

charge de travail par une génération automatique de plusieurs plannings auxquels les coûts en termes économiques, environnementaux et de santé-sécurité sont intégrés et visibles. Pour les conducteurs, les tournées devraient être plus équilibrées puisque des éléments relatifs à leur santé et sécurité sont intégrés dès la planification. La posture adoptée dans ce projet était interdisciplinaire (sciences de l'ingénieur, de l'ergonomie, de la prévention des risques professionnels et du monde de l'entreprise), itérative et inclusive, c'est-à-dire que les protocoles, les critères de validation, les expérimentations et l'analyse des résultats ont été validés à chaque étape par l'ensemble des participants.

Démarche

Le projet était structuré en tâches :

1. formalisation des contraintes et de la gestion des enjeux par les planificateurs ;
2. conception d'algorithmes pour la génération des tournées ;
3. conception des interfaces pour la présentation et la sélection de tournées ;
4. développement d'un démonstrateur informatique afin de tester et valider les apports des tâches précédentes.

L'INRS a piloté la première tâche et a contribué aux tâches trois et quatre. Les données issues du travail de l'INRS ont été recueillies auprès des participants industriels par observations et entretiens. Elles ont été confortées et alimentées par les résultats issus d'un questionnaire diffusé nationalement auprès des entreprises du TRM. Des mises en situations simulées et réelles ont permis de compléter et valider l'ensemble du dispositif.

Résultats principaux

Le démonstrateur a été réalisé et est disponible. Il permet de générer différents plannings et de mettre en visibilité des indicateurs économiques, environnementaux et de santé-sécurité. L'élaboration de l'indicateur « santé-sécurité » est basée sur la « formalisation des contraintes et des compromis effectués par les planificateurs lors de la planification » qui a montré que le « contexte » propre à chaque site livré, à chaque itinéraire était extrêmement variable (heure de livraison, configuration du site, etc.). En termes de prévention des risques professionnels, ce contexte joue un rôle central. Une démarche spécifique a donc été élaborée pour permettre d'intégrer ce contexte dans la planification. Cet indicateur intègre et rend visibles des facteurs de risques liés à l'activité physique, cognitive et émotionnelle pour chaque tournée proposée. L'interface du démonstrateur permet au planificateur de comparer les plannings générés et d'adapter celui retenu, la décision finale en termes de choix de planning restant à sa main.

Discussion

Ce projet alimente un volet fondamental et un volet appliqué. Du point de vue de la prévention des risques professionnels, il démontre la faisabilité de développer un tel outil soulageant les planificateurs et permettant d'anticiper et d'appliquer des mesures de prévention en amont de la réalisation des tournées effectuées par les conducteurs. Par ailleurs la démarche sous-jacente à l'élaboration de l'indicateur santé-sécurité peut être utilisée par toutes les entreprises du TRM indépendamment du démonstrateur.

2019 → 2022

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

■ Kévin DESBROSSES et Clarisse GAUDEZ

Département homme au travail

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

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.

➔ Aide et soin à la personne

Troubles musculosquelettiques, charge émotionnelle, risque infectieux, exposition chimique... les facteurs pouvant impacter la santé et la sécurité des personnels du secteur de l'aide et du soin à la personne sont multiples et se traduisent en termes de sinistralité. Les indices et taux de fréquence d'accidents au sein de cette population sont en effet parmi les plus élevés du régime général de la Sécurité sociale. En parallèle, le secteur de l'aide et du soin à la personne a connu un essor inédit ces dernières années, expliqué par les besoins d'accompagnement liés au vieillissement de la population ou à la dépendance de personnes âgées, encouragé aussi par des politiques incitatives.

Deux millions de salariés œuvrent dans le secteur de l'aide et du soin à domicile, et un million interviennent dans des établissements sanitaires et médico-sociaux (Ehpad...), autant de professionnels qu'il conviendra d'aider à s'approprier les principes de prévention.

»» OBJECTIFS D'ÉTUDES ET RECHERCHE 2018 - 2022

Renforcer l'appropriation des démarches de prévention des TMS et des RPS par les représentants du secteur :

- Préserver la santé physique des personnels aidants.
- Préserver la santé psychosociale des personnels aidants.

2019 → 2022

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

■ Stéphane GILLE

Département ingénierie des équipements de travail

Pour réduire les manutentions manuelles, une des mesures de prévention consiste à proposer des équipements roulants. Cependant, l'analyse des normes de conception de ces équipements montre que les protocoles de tests sous-estiment les efforts à produire pour les déplacer. Elles ne prennent pas en compte l'orientation des roulettes, le temps de mise en

mouvement et la nature du sol. Les revêtements déformables rencontrés dans les établissements utilisateurs, tels que le secteur des soins, les collectivités et l'hôtellerie-restauration, génèrent une résistance au déplacement plus importante que celle des sols durs pris en compte dans les normes de conception. L'objectif de cette étude est de compléter les protocoles normatifs actuels afin de prendre en compte ces paramètres.



➔ Polyexpositions au travail

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

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

»» OBJECTIFS D'ÉTUDES ET RECHERCHE 2018 - 2022

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

2021 ➔ 2024

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

■ Karine GERARDIN

Département ingénierie des procédés

Les travailleurs impliqués dans la gestion des sites 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.

2021 → 2025

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

■ Marie-Thérèse LECLERC et François ZIMMERMANN

Département ingénierie des procédés

■ Williams ESTEVE

Département métrologie des polluants

Les plastiques des équipements électriques et électroniques contiennent des retardateurs de flammes (RF) pour répondre aux normes d'inflammabilité. Ces composés suscitent des inquiétudes en matière de santé au travail ; certains sont considérés comme des perturbateurs endocriniens, voire des cancérogènes. 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.

2021 → 2022

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

■ Sophie NDAW et Baninia HABCHI

Département toxicologie et biométabolomique

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

2020 → 2023

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

■ Andréa EMILI et Gautier MATER

Département métrologie des polluants

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

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 de 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.



COMMISSION SCIENTIFIQUE DE L'INRS

(Composition au 1^{er} septembre 2022)

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 - Département santé au travail et environnement (Suisse)
--------------	---

Vice-présidents

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

Autres membres

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

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

GROUPES DE SUIVI

Pour couvrir l'étendue des disciplines présentes à l'INRS, la commission scientifique s'appuie sur des sous-commissions, appelées groupes de suivi. Au nombre de six, chaque groupe est relié, par domaine de compétence, à un département scientifique et technique (voir présentation ci-après) du centre de Lorraine de l'INRS.

Ces groupes examinent, pour chaque étude, les objectifs, la démarche suivie, les résultats, les retombées escomptées ou réalisées. Leurs membres se réunissent à l'INRS chaque année durant deux jours pour analyser les dossiers des études, échanger avec les chercheurs et établir leur rapport d'évaluation.

Membres du groupe de suivi département épidémiologie en entreprise

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

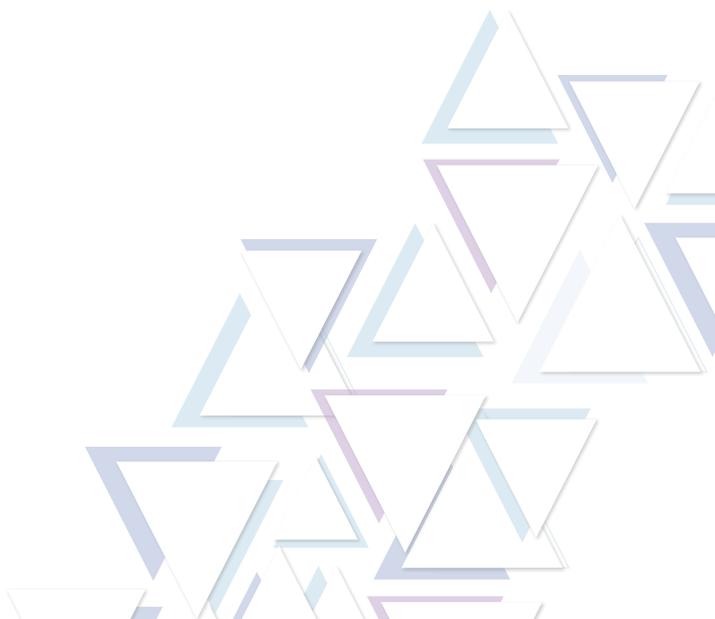
Membres du groupe de suivi département homme au travail

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

Pascal MADELEINE	Head of Physical Activity and Human Performance group
Arnaud MIAS	UMR 7170 CNRS/INRA/Université Paris-Dauphine. Institut de recherche interdisciplinaire en sciences sociales. IRISSO
Valérie SAINT-DIZIER	Université de Lorraine - Département de psychologie

Membres du groupe de suivi département ingénierie des équipements de travail

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



Membres du groupe de suivi département ingénierie des procédés

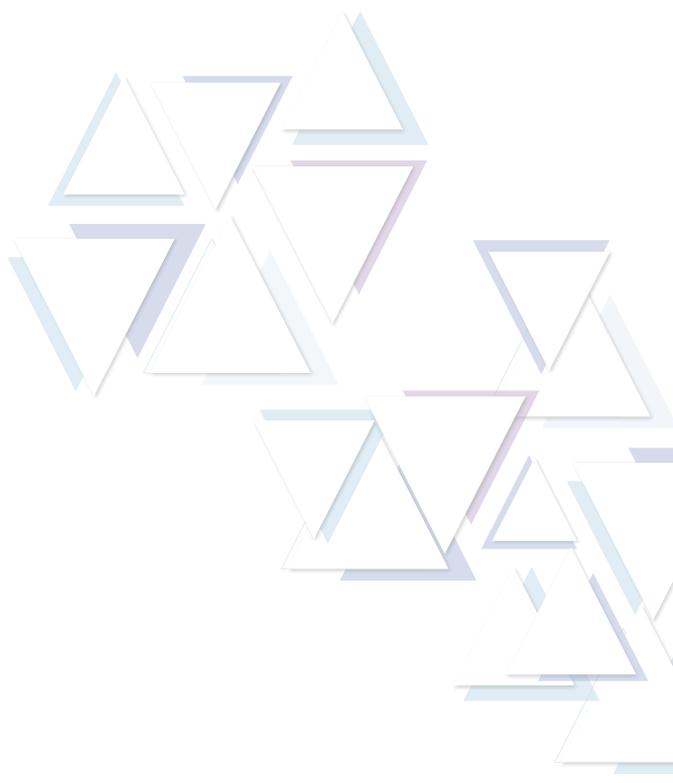
François DURIER	CETIAT - Directeur du développement et des partenariat
Marie-Christine FOURNIER-SALAUN	IUT de Rouen - Laboratoire de sécurité des procédés chimiques
Philippe GERARDIN	EA 4370 USC INRAE ; Faculté des sciences et technologie - Université de Lorraine (LERMAB)
Pierre LAMBERT	Carsat Aquitaine
Laurence LE COQ	IMT Atlantique Bretagne - Pays de Loire - Ecole Mines-Télécom
Michel LEBRUN	Carsat Auvergne - Centre interrégional de mesures physiques
Fabrice LERAY	Carsat Pays de la Loire
Coralie SCHOEMAECKER	UMR 8522 CNRS/Université de Lille. Physicochimie des processus de combustion et de l'atmosphère (PC2A)
Christophe SICOT	Ecole nationale supérieure de mécanique et d'aérotechnique - ENSMA
Anne TANIÈRE	UMR 7563 CNRS/Université de Lorraine. Laboratoire énergies et mécanique théorique et appliquée (LEMTA)
Christophe VIAL	UMR 6602 - Université Clermont Auvergne /CNRS/SIGMA. Institut Pascal - Axe génie des procédés, énergétique et biosystèmes
Dominique WOLBERT	Ecole nationale supérieure de chimie, équipe chimie et ingénierie des procédés

Membres du groupe de suivi département métrologie des polluants

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

Membres du groupe de suivi département toxicologie et biométrie

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



PUBLICATIONS DE L'ANNÉE 2021

➔ PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES

▶ AGENTS ALLERGISANTS

International Archives of Occupational and Environmental Health

■ DEMANGE V., GRZEBYK M., HERY M., MASSIN N., PARIS C., WILD P. - Longitudinal predictors of bronchial hyperresponsiveness and FEV1 decline in bakers. (Prédicteurs longitudinaux de l'hyperréactivité bronchique et du déclin du VEMS chez des boulangers). 2021, Vol. 94, pp. 751-761.

▶ EXPOSITIONS AUX AGENTS PATHOGENES

Waste Management

■ DEGOIS J., SIMON X., CLERC F., BONTEMPS C., LEBLOND P., DUQUENNE P. - One-year follow-up of microbial diversity in bioaerosols emitted in a waste sorting plant in France. (Suivi sur un an de la diversité microbienne des bioaérosols émis dans un centre de tri des déchets ménagers en France). 2021, pp. 257-268.

Annals of Work Exposures and Health

■ CHAZELET S., PACAULT S. - Efficiency of community face coverings and surgical masks to limit the spread of aerosol. (Efficacité des masques grand public et des masques chirurgicaux pour limiter la propagation des aérosols). 2021, 15 p.

Archives des Maladies professionnelles et de l'environnement

■ DESCATHA A., FADEL M., PITET S., VERDUN-ESQUER C., ESQUIROL Y., LEGEAY C., DINH A., CLODORE B., DUPRAT P., CARTEGNE S., DAGRENAT C., ANDUJAR P., LECLERC J.-P., LETHEUX C., et investigateurs de MAT-O-COVID - Matrice emplois-exposition pour le SARS-CoV-2 (COVID-19) : création de "Mat-O-Covid", validité et perspectives. 2021.

Hygiène et sécurité du travail

■ GUICHARD R., GERARDIN F. - Améliorer la ventilation des locaux de travail du tertiaire, pendant et après la pandémie de Covid-19. *Septembre 2021, n°264, nt92, pp. 53-61.*

Thèse de doctorat en Biologie-Santé-Environnement "Sciences de la vie et de la santé", avril 2021, Université de Lorraine, Nancy

■ BURZONI S. - Élaboration d'une méthodologie d'évaluation qualitative du risque biologique. *Mémoire de thèse, 238 p.*

► MYCOTOXINES ET ENDOTOXINES

Toxins

- NDAW S., JARGOT D., ANTOINE G., DENIS F., MELIN S., ROBERT A. - Investigating Multi-Mycotoxin Exposure in Occupational Settings: A Biomonitoring and Airborne Measurement Approach. (Evaluation des multi expositions aux mycotoxines en milieu professionnel : Biométrie et mesure atmosphérique). 2021, Vol. 13, Issue 1.
- NDAW S., REMY A., JARGOT D., ANTOINE G., DENIS F., ROBERT A. - Mycotoxins exposure of grain elevator workers. Biomonitoring and airborne measurements. (Exposition aux mycotoxines des travailleurs dans les silos à grain. Biométrie et mesures atmosphériques.). 2021, Vol. 382, Issue 13.

Références en santé au travail

- CARON V., DEMANGE V., BOURGKARD E. - Exposition professionnelle aux mycotoxines : effets sur la santé. *Septembre 2021, n° 167, TP 48, pp. 47-59.*

► AUTRES RISQUES BIOLOGIQUES

Science of the Total Environment

- MADSEN A.M., RAULF M., DUQUENNE P., GRAFF P., CYPROWSKI M., BESWICK A., LAITINEN S., RASMUSSEN P.U., HINKER M., KOLK A., GÓRNY R., GOUDET-OPPLIGER A., CROOK B. - Review of biological risks associated with the collection of municipal wastes. (Revue des risques biologiques liés à la collecte des déchets municipaux). 2021, Vol. 782, 8 p.

➔ PRÉVENTION DES RISQUES CHIMIQUES

► DÉVELOPPEMENT DE MÉTHODES

Environment International

- ZARE JEDDI M., B HOPF N., VIEGAS S., BAL PRICE A., POIRI A., VAN THRIEL C., BENFENATI E., NDAW S., BESSEMS J., A BEHNISCH P., LENG G., CORNELIU DUCA R., VERHAGEN H., CUBADDA F., BRENNAN L., ALI I., DAVID A., MUSTIELES V., F FERNANDEZ M., LOURO H., PASANEN KASE R. - Towards a systematic use of effect biomarkers in population and occupational Biomonitoring. (Vers une utilisation systématique des biomarqueurs d'effets dans la biosurveillance en population générale et professionnelle). *January 2021, Vol. 146, 106257.*

Sciences of the Total Environment

- BORGATTA M., HECHON J., WILD P., HOPF N. - Influence of collection and storage materials on glycol ether concentrations in urine and blood. (Influence des matériaux de collecte et de stockage sur les concentrations d'éther de glycol dans l'urine et le sang). *October 2021, Vol. 792.*

Antioxydants

- HEMMENDINGER M., SAUVAIN J.J., HOPF N., WILD P., SUAREZ G., GUSEVA CANU I. - Method Validation and Characterization of the Associated Uncertainty for Malondialdehyde Quantification in Exhaled Breath Condensate. (Validation de la méthode et caractérisation de l'incertitude associée à la quantification du Malondialdéhyde dans les condensats d'haleine expirée). 2021, Vol. 10, 1661.

Neuromethods

- THOMAS A., VENETT., POUYATOS B. - Assessment of auditory hair cell loss by cytochrome c oxidase. (Estimation des pertes de cellules ciliées cochléaires par cytochrome c oxydase). 2021, Vol. 172,
- VENETT., THOMAS A., WATHIER L., POUYATOS B. - DPOAEs for the assessment of noise- or toxicant-induced cochlear damage in the rat Running title: How to measure distortion product otoacoustic emissions in rats?. 2021, Vol 172, pp. 91-108.

Toxicology in Vitro

- REALE E., BERTHET A., WILD P., VERNEZ D., HOPF N. - Influence of experimental parameters on in vitro human skin permeation of Bisphenol A. (Influence des paramètres expérimentaux sur la perméation cutanée humaine in vitro du bisphénol A). 2021, Vol. 73.

Journal of Physics: Conference Series

- BAU S., PAYET R. - Laboratory study of the performances of two individual Condensation Particle Counters. (Etude en laboratoire des performances de deux compteurs de noyaux de condensation individuels). 2021.
- BAU S., OURY B., MATERA V., SIMON X. - Using particle effective density to determine SMPS-based aerosol mass concentration: application to airborne carbon and titanium nanoparticles. (Utilisation de la masse volumique effective de particules pour la détermination de la concentration massique d'aérosols à partir de données SMPS : application à des aérosols de carbone et titane). 2021.

Hygiène et sécurité du travail

- BAU S., PAYET R., WITSCHGER O., AUDIGNON S., GALEY L. - Le DISCmini pour la mesure en temps réel de l'exposition individuelle aux nanoparticules dans l'air des lieux de travail : performances et exemple d'application. *Mars 2021, n°262, nt 89, pp. 56-62.*

Note scientifique INRS

- OURY B., MELIN S., PELLETIER E., BEMER D. - Prélèvement et analyse des particules Émises par les Échappements des moteurs Diesel dans les atmosphères de travail. *NS 372, août 2021, 38 p.*

► SUBSTANCES CANCÉROGÈNES, MUTAGÈNES OU REPROTOXIQUES

Toxicology Letters

- SEBILLAUD S., GATE L., SEIDEL C. - Toward a better understanding of MWCNTs phagocytosis by alveolar macrophages. (Vers une meilleure compréhension de la phagocytose des nanotubes de carbone par les macrophages alvéolaires). *September 2021, Vol. 350S, S1-S276.*
- BARTHEL H., DARNE C., GATE L., VISVIKIS A., SEIDEL C. - MWCNTs induced epithelio-mesenchymal transition of BEAS-2B cells. (Les nanotubes de carbone multi-feuilletés induisent la transition épithélio-mésenchymateuse dans les cellules BEAS-2B.). *September 2021, Vol. 350S, S1-S276.*

Nanomaterials

- WENDLING H., DARNE C., GATE L., VISVIKIS A., SEIDEL C. - Continuous long-term exposure to low concentrations of MWCNTs induces an epithelial-mesenchymal transition in BEAS-2B cells. (L'exposition à long terme des cellules BEAS-2B à de faibles concentrations de MWCNT est responsable de l'induction de la transition épithélio-mésenchymateuse). 2021, Vol. 11.

Références en santé au travail

■ DARNE C., GUICHARD Y., SEIDEL C., GATE L. - Tests de génotoxicité : identifier des biomarqueurs d'effet lors des expositions à des agents cancérogènes. *Mars 2021, n°165, TP 46, pp. 119-129.*

Hygiène et sécurité du travail

■ SAUVE J.F., MATER G. - Portrait rétrospectif de l'exposition professionnelle au perchloroéthylène en France de 1987 à 2019. *Juin 2021, n°263, bd10, pp. 66-70.*

► SUBSTANCES ALLERGISANTES

Toxicology Letters

■ AUDRY A., MATHIOT J., MULLER S., COISCAUD A., LANGONNE I., BATAIS F., LEININGER B., SPONNE I. - A BMDC assay for studying the respiratory sensitisation mechanism: first results with platinum salts. (Un test BMDC pour étudier les mécanismes de la sensibilisation respiratoire: les premiers résultats obtenus avec des sels de platine.). *2021, Vol. 3505, S1-S276.*

Toxicology Research

■ AUDRY A., MATHIOT J., MULLER S., COISCAUD A., LANGONNE I., BATAIS F., LEININGER B., SPONNE I. - A new cytometry-based method reveals an accumulation of fNrf2 in dendritic cells exposed to two respiratory sensitizers. (Une nouvelle méthode de cytométrie révèle l'accumulation de Nrf2 dans des cellules dendritiques exposées à deux sensibilisants respiratoires). *2021.*

Archives des maladies professionnelles et de l'environnement

■ DEMANGE V., PARIS C., THAON I., PENVEN E., WILD P. - Une étude de l'asthme en relation avec le travail parmi 152 salariés asthmatiques potentiels repérés lors d'une visite en Service de Santé au Travail. *2021, Vol. 82, pp. 28-40.*

Hygiène et sécurité du travail

■ EMILIA, SAVARY B. - Comparaison de l'impact d'une évolution de la VLEP-8h sur les expositions au nickel en France. *Novembre 2021, n°265, bd12.*

► NANOPARTICULES ET PARTICULES ULTRAFINES

Environment International

■ PETREMAND R., WILD P., CREZE C., SUAREZ G., BESANCON S., JOUANIQUEV., DEBATISSE A., GUSEVA CANU I. - Application of the Bayesian spline method to analyze real-time measurements of ultrafine particle concentration in Parisian subway. (Application de la méthode des splines bayésiennes pour analyser les mesures en temps réel de la concentration de particules ultrafines dans le métro parisien). *2021, Vol. 156.*

Particle and Fibre Toxicology

■ COSNIER F., SEIDEL C., VALENTINO S., SCHMID O., BAU S., VOGEL U., DEVOY J., GATE L. - Retained particle surface area drives inflammation in rat lungs following acute, subacute, and subchronic inhalation of nanomaterials. (La surface particulaire retenue suite à une inhalation aiguë, subaiguë et subchronique de nanomatériaux gouverne la réponse inflammatoire pulmonaire chez le rat.). *2021, Vol. 18, Issue 29, pp. 18-29.*

International Journal of Hygiene and Environmental Health

■ GUSEVA CANU I., CREZE C., HEMMENDINGER M., BEN RAYANA T., BESANCON S., JOUANNIQUE V., DEBATISSE A., WILD P., SAUVAIN J., SUAREZ G., HOPF N. - Particle and metal exposure in Parisian subway: Relationship between exposure biomarkers in air, exhaled breath condensate, and urine. (Exposition aux particules et aux métaux dans le métro parisien : Relation entre les biomarqueurs d'exposition dans l'air, les condensats de l'air expiré et les urines). 2021, Vol. 237.

NanoImpact

■ BOUDJEMA J., LIMA B., GRARE C., ALLEMAN L.Y., ROUSSET D., PERDRIX E., ACHOUR D., ANTHÉRIEU S., PLATEL A., NESSLANY F., LEROYER A., NISSE C., LO GUIDICE J.M., GARCON G. - Metal enriched quasi-ultrafine particles from stainless steel gas metal arc welding induced genetic and epigenetic alterations in beas-2B cells. (Altérations génétiques et épigénétiques dans les cellules Beas-2B induites par les particules fines et ultrafines issues de fumées de soudage inox). 2021.

Advanced Powder Technology

■ BAU S., DAZON C., RASTOIX O., BARDIN-MONNIER N. - Effect of primary particle polydispersion on VSSA-based equivalent particle diameter: theoretical rationale and application to a set of eight powders with primary particle mean diameters ranging from 9 to 130 nm. (Effet de la polydispersion des particules sur le diamètre équivalent issu de la mesure de VSSA : démonstration théorique et application à 8 poudres de diamètres de particules primaires moyens entre 9 et 130 nm). 2021, Vol. 43, pp. 1369-1379.

Nanomaterials

■ VALENTINO S., CHEZEAU L., SEIDEL C., SEBILLAUD S., LORCIN M., CHALANSONNET M., COSNIER F., GATE L. - Exposure to TiO₂ nanostructured aerosol induces specific gene expression profile modifications in the lungs of young and elderly rats . (Modifications spécifiques du profil d'expression des gènes dans les poumons de rats jeunes et âgés exposés à un aérosol nanostructuré de TiO₂). 2021, Vol. 11, Issue 1466.

Journal of Occupational and Environmental Hygiene

■ AZZOUAGH M., KELLER F.X., CABROL E., CICI M., POURCHEZ J. - Occupational exposure during metal additive manufacturing: a study of laser powder bed fusion of aluminum alloy. (Mesure des émissions de polluants lors de la fabrication additive métallique : étude de la fusion sur lit de poudre d'un alliage d'aluminium). 2021, 14 p.

Toxicology and Environmental Health Sciences

■ AZZOUAGH M., KELLER F.X., CICI M., CABROL E., POURCHEZ J. - Ultrafine aerosol transient phase measurement with real-time monitoring instrument applied to cleaning process of L-PBF machine. (Mesures transitoires de l'aérosol généré lors des phases de nettoyage pour un procédé de fabrication additive type fusion sur lit de poudre (L-BPF)). 2021.

► PROTECTION COLLECTIVE ET INDIVIDUELLE

Chemical Engineering Journal

■ GERARDIN F., CLOTEAUX A., SIMARD J., FAVRE E. - A photodriven energy efficient membrane process for trace VOC removal from air: First step to a smart approach. (Un procédé membranaire photodynamique à haut rendement énergétique pour l'élimination des COV de l'air : premier pas vers une approche élégante). 2021.

Powder Technology

- BEMER D. - Granular bed filtration of a liquid aerosol. (Filtration sur lit granulaire d'un aérosol liquide). 2022, *Vol. 395*, pp. 218-225.
- AUDARD F., FEDE P., BELUT E., FONTAINE J.R., NEAU H., SIMONIN O. - Eulerian modelling of the powder discharge of a silo: attempting to shed some light on the origin of jet expansion. (Simulation Eulérienne de la vidange d'un silo de poudre : éclairage sur l'origine de l'expansion du panache de poussière). 2021, *Vol. 379*, pp. 49-57.

Process Safety and Environmental Protection

- KHIROUNI N., CHARVET A., DRISKET C., GINESTET A., THOMAS D., BEMER D. - Precoating for improving the cleaning of filter media clogged with metallic nanoparticles. (Application du précoating pour améliorer la régénération des médias filtrants colmatés par les nanoparticules métalliques). 2021, *Vol. 147*, pp. 311-319.

International Journal of Pharmaceutics

- CARES PACHECO M.G., JIMENEZ M., OBER A., GERARDIN F., SILVENTE E., FALK V. - Effects of humidity and glidants on the flowability of pharmaceutical excipients. An experimental energetical approach during granular compaction. (Effets de l'humidité et des agents glissants sur la fluidité des excipients pharmaceutiques. Une approche énergétique expérimentale pendant la compaction granulaire). 2021 Jul 15, *Vol. 604*:120747.

Computers and Chemical Engineering

- CARDENAS C., LATIFI A., VALLIERES C., MARSTEAU S., SIGOT L. - Analysis of an industrial adsorption process based on ammonia chemisorption: modeling and simulation. (Analyse d'un procédé industriel d'adsorption par chimisorption d'ammoniac : modélisation et simulation). 2021, *Vol. 48*, pp. 625-630.

Journal of Aerosol Science

- GAUDEL N., BEMER D., GERARDIN F. - A parametric study of aerosol particle scavenging efficiency by spray droplets. (Étude paramétrique de l'efficacité de collecte des particules d'aérosol par un spray de gouttelettes). 2021, *Vol. 159*, 105843

Environnement, risques & santé

- CHAZELET S. - Utilisation des masques dans la lutte contre la Covid-19. *Mai-juin 2021, vol.20, n°3, pp. 317-320.*

Turbulence and Interactions

- HALIMATALLAH G., BELUTE., LECHENE S., TROUETTE B., VINCENT S. - Simulation of a Confined Turbulent Round Jet at Moderate Reynolds Number. (Simulation d'un jet rond confiné à un nombre de Reynolds moyen). 2021, *Proceedings of the TI2018 Conference, Les Trois-Ilets (Martinique), NNFM 149*, pp. 110-116.

Références en santé au travail

- CHAZELET S., BAYEUX-DUNGLAS M.C., GUIMON M. - Évaluation de l'ajustement des appareils de protection respiratoire de type pièce faciale filtrante (FFP) utilisés en milieu de soins. *Mars 2021, n°165, TF 285, pp. 53-62.*

In Industrial Ventilation Design Guidebook, 2nd Edition, Engineering Design and Applications, Toronto, ON, Canada, in Howard D. Goodefellow and Yi Wang (Édit.)

- GUICHARD R., CHAZELET S., RICAUD M. - Best engineering control practices in nanotechnology. (Meilleures pratiques de contrôle technique dans le domaine des nanotechnologies). *Chapter 8.5, 2021, pp. 527-544.*

■ HUANG Y., PEI J., NIELSEN P., BONTHOUX F., LECHENE S., KELLER F.X., WU S., XU C., CAO Z. - Experimental techniques. (Techniques expérimentales). *Chapter 4, 2021, pp. 185-277.*

■ VIRTA M., LECHENE S. - Introduction to ventilation system commissioning and inspections. (Introduction à la mise en service et aux inspections des systèmes de ventilation). *Chapter 6.2, 2021, pp. 373-406.*

23rd International Conference on Process Control, 1-4 June 2021, Štrbské Pleso, République Slovaque

■ MATAMOROS F., LATIFI A., GLAUDE P.A., BOUNACEUR R., MONNIER H. - Dynamic optimization of low-pressure carburizing furnaces. (Optimisation dynamique du procédé de cémentation basse pression). *Proceedings, pp. 72-77, IEEE.*

Thèse de doctorat en Science, « Génie des procédés, des produits et des molécules », mai 2021, Université de Lorraine

■ CARDENASSARABIA C. - Analyse et modélisation du comportement des caissons d'épuration de l'air équipant les engins de chantier pour la protection des opérateurs contre les gaz et vapeurs. *Mémoire de thèse, 241 p.*

Thèse de doctorat en Génie des procédés et des produits et des molécules, novembre 2021, Université de Lorraine, Nancy

■ KHIROUNI N. - Etude de la régénération par jet-pulsé des cartouches filtrantes colmatées par des particules ultrafines métalliques. *Mémoire de thèse, 136 p.*

▶ AUTRES RISQUES CHIMIQUES

Environmental Research

■ SANTONEN T., PORRAS P. S., BOCCA B., BOUSOUMAH R., CORNELIU DUCA R., S. GALEA K., GODDERIS L., GOËN 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., NIEUWENHUYSE A., VIEGAS S., WASOWICZ W., SEPAI O., T.J. SHEEPERS P. - HBM4EU chromates study – overall results and recommendations for the biomonitoring of occupational exposure to hexavalent chromium. (Étude chromates (Projet HBM4EU) – résultats globaux et recommandations pour la biosurveillance de l'exposition professionnelle au chrome hexavalent). *2021, Vol. 204, Part A.*

■ VENTURA C., COSTA GOMES B., OBEREMM A., LOURO H., HUUSKONEN P., MUSTIELES V., F. FERNANDEZ M., NDAW S., MENGELERS M., LUJITEN M., GUNDACKER C., JOAO SILVA M. - Biomarkers of effect as determined in human biomonitoring studies on hexavalent chromium and cadmium in the period 2008-2020. *June 2021, Vol. 197.*

Annals of Work Exposures and Health

■ REMY A., ROBERT A., JACOBY N., WILD P. - 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. (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). *April 2021, Vol. 65, Issue 3, pp. 332-345.*

International Journal of Hygiene and Environmental Health

■ SAUVAIN J.J., SUAREZ G., HOPF N., BATSUNGNOEN K., CHARRIERE N., ANDRE F., LEVILLY R., WILD P. - Oxidative potential of aerosolized metalworking fluids in occupational settings. (Potentiel oxydant des fluides de travail des métaux en aérosol en milieu de travail). *International Journal of Hygiene and Environmental Health, June 2021, Vol. 235.*

■ S. GALEA K., P. PORRAS S., VIEGAS S., BOCCA B., BOUSOUMAH R., DUCA C., GODDERIS L., IAVICOLI I., JANASIK B., JONES K., E. KNUDSEN L., LEESE E., LESOV., LOURO H., NDAW S., RUGGIERI F., SEPAI O., T.J. SHEEPERS P., J. SILVA M., WASOWICZ W., SANTONEN T. - HBM4EU Chromate Study - Reflection and lessons learnt from designing and undertaking a collaborative European biomonitoring study on occupational exposure to hexavalent chromium. (Étude chromates (Projet HBM4EU) - Réflexion et enseignements issus de la conception et la réalisation d'une étude européenne collaborative de biosurveillance de l'exposition professionnelle au chrome hexavalent). 2021, Vol. 234.

International Journal of Environmental Research and Public Health

■ SCHEEPERS P., DUCA R., GALEA K., GODDERIS L., HARDY E., KNUDSEN L., LEESE E., LOURO H., MAHIOU S., NDAW S., POELS K., PORRAS S., SILVA M., TAVARES A., VERDONCK J., VIEGAS S., SANTONEN T. - HBM4EU Occupational Biomonitoring Study on e-Waste—Study Protocol.. (Étude HBM4EU de biosurveillance professionnelle sur les déchets électroniques - Protocole d'étude). 2021, Vol. 18.

Neurotoxicology

■ TALLANDIER V., CHALANSONNET M., MERLEN L., BOUCARD S., THOMAS A., CAMPO P., POUYATOS B. - An in vitro model to assess the peripheral vestibulotoxicity of aromatic solvents. (Un modèle in vitro pour évaluer la vestibulotoxicité périphérique des solvants aromatiques). 2021, Vol. 84, pp. 105–113.

Newsletter GDR Vertige de l'extrême

■ TALLANDIER V., CHALANSONNET M., POUYATOS B. - Evaluation de la toxicité vestibulaire des polluants industriels par une approche in vitro. *Juillet-Septembre 2021, n° 2, p. 8.*

Hygiène et sécurité du travail

■ SAVARY B., MATER G. - Portrait rétrospectif de l'exposition professionnelle aux chloramines dans les piscines et les stations thermales en France de 2011 à 2020. *Septembre 2021, n°264, bd11, pp. 94 à 97.*

■ COURTOIS B., MATER G., EMILI A., ESTEVE W., CLERC F., DUQUENNE P., NIKOLOVA-PAVAGEAU N. - Les contraintes de la mesure des expositions aux agents chimiques. *Juin 2021, n°263, do33, pp. 26-31.*

■ COURTOIS B., MATER G., CLERC F., DUQUENNE P. - Complémentarité, similarités, différences et limites de la mesure. *Juin 2021, n° 263, do33, pp. 40-43.*

■ PATRASCU C., BAU S., CLERC F., PHILIPPOT C., STECK J., ARTOUSS. - Expositions professionnelles lors de la fabrication additive utilisant des poudres métalliques. *Juin 2021, n°263, nt90, pp. 45-52.*

■ BOURGKARD E., DEMANGE V. - Expositions aux fluides de coupe et principaux effets sur la santé : une revue des études épidémiologiques. *Septembre 2021, n°264, do 34, pp. 24-32.*

■ KELLER F.X. - La fabrication additive : quelle prévention en entreprise ? *Mars 2021, 262, dc29, pp. 6-10.*

■ MATER G., ESTEVE W., CLERC F., COURTOIS B., NIKOLOVA-PAVAGEAU N., DUQUENNE P. - Les objectifs et les intérêts de la mesure des expositions aux agents chimiques. *Juin 2021, n°263, do33, pp. 20-24.*

■ MATER G., CLERC F., ESTEVE W., COURTOIS B., NIKOLOVA-PAVAGEAU N., DUQUENNE P. - Les techniques de mesure. *Juin 2021, n° 263, do33, pp. 32-39.*

■ SAUVE J.F., MATER G. - Portrait de l'exposition professionnelle aux substances chimiques visées par la mise à jour des VLEP réglementaires contraignantes. *Mars 2021, n°262, bd9, pp. 70-75.*

■ LEVILLY R. - Les déterminants de l'exposition appliqués aux brouillards de fluide de coupe. *Septembre 2021, n° 264, do34, pp. 38-44.*

■ TOMAZ S., LEVILLY R. - Méthodes d'évaluation des expositions aux fluides de coupe. *Septembre 2021, n°264, do34, pp. 33-37.*

Références en santé au travail

■ RICAUD M., PATRASCU C., MALARD S., KELLER F.X. - Fabrication additive ou impression 3D. *Mars 2021, n° 165, TP47, pp. 131-141.*

Thèse de doctorat en Biologie-Santé-Environnement "Sciences de la vie et de la santé", mars 2021, Université de Lorraine

■ TALLANDIER V. - Etude de la vestibulotoxicité périphérique des solvants aromatiques par une approche in vitro. *Mémoire de thèse, 203 p.*

Thèse de doctorat en Chimie théorique, physique et analytique "Optique et lasers, physico-chimie, atmosphère", février 2021, Université de Lille

■ CARON F. - Caractérisation détaillée des mécanismes de transfert de COV à l'interface matériau-air pour le développement de modèles numériques prévisionnels de la qualité de l'air intérieur. *Mémoire de thèse, 285 p.*

➔ PRÉVENTION DES RISQUES PHYSIQUES ET MÉCANIQUES

► BRUIT

Applied Acoustics

■ LENNE L., CHEVRET P., PARIZET E. - Measurement uncertainty and unicity of single number quantities describing the spatial decay of speech level in open-plan offices. (Incertitude de mesure et unicité des indicateurs décrivant la décroissance spatiale du niveau de parole dans les bureaux ouverts). *2021, Vol. 182, 12 p.*

Ergonomics

■ TERROIR J., PERRIN N., WILD P., DOUTRES O., SGARD F., GAUVIN C., NEGRINI A. - Assessing the comfort of earplugs: development and validation of the French version of the COPROD questionnaire. (Évaluation du confort des bouchons d'oreille : développement et validation de la version française du questionnaire COPROD). *Mars 2021, 14 p.*

International Journal of Occupational Safety and Ergonomics

■ ARZ J.P., NICOLAS G., EL SAWAF O. - Experimental assessment of the effect of wearing hearing protectors on the audibility of railway warning signals for normal hearing and hearing impaired listeners. (Evaluation expérimentale de l'effet du port de protecteurs auditifs sur l'audibilité de signaux de danger ferroviaires pour des auditeurs normo-entendants et malentendants). *Novembre 2021, 11 p.*

Concours pluripro

■ CHATILLON J., CHEVRET P. - Des avancées dans la prévention du risque bruit en open-space. *Février 2021, tome 143, N°2, p. 35-37.*

Références en santé au travail

■ TERROIR J., PERRIN N., WILD P. - Confort des bouchons d'oreille : déploiement d'un questionnaire d'évaluation en entreprise. *Décembre 2021, n° 168, TF 293, pp. 39-53.*

Hygiène et sécurité du travail

■ CHATILLON J., CHEVRET P. - Bruit en open space : prévention. Quels acteurs ? Quelles solutions ?. *Septembre 2021, n° 264, cc34, pp. 99-102.*

■ VENET T. - Exposition sonore et risque auditif chez les professionnels du secteur de la musique amplifiée. *Septembre 2021, n°264, nt93, pp 62-69.*

In: Ergonomie : 150 notions clé, Sous la direction de E. Brangier et G. Valléry, Paris, Dunod Editions

■ PERRIN N., TROMPETTE N. - Surdité professionnelle. *Chapitre, 2021, pp. 482-485.*

Euronoise 2021, Sociedade Portuguesa de Ac stica, October, 25-27, 2021, Madeira, Portugal

■ MALRIN A., DUCOURNEAU J., CHEVRET P. - Characterization of hearing aids to determine the intelligibility of hearing impaired employees in a noisy working environment. (Caractérisation des aides auditives pour déterminer l'intelligibilité des employés malentendants dans un environnement de travail bruyant). *Proceedings, pp. 434-441. ISBN 978-989-53387-0-2*

■ LENNE L., CHEVRET P., PARIZET E. - Measurement uncertainty and unicity of acoustic single number quantities in open-plan offices. (Incertitudes de mesure et unicité des indicateurs acoustiques dans les bureaux ouverts). *Proceedings, pp. 1208-1214. ISBN 978-989-53387-0-2*

Forum Acusticum 2020, 7-11 décembre 2020, Lyon, France

■ ARZ J.P., GRIMAULT N., EL SAWAF O. - Effect of wearing hearing protectors on the audibility of warning signals for normal and hearing-impaired listeners: experiment and model. (Influence du port de protecteurs auditifs sur l'audibilité des signaux de danger pour des auditeurs normo-entendants et malentendants : expérience et modèle). *Actes de forum, pp. 3433-3436.*

■ TERROIR J. - Earplugs comfort: development of a laboratory evaluation protocol. (Confort des bouchons d'oreille : développement d'un protocole d'évaluation en laboratoire). *Actes de forum, pp. 3427-3431.*

■ BROCOLINI L., CHEVRET P. - Parametric study for the development of a new indicator of the sound quality in open plan offices. (Etude paramétrique pour le développement d'un nouvel indicateur de la qualité sonore des espaces de bureaux ouverts). *Actes de Forum, pp. 2187-2192.*

■ LENNE L., CHEVRET P., PARIZET E. - Evaluation of the measurement uncertainties of D2S and LpAS4m in open-plan offices. ( valuation des incertitudes de mesure de la D2S et du LpAS4m dans les bureaux ouverts). *Actes de Forum, pp. 2211-2215.*

■ TROMPETTE N. - Recommended reverberation times for workshops. (Temps de réverbération recommandés pour les locaux industriels). *Actes de Forum, pp. 2211-2215.*

■ KHANFIR A., DUCOURNEAU J., FAIZ A., BEN HAMOUDA S., CHEVRET P. - Scattering acoustic field above a rigid rectangular parallelepipedic shape. (Etude du champ acoustique au-dessus d'une forme parall l pip dique rectangulaire rigide). *Actes de Forum, pp. 2211-2215.*

■ KOSTALLARI K., PARIZET E., BROCOLINI L., JUDON N., CHEVRET P., GALY E. - Compared effects of overall level and speech intelligibility on self-reported fatigue in open-plan offices: a laboratory study. (Comparaison des effets du niveau global et de l'intelligibilité de la parole sur la fatigue déclarée dans les bureaux ouverts : une étude de laboratoire). *Actes de Forum pp. 2193-2194.*

► CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Hygiène et sécurité du travail

■ LAURENT L., MOUILLSEAUX R. - Détermination des valeurs limites de l'exposition aux champs électromagnétiques. Les grands principes. *Juin 2021, n° 263, nt91, pp. 54-60.*

► EQUIPEMENTS DE TRAVAIL

Hygiène et sécurité du travail

■ BAUDOIN J. - Sécurisation des opérations de remplacement de pivots de direction de véhicules poids lourds. *Mars 2021, n° 262, ec30, pp. 64-68.*

► VIBRATIONS

Journal of Applied Mechanics

■ LEMERLE P. - Measuring viscoelastic properties of strained materials with a novel wave propagation method. (Mesure des propriétés viscoélastiques des matériaux précontraints par une méthode de propagation d'onde). *Août 2021, Vol. 88, 10 p.*

International Journal of Industrial Ergonomics

■ REBELLE J. - Truck loading or unloading operations: reduction of the whole-body vibration exposure of pallet truck drivers at the dock leveller location. (Les opérations de chargement ou de déchargement des camions : réduction de l'exposition du corps entier aux vibrations des conducteurs de transpalettes au niveau du quai). *Mai 2021, Vol. 83.*

In: *Ergonomie : 150 notions clé*, Sous la direction de E. Brangier et G. Valléry, Paris, Dunod Editions

■ PERRIN N., AMARI M. - Vibrations. *Chapitre, 2021, pp. 521-524.*

8th American Conference on Human Vibration, June 2021, virtual conference

■ REDA M., NOEL C., JACQUET E. - An agent-based model for simulating the arterial stenosis involved in vibration-induced Raynaud's syndrome. (Modélisation multi-agents de la sténose artérielle impliquée dans le syndrome de Raynaud d'origine vibratoire.). *Proceedings, 2 p.*

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

► CONCEPTION DES LIEUX ET SITUATIONS DE TRAVAIL

Applied Ergonomics

■ SAVIN J., GAUDEZ C., GILLES M., PADOIS V., BIDAUD P. - Evolution of movement variability patterns during a repetitive pointing task until exhaustion. (Évolution des patrons de la variabilité du mouvement pendant une tâche de pointage répétée jusqu'à l'épuisement). *Octobre 2021, Vol. 96, 103464, 17 p.*

Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering

■ SAVIN J., GAUDEZ C., GILLES M., PADOIS V., BIDAUD P. - Experimental study of movement variability during a repetitive pointing task until exhaustion. (Étude expérimentale de la variabilité du mouvement lors d'une tâche répétitive de pointage jusqu'à l'épuisement). *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, 2021, Vol. 24, N° S1, pp. S252-S253.*

IEA 2021, 21th Congress of the International Ergonomics Association, 13-18 June, 2021, Vancouver, Canada

■ GALEY L., JUDON N., GARRIGOU A. - Contribution to the industry 4.0 design project based on exposure situations. (Contribution aux projets de conception de l'industrie 4.0 à partir de situations d'exposition). *Actes de congrès, p. 144-148.*

ESREL 2021 - 31th European Safety and Reliability Conference, 19-23 September 2021, Angers, France

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

e-congrès Lambda Mu 22 – Congrès de maîtrise des risques et de sûreté de fonctionnement « Les Risques au cœur des transactions », 2020-2021, Le Havre, France

■ LAMY P., PERRIN N. - Proposition d'une démarche ergonomique pour analyser l'impact d'aléas de production sur la sécurité de l'opérateur. *Actes de congrès, pp. 53-57.*

s-mart2021 - 17^{ème} colloque national System Manufacturing Academics Resources Technologies AIP-PRIMECA, 31 mars - 2 avril 2021, Laval, France

■ LAMY P., DUPONNOIS R., LEVRAT E., SIADAT A. - Identification des situations dangereuses au sein de l'approche WSHM. *Actes de Congrès, 6 p.*

► MAINTENANCE

Le travail humain

■ GRUSENMEYER C., NIVELET T. - Allier les approches réglementaire et ergonomique de l'externalisation de la maintenance dans un objectif de prévention. *Septembre 2021, Vol. 84, pp. 257 à 287.*

Production maintenance

■ GRUSENMEYER C. - Prévenir les risques liés à l'externalisation de la maintenance : une étude de l'INRS. *Février-mars-avril 2021, n° 72, p.60-61.*

Hygiène et sécurité du travail

■ GRUSENMEYER C. - Des expositions professionnelles multiples et des organisations du travail complexes. *Mars 2021, n° 162, do32, p. 20-25.*

■ GRUSENMEYER C. - Organisation réticulaire de la maintenance et santé-sécurité au travail. *Mars 2021, n° 162, do32, p. 46-52.*

■ GRUSENMEYER C., NIVELETT. - Contractualisations de la maintenance et prévention. *Mars 2021, n° 162, do 32, p. 31-35.*

Epique 2021 – Association pour la recherche en psychologie ergonomique et ergonomie, 7-9 juillet 2021, visioconférence, Lille, France

■ GRUSENMEYER C. - Externalisation de la maintenance et phénomènes de "désorganisation". Étude de cas dans une entreprise exploitante de taille intermédiaire. *Actes du colloque, p. 105-112.*

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

La revue des conditions de travail

■ GROSJEAN V., CARBONNEL A. - Conditions d'appropriation de la gouvernance partagée dans une structure bureaucratique. *Juillet 2021, n°12, p.62-73.*

Références en santé au travail

■ GUYOT S. - Le travail en effectifs variables : l'expérience à l'épreuve de la flexibilité. Séminaire annuel « Âges et Travail » CREAPT, Paris, 10-11 mai 2021. *Décembre 2021, n° 168, TD 285, pp. 71-80.*

IEA 2021, 21st Congress of the International Ergonomics Association, 13-18 June, 2021, Vancouver, Canada

■ AUBLET-CUVELIER A., HERY M., MALENFER M. - From globalization to circular economy, which issues for health and safety at work? (De la mondialisation à l'économie circulaire, quels enjeux pour la santé et la sécurité au travail ?). *Proceedings, pp. 592-596.*



► CULTURE DE PREVENTION ET PERCEPTION DU RISQUE

Sociologies pratiques

■ BONNET, DRAIS E. - Les tensions du travail d'articulation dans l'encadrement de l'aide à domicile. Le cas du secteur marchand face à une pénurie de ressources. 2021, n°42, pp. 33-43.

Les chroniques du travail

■ ROSSIGNOL K., PRIMERANO J., LAPOIRE-CHASSET M., DRAIS E., BONNET T. - Prévenir les risques au travail face à la Covid-19. Les masques comme moyens de protection individuelle et collective. *Décembre 2021, n°11, p. 35-58.*

Hygiène et sécurité du travail

■ ROSSIGNOL K., DRAIS E. - Comment utiliser la grille de positionnement en santé et sécurité au travail (GPSST) ? *Mars 2021, n°262, fi27, 2 p.*

In: *Ergonomie : 150 notions clé*, Sous la direction de E. Brangier et G. Valléry, Paris, Dunod Editions

■ AUBLET-CUVELIER A., DELEPINE A. - Prévention des maladies professionnelles. *Septembre 2021, p. 400-403.*

Epique 2021 – Association pour la recherche en psychologie ergonomique et ergonomie, 7-9 juillet 2021 (visioconférence), Lille, France

■ MARC J., ROGALSKI J., MACQUET A.C. - Le chemin laborieux du partage et de la reconnaissance des émotions au sein d'un collectif. *Actes de congrès, pp. 84-88.*

■ PELLEGRIN L., MARC J. - Conséquences des exigences de la tâche primaire sur les processus émotionnels dans la gestion de situations complexes et dynamiques. *Actes de congrès, pp. 89-92.*

Les entretiens du risque 2021, novembre 2021, Paris, France

■ MARC J. - Méthodologie d'aide à la détection de risques de défaillances organisationnelles à bas bruit : une application au sein d'un SDIS. *Actes de congrès, fihal-03435344f.*

► RISQUES PSYCHOSOCIAUX

Journal of Occupational and Environmental Medicine

■ COLIN R., WILD P., PARIS C., BOINI S. - Effect of joint exposure to psychosocial and physical work factors on the incidence of workplace injuries: Results from a longitudinal survey. (Effets de l'exposition conjointe aux facteurs psychosociaux et physiques sur la survenue d'accidents du travail : résultats issus d'une étude longitudinale.). *November 2021, Vol.63, n°11, pp. 921-930.*

International Archives of Occupational and Environmental Health

■ BOINI S., CHOUANIERE D., WILD P. - Do the work unit characteristics directly or indirectly affect psychological distress in female call-handlers? (Est-ce que les facteurs organisationnels influencent directement ou indirectement le niveau de détresse psychologique chez les téléopératrices ?). 2021, Vol. 94, pp. 707-721.

■ WILD P., BOVIO N., GUSEVA CANU I. - Part-time work and other occupational risk factors for suicide among working women in the Swiss National Cohort. (Travail à temps partiel et autres facteurs de risque professionnels de suicide chez les femmes actives de la cohorte nationale suisse). 2021, Vol. 94, pp. 981-990.

In: Ergonomie : 150 notions clé, Sous la direction de E. Brangier et G. Valléry, Paris, Dunod Editions

■ VAN DE WEERDT C. - Care et soins intégrés. *Septembre 2021, p. 145-148.*

► TRANSPORT, LOGISTIQUE, RISQUE ROUTIER

International Journal of Human-Computer Interaction

■ AVRIL E., VALÉRY B., NAVARRO J., WIOLAND L., CEGARRA J. - Effect of imperfect information and action automation on attentional allocation. (Effet de l'information imparfaite et de l'automatisation des actions sur l'allocation d'attention). *Janvier 2021, Vol. 37, Issue 11.*

■ AVRIL E., CEGARRA J., WIOLAND L., NAVARRO J. - Automation Type and Reliability Impact on Visual Automation Monitoring and Human Performance. (Impact du type d'automatisation et de la fiabilité sur la surveillance de l'automatisation visuelle et la performance humaine). *Mai 2021, Vol. 38, Issue 1.*

European Journal of Industrial Engineering

■ CLEMENT A., WIOLAND L., GOVAERE V., GOURC D., CEGARRA J., MARMIER F., KAMISSOKO D. - Robustness, resilience, typology of definitions through a multidisciplinary structured analysis of the literature. (Robustesse, résilience, typologie des définitions grâce à une analyse structurée et multidisciplinaire de la littérature). *2021, vol. 15, no 4, p. 487-513.*

Canal Psy

■ AVRIL E., NAVARRO J., WIOLAND L., CEGARRA J. - Automatisation et opérateur humain. Comprendre les défaillances de coopération pouvant apparaître entre les deux agents. *2021, Vol. 125, pp. 39-42.*

Epique 2021 – Association pour la recherche en psychologie ergonomique et ergonomie, 7-9 juillet 2021, visioconférence, Lille, France

■ CEGARRA J., GABAUDE C., GOVAERE V., BRANGIER É. - Symposium "Ergonomie prospective : approches, méthodes, outils et applications". *Actes de congrès, pp. 54-80.*

Note scientifique INRS

■ GOVAERE V. - Rapport d'intervention : retour d'expérience suite à la crise sanitaire du Covid19 dans les secteurs du Transport routier de marchandise et de la Logistique. *NS 374, octobre 2021, 29 p.*

► TROUBLES MUSCOLOSQUELETTIQUES

International Journal of Environmental Research and Public Health

■ SCHWARTZ M., THEUREL J., DESBROSSES K. - Effectiveness of Soft versus Rigid Back-Support Exoskeletons during a Lifting Task. (L'efficacité des exosquelettes textiles versus rigides d'assistance du dos au cours d'une tâche dynamique de levage). *Juillet 2021, Vol. 18, 12 p.*

■ NAMBIEMA A., BODIN J., STOCKS., AUBLET-CUVELIER A., D'ESCATHA A., EVANOFF B., ROQUELAUREY. - Proportion and Number of Upper-Extremity Musculoskeletal Disorders Attributable to the Combined Effect of Biomechanical and Psychosocial Risk Factors in a Working Population. (Proportion et nombre de troubles musculosquelettiques des membres supérieurs attribuables à l'effet combiné de facteurs de risque biomécaniques et psychosociaux dans une population active). *2021, Vol. 18, issue 8.*

Applied Ergonomics

■ MAJOR M.E., CLABAULT H., WILD P. - Interventions for the prevention of musculoskeletal disorders in a seasonal work context: A scoping review. (Interventions pour la prévention des troubles musculosquelettiques dans un contexte de travail saisonnier : un examen de la portée). 2021, Vol. 94.

European journal of applied physiology

■ DESBROSSES K., SCHWARTZ M., THEUREL J. - Evaluation of two upper-limb exoskeletons during overhead work: influence of exoskeleton design and load on muscular responses and balance regulation. (Évaluation de deux exosquelettes d'assistance des membres supérieurs lors d'une tâche statique impliquant le maintien des bras en hauteur: influence des caractéristiques de conception et de la charge portée sur les efforts musculaires et la régulation de l'équilibre). Juin 2021, Vol. 121, Issue 10, pp. 2811-2823.

Références en santé au travail

■ CUNY A., AUBLET-CUVELIER A., KERANGUEVEN L., PERIS E., SAVESCU A. - Prévalence, prévention et politique en matière de troubles musculosquelettiques : qu'avons-nous appris ? Preuves issues de la recherche de l'EU-OSHA. Conférence en ligne, 22 octobre 2020. Mars 2021, n° 165, TD 278, p. 97-101.

■ THEUREL J., ATAIN-KOUADIO J.J., KERANGUEVEN L. - Les exosquelettes pour prévenir les troubles musculosquelettiques et rôle des services de santé au travail. Juin 2021, n°166, TC 175, pp. 17-31.

■ CLAUDON L., KERANGUEVEN L., PERIS E. - Troubles musculosquelettiques (TMS) des poignets et coudes : contention et prévention des TMS. Décembre 2021, n°168, pp. 83-84.

■ CLAUDON L., KERANGUEVEN L., PERIS E. - Station debout prolongée Semelles ou tapis anti-fatigue pour prévenir les troubles musculosquelettiques ? Décembre 2021, n°168, pp. 85-86.

Hygiène et sécurité du travail

■ ATAIN-KOUADIO J.J., DESBROSSES K., FERRY A., PATY B., WIOLAND L. - Activités individuelle et collective de tireurs d'enrobés : conséquences de l'usage d'un exosquelette robotisé. Décembre 2021, n° 265, pp. 74-79.

AHFE 2021 – Virtual Conference on Human Factors and Ergonomics in Healthcare and Medical Devices, July 25 - 29, 2021, New-York, United-States

■ IVALDI S., MAURICE P., WALDEZ G., THEUREL J., WIOLAND L., ATAIN-KOUADIO J.J., CLAUDON L., HANI H., KIMMOUN A., SELLAL J.M., LEVY B., PAYSANT J., MALIKOV S., CHENUÉL B., SETTEMBRE N. - Using exoskeletons to assist medical staff during prone positioning of mechanically ventilated COVID-19 patients: a pilot study. (Utilisation d'exosquelettes par soulager les personnels soignants lors d'une manœuvre de décubitus ventral chez des patients sous ventilation mécanique : une étude pilote). Proceedings, pp.88-100.

ARSO 2021 – The 2021 IEEE International Conference on Advanced Robotics and its Social Impacts, July 8-10, 2021, Aichi, Japan

■ SAVESCU A., SCHOOSE C., DESBROSSES K., RIAHI M.A., WILD P., CUNY A. - Biomechanics of the shoulder joint when using a handled collaborative robot during industrial grinding task. (La biomécanique des articulations des épaules lors de l'usage d'un robot collaboratif pour des opérations de meulage industriel). Proceedings, pp. 160-163.

SIAS 2020 – 10th International Conference on Safety of Industrial Automated System, July 6 -7 , 2021, Aichi, Japan, Virtual Conference

■ SAVESCU A., SCHOOSE C., CUNY A., CAROLY S. - Restraint-free physical assistance robot: new challenges for the prevention of work related musculoskeletal disorders. (Robot d'assistance physique sans contention manipulé : nouveaux challenges pour la prévention des troubles musculosquelettiques liés au travail). *Proceedings*, pp. 150-153.

SELF 2021 – 55^{ème} Congrès de la société d'ergonomie de langue française, 11 - 12 janvier 2021, Paris, France

■ SAVESCU A., SIMONET P. - Pourquoi et comment associer la mesure biomécanique au cadre d'intervention de la clinique de l'activité dans une action de prévention des TMS ? *Actes de congrès*, pp. 486-490.

■ SCHOOSE C., CAROLY S., CUNY A., SAVESCU A. - Analyse des représentations suite à l'introduction d'un robot d'assistance physique dans un objectif de prévention des TMS. *Actes de congrès*, pp. 136-140.

► VIEILLISSEMENT, RETOUR AU TRAVAIL, PDP

Applied Ergonomics

■ GILLES M., GAUDEZ C., SAVIN J., REMY A., REMY O., WILD P. - Do age and work pace affect variability when performing a repetitive light assembly task?. (Effet de l'âge et de la cadence sur la variabilité des façons de faire des assemblages en tâche répétitive). *Octobre 2021*, 11 p.

American Journal of Industrial Medicine

■ PICHENEHOUARD A., PAYSANT J., CLAUDON L., PARIS N., BLAISE M., JACQUOT A., MARTINET N., SIRVEAUX F., WILD P. - Predictive factors for the duration until return to work after surgery for work-related rotator cuff syndrome: a prospective study of 92 workers. (Facteurs prédictifs du délai de retour au travail après chirurgie d'un syndrome de la coiffe des rotateurs lié au travail : une étude prospective sur 92 travailleurs). *Septembre 2021*, Vol. 64, pp. 1028-1039.

Références en santé au travail

■ PICHENEHOUARD A. - Pathologies de la coiffe des rotateurs dans un contexte professionnel : particularités et problématique du retour à l'emploi. *Mars 2021*, n°165, TC 174, p. 33-51.

■ TURPIN-LEGENDRE E., CLAUDON L., WILD P. - Effets des expositions physiques et psychosociale sur les capacités fonctionnelles physiques et la santé perçue dans le secteur du BTP. *Décembre 2021*, n° 168, TF 292, pp. 21-37.

■ BERNARD A., BOSSI P., CABANAT F., GARCIA S., LECLERCQ S., MEYNIER E., RIEU D., SUAU C., BOSSI E., BIANZINA I., JAUVERT GALY M., VOLKOFF S., GUYOT S. - Les facteurs potentiels de "décrochage professionnel" : une étude statistique chez les 45-55 ans, en Gard-Lozère. *Mars 2021*, n° 165, TF 286, p. 63-75.

AHFE 2021 – Virtual Conference on Human Factors and Ergonomics in Healthcare and Medical Devices, July 25 - 29, 2021, New-York, United-States

■ GUYOT S., WILD P. - Health and working conditions in the prevention of the risk of professional dropping-out for seniors: results of a statistical survey. (Santé et conditions de travail dans la prévention du risque de désinsertion professionnelle des seniors : résultats d'une enquête statistique). *Proceedings*, pp. 293-300.

▶ AUTRES RISQUES

In: Ergonomie : 150 notions clé, sous la direction de E. Brangier et G. Valléry, Paris, Dunod Editions

- ATAIN-KOUADIO J.J., KERANGUEVEN L. - Postures et mouvements. *Septembre 2021, p. 396-399.*
- LECLERCQ S. - Accident du Travail. *Septembre 2021, pp 30-36.*

Habilitation à diriger des recherches, mention "ergonomie", 26 novembre 2021, Université de Bordeaux

- LECLERCQ S. - La prévention des Accidents avec Perturbation du Mouvement (APM) : un enjeu majeur pour la sécurité au travail, un objet de recherche pour l'ergonomie. *Mémoire d'habilitation, 138 p.*

Note scientifique INRS

- LECLERCQ S. - La prévention des Accidents avec perturbation du mouvement (APM) : un enjeu majeur pour la sécurité au travail, un objet de recherche pour l'ergonomie. *NS 373, septembre 2021, 124 p.*

IEA 2021, 21st Congress of the International Ergonomics Association, June, 13-18, 2021, Vancouver, Canada

- SCHIEFER C., SCHELLEWALD V., HESSLING S., HERMANN-TRUXIUS I., DESBROSSES K., DOUWES M., DRAICCHIO F., ENQUIST H., FORSMAN M., GUPTA N., HOLTERMANN A., KONEMANN R., LECHNER N., LOEWIS P., MANTTARI S., MATHIASSEN S.E., PINDER A., SCHAMS P., SCHUST M., STREBL M., VEIERSTED K.B., WEBER B., ELLEGAST R. - PEPPA - Exchange Platform for Measurements of Occupational Physical Activity and Physical Workload. (PEPPA - Plateforme d'échange pour les mesures de l'activité et de la charge physique au travail). *Proceedings, pp. 175-182.*

Epique 2021 – Association pour la recherche en psychologie ergonomique et ergonomie, 7-9 juillet 2021 (visioconférence), Lille, France

- MACQUET A.C., MARC J. - La gestion des émotions dans la régulation collective des risques en sport de haut niveau. *Actes de congrès, pp. 93-97.*

➔ THÉMATIQUES FOCUS

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

Journal of Safety Research

- HERY M., MALENFER M., DEVEL S., LEVERT C. - Evolution of working conditions under the impacts of Information and communication technologies (ICTs). (Évolution des conditions de travail sous les impacts des technologies de l'information et de la communication (TIC)). *April 2021, Vol. 77, pp. 268-276.*

Activité

- GROSJEAN V. - E-conciliation vie de travail / vie hors travail : intervenir par le théâtre-forum. *Octobre 2021, 18-2.*

Hygiène et sécurité du travail

- GROSJEAN V., MORAND O. - TIC, hyperconnexion et surconnexion : comprendre la dynamique des atteintes psychosociales pour les prévenir. *Décembre 2021, n° 265, décembre 2021, p. 63-73.*

Epique 2021 – Association pour la recherche en psychologie ergonomique et ergonomie, 7-9 juillet 2021 (visioconférence), Lille, France

- GROSJEAN V., MORAND O., CAHOUR B., BOBILLIER-CHAUMON M.É. - Renouveler les pratiques de mise en débat des pratiques numériques de travail. Les méthodes de l'Éducation Populaire à l'écoute des tensions. *Actes de congrès, pp. 113-120.*

SELF 2021 – 55^{ème} Congrès de la société d'ergonomie de langue française, 11 - 12 janvier 2021, Paris, France

- GROSJEAN V., CAHOUR B. - Accompagner une réflexivité incarnée par une posture spécifique: exemple de l'Entretien d'Explicitation et du Théâtre-Forum. *Actes de congrès, pp. 68-72.*

Thèse de doctorat en « Psychologie ergonomie », 23 novembre 2020, Institut polytechnique de Paris (ED IP Paris)

- MORAND O. - Hyperconnexion numérique au travail : de la compréhension des activités et vécus à la transformation par le théâtre-forum. *Mémoire de thèse, 329 p.*

► INDUSTRIE DU FUTUR ET PREVENTION

Hygiène et sécurité du travail

- LUX A., MARCHAL P., PERRIN N., PIERRETTE M. - Lunettes connectées : de nouveaux risques pour les salariés ? *Septembre 2021, n° 264, dc31, pp. 5-9.*
- MARSOT J., BLAISE J.C., CLAUDON L., PATY B., LECLERC J.P., LAINE P., DUVAL C. - Industrie du futur : points de vigilance vis-à-vis de l'application des principes généraux de prévention. *Septembre 2021, n° 264, vp32, pp 115-120.*

Références en santé au travail

- GAY A., GOINEAU J., HOUILLIEZ M.C., BURY M., WIOLAND L., ATAIN-KOUADIO J.J., BRÉARD H. - Déploiement d'un exosquelette robotisé : retour d'expérience par l'entreprise Colas. *Septembre 2021, n° 167, TF 291, pp. 33-39.*

SIAS 2020 – 10th International Conference on Safety of Industrial Automated System, July 6 - 7, 2021, virtual conference

- TIHAY D., SGHAIER A. - Lessons learned from the integration of collaborative robotics application. (Retour d'expérience sur la mise en œuvre d'une application de robotique collaborative). *Proceedings, pp. 88-93.*
- SARREY M., BERGEOT C., MOUCHTAKI W. - AI algorithms within machinery: Safety issues. (Enjeux sécurité de l'IA dans les machines). *Proceedings, pp. 76-81.*
- LAMY P. - Cyber-attack: what are the impacts for occupational health and safety and more specifically for machine safety?. (Risque cyber : quels sont les impacts pour la santé et sécurité au travail et plus particulièrement pour la sécurité des machines ?). *Proceedings, pp. 31-36.*

s-mart2021 - 17^{ème} colloque national System Manufacturing Academics Resources Technologies AIP-PRIMECA, 31 mars-2 avril 2021, Laval, France

■ HU H., GODOTX., DAILLE-LEFEVRE B., MARTIN P. - Analyse des aspects Santé-Sécurité lors du démantèlement/de-manufacturing. *Proceedings*, 8 p.

► POLYEXPOSITIONS AU TRAVAIL

Annals of Work Exposures and Health

■ MATER G., SAUVE J.F., SARAZIN P., LAVOUE J. - Exposure determinants in the French database Colchic (1987-2015) - Statistical modelling across 77 chemicals. (Déterminants de l'exposition dans la base de données française Colchic (1987-2015) - Modélisation statistique de 77 produits chimiques). 2021, 17 p.

Environnement, risques & santé

■ COURRIER B., FOURNEAU C., SANCHEZ M., PEROUEL G., FRERY N., COUTROT T., BOULANGER G., PERNELET-JOLY V., BASTOS H. - Plan santé au travail 2016-2020 : Mieux connaître la polyexposition. *Juillet-août 2021, Vol. 20, n°4, pp. 377-382.*

Références en santé au travail

■ COATES L., WATHIER L., POUYATOS B. - Ototoxicité des métaux. Mars 2021, n°165, TC 173, pp. 13-31.

■ ERB A., MARSAN P., BURGART M., REMY A., LAMBERT XOLIN A.M., ANDRE F., HANSER O., ROBERT A. - Polyexpositions aux composés organiques volatils (COV) en entreprise : utilisation des COV urinaires non-métabolisés comme biomarqueurs de l'exposition. *Juin 2021, n°166, TF 288, pp. 33-46.*

Hygiène et sécurité du travail

■ PATRASCU C., CAMPOP, LAROCCA B., CLERC F. - Polyexpositions chimiques massives et diffuses : de quoi parle-t-on ? *Décembre 2020, n°261, do31, pp. 32-33.*

► REPRODUCTION ET TRAVAIL

Science of The Total Environment

■ BOUSOUMAH R., LESOV, IAVICOLI I., HUUSKONEN P., VIEGAS S., P PORRAS S., SANTONEN T., FRERY N., ROBERT A., NDAW S. - Biomonitoring of occupational exposure to bisphenol A, bisphenol S and bisphenol F : a systematic review. (Biosurveillance de l'exposition professionnelle aux bisphénol A, bisphénol S et bisphénol F : une revue systématique). 2021, Vol. 783.



► NOTES

A series of 20 horizontal dotted lines for taking notes.

■ 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/2022

■ Ont également contribué à la publication

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

■ Conception graphique

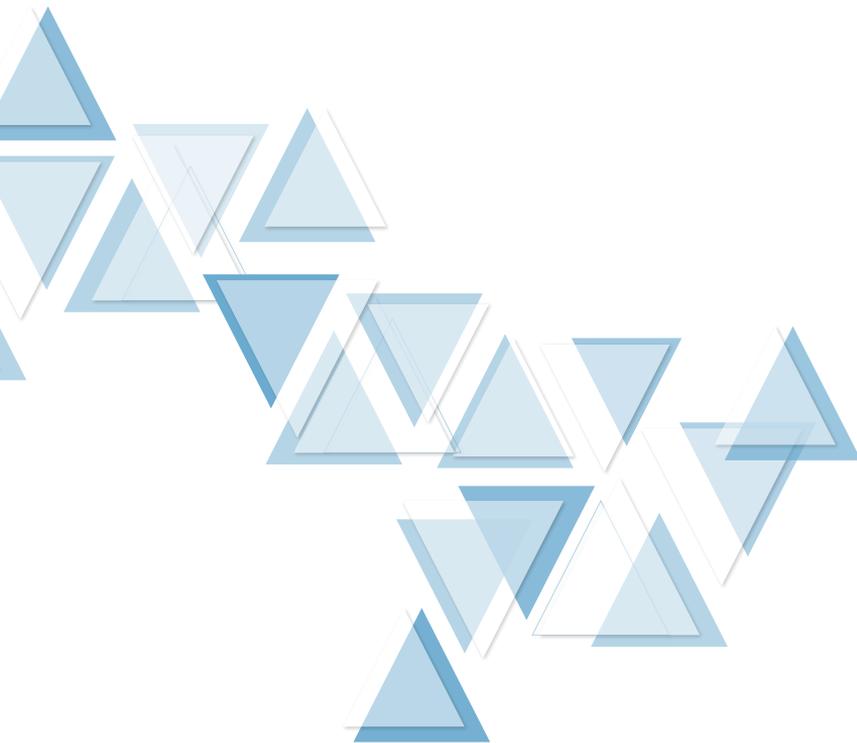
Trait d'Union

■ Mise en page

Valérie LATCHAGUE CAUSSE

■ Impression

CORLET



Notre métier, rendre le vôtre plus sûr

Siège social

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

Centre de Lorraine

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

Courriel : info@inrs.fr

www.inrs.fr

[You Tube](#)



[in](#)