

Études & Recherche

Rapport 2023-2024



→ 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 des travaux scientifiques, assurée par une commission d'experts extérieurs.

» MISSIONS

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

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

» MODALITÉS D' ACTIONS

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

Assistance

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

Études et recherche

Les programmes d'études et de recherche couvrent l'ensemble des risques professionnels, des risques toxiques aux risques mécaniques ou psychosociaux. Ils sont conduits au sein de 21 laboratoires et impliquent des ingénieurs, médecins, chimistes, ergonomes, techniciens...

Formation

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

Information

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

» QUELQUES CHIFFRES

Effectif

- 550 salariés en CDI basés à Paris (siège social) et à Vandœuvre-lès-Nancy (54).

Budget

- En 2024, 86 M€ de subvention issue du Fonds national de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles de l'Assurance maladie

Public

- 20 millions de salariés relevant du régime général de la Sécurité sociale.

→ Sommaire

■ Avant-propos

Éditorial de Louis LAURENT, Directeur des études et recherche de l'INRS	4
Introduction	6
Présentation des laboratoires de l'INRS	15
Entretien avec Margrethe SCHØNING , Présidente du comité de pilotage scientifique de PEROSH	18

■ Programme Études et recherche

Présentation des études selon leur classement dans le plan stratégique de l'INRS 2023-2028

Programmes de prévention

Prévention des risques biologiques	20
Prévention des risques chimiques	24
Prévention des risques physiques et mécaniques	42
Prévention des risques liés à l'organisation et aux situations de travail	54

Thématiques focus en santé et sécurité au travail

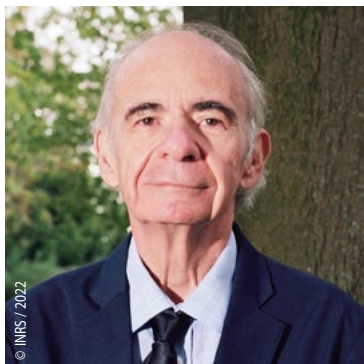
Exposition aux aérosols	65
Polyexpositions hétérogènes	66
Technologies numériques et impacts organisationnels	69
Perturbateurs endocriniens	70
Limitation de l'émission des gaz à effet de serre et impact en santé sécurité au travail	75

■ Composition de la commission scientifique et des groupes de suivi

77

■ Liste des publications 2023

82



Louis LAURENT
 Directeur des études
 et de la recherche,
 INRS

➔ Éditorial

Cette 15^e édition du rapport annuel Études et recherche 2023-2024 apporte un éclairage sur les 98 projets en cours durant cette période. Quinze d'entre eux, terminés fin 2023, font l'objet d'une description plus détaillée. Les travaux décrits dans cette brochure, dédiés à la prévention des risques professionnels, s'inscrivent dans un *continuum* d'activités qui couvre tout l'espace entre la création de connaissances et le transfert aux entreprises et aux acteurs de la prévention des démarches, méthodes et outils qui en découlent.

Plus que jamais, la création de connaissances pour améliorer la prévention est à l'ordre du jour. Les risques « traditionnels » (risques physiques, risques mécaniques, biologiques, chimiques) restent très présents, avec des thématiques sans cesse renouvelées et de nouveaux types d'exposition liés à l'apparition de procédés ou de matériaux peu répandus. On peut citer par exemple, des matériaux « bas carbone », des nouvelles technologies pour la transition énergétique, l'intensification du recyclage, la robotique, l'intelligence artificielle. Une autre source de renouveau est l'apparition de techniques nouvelles en instrumentation ou en traitement des données, dont certaines révolutionnent la manière de pratiquer la recherche.

Parmi les évolutions notables, les modes d'organisation de l'activité avec des questionnements sur de nouvelles formes d'entreprises ou d'emplois et la diversification des lieux et formes d'organisation du travail. Outre l'émergence ou l'intensification de risques, notamment psychosociaux, il est important de s'interroger sur la manière d'organiser et de pratiquer la prévention dans ces configurations. La santé mentale des travailleurs est au cœur des préoccupations de nombreux acteurs qui évoquent divers facteurs de risques, tels que les évolutions dans le monde de l'entreprise, celles de la société ou le contexte géopolitique. Sont à l'ordre du jour la compréhension des facteurs qui entrent en jeu dans ces bouleversements mais aussi le développement de méthodes d'intervention.

Ces données impactent la **programmation des études et recherches** qui doit prendre en compte deux éléments. Tout d'abord, il s'agit de travailler suffisamment en amont pour que les dangers soient identifiés et des actions de prévention préconisées à temps. L'histoire nous fournit de nombreux exemples parfois dramatiques où cela n'a pas été le cas. C'est d'autant plus important que la recherche se développe sur des temps longs, de l'ordre de la décennie. Pour anticiper, de nombreux outils sont disponibles comme la veille, la prospective, le dialogue avec les homologues de l'INRS. Toutefois, trop anticiper soulève d'autres questionnements : celui du risque de travailler sur une question qui ne se posera finalement pas, comment travailler sur une situation de travail qui est peu répandue en entreprise voire qui n'existe pas encore ? Comment convaincre sur le bien-fondé de travaux alors même qu'on ne déplore aucun accident ? Enfin, même si des évolutions sont quasi certaines, les décliner en questionnements sur la santé et sécurité au travail demande un travail supplémentaire : que dire de l'impact du changement climatique ou encore de l'évolution de la démographie ?

» 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.

Ce rapport fait état de résultats particulièrement intéressants que vous découvrirez à sa lecture. Il n'est pas possible de tous les citer. Quatre exemples me semblent intéressants à souligner parmi les études terminées pour illustrer la variété des méthodologies et des sujets couverts.

Une étude, menée en collaboration avec deux services de prévention et de santé au travail (SPST) et le Centre de recherches sur l'expérience, l'âge et les populations au travail (CREAPT), a porté sur la **prévention des situations de décrochage du travail des salariées seniors**. Elle s'appuie sur des données d'enquête qui concernent plus de 20 000 salariées ainsi que sur une série d'entretiens biographiques. Cette étude a permis d'identifier une série de facteurs prédictifs de décrochage. Ces résultats sont destinés à être transmis en priorité aux SPST pour les sensibiliser et leur fournir des pistes d'action en faveur de la prévention de la désinsertion professionnelle.

Une autre étude a porté sur la **mise en place de micro-siestes au travail** en tant que moyen d'atténuer la fatigue pour les travailleurs de nuit/postés. Elle a débuté par une analyse de la littérature qui en traite diverses finalités (santé, vigilance, performance). Puis elle a consisté à suivre quatre projets de mise en place d'espaces de « micro-sieste ». Ces travaux ont permis d'éclairer toutes les facettes de cette pratique et de tirer divers enseignements, notamment sur la pluralité des pratiques et la nécessité de prendre en compte à la fois les besoins spécifiques du personnel et le contexte culturel, social et organisationnel de tout projet d'implantation.

Une étude, qui vient de s'achever, visait à importer en santé au travail l'**approche métabolomique** utilisée notamment en santé environnementale. Ce travail s'inscrit dans le projet européen de grande envergure intitulé PARC (Partenariat européen pour l'évaluation des risques liés aux substances chimiques). Ce travail a consisté en une analyse non ciblée traitant en parallèle des milliers de molécules, pour rechercher les contaminants auxquels le salarié est exposé, et des biomarqueurs d'effets biologiques. La méthode a été mise au point et validée. Elle ouvre la voie à de nouvelles perspectives pour évaluer de manière non ciblée des expositions voire des polyexpositions, par filière notamment. Elle sera déployée dans un premier temps dans le secteur des déchets d'équipements électriques et électroniques.

Enfin, le quatrième exemple que je vous propose porte sur les risques encourus par un **porteur de pacemaker à son poste de travail en présence de champs électromagnétiques**. Un banc d'essai capable de générer des champs électromagnétiques du même type que ceux trouvés en milieu professionnel a été réalisé. Des *pacemakers* y ont été placés, dans un milieu simulant les tissus autour du cœur. Ce travail a été complété par de la modélisation. Il a permis de comprendre les mécanismes d'action et de préciser les paramètres influant sur le risque de perturbation du fonctionnement des *pacemakers* : amplitude, fréquence, réglage du pacemaker, type d'électrode. Des messages de prévention sont en cours d'élaboration.

J'espère que ces exemples vous permettront de mieux appréhender les apports scientifiques et techniques de l'INRS pour la santé et sécurité au travail et vous donneront l'envie de poursuivre plus avant la lecture de ce rapport, qui témoigne du travail des équipes d'études et recherche, que j'ai eu plaisir à encadrer, de janvier 2018 à cette fin d'année 2024.

➔ Introduction

» La recherche à l'INRS

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

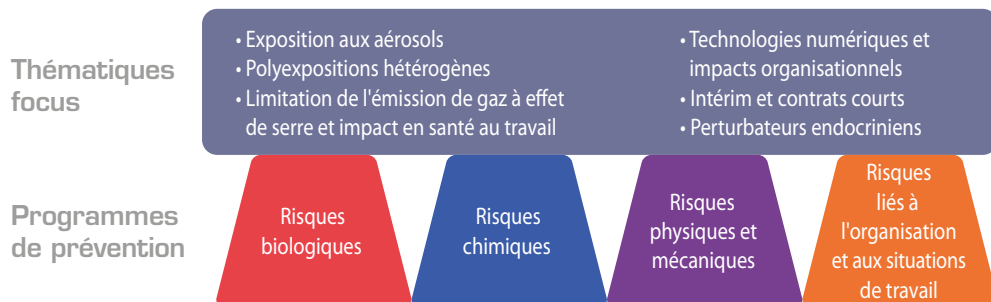
- études et recherche,
- assistance,
- formation,
- information.

Les études et la recherche de l'INRS représentent environ 45 % de l'activité. Elles ont vocation à apporter des connaissances visant à améliorer la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles, pour les 20 millions de salariés du régime général de la Sécurité sociale. Cela passe d'abord par l'identification des dangers et par l'évaluation des risques encourus par les salariés, qui débouchent sur des solutions de prévention.

Les études et la recherche sont développées principalement au sein de six départements localisés au centre de Lorraine de l'INRS, qui abritent 21 laboratoires spécialisés (voir page 15).

Fin 2023, les six départements comptaient environ 250 personnes (sur un effectif total d'environ 550 postes permanents à l'INRS, dont environ 60 % au centre de Lorraine). Parmi eux, 58 % sont des chercheurs ou ingénieurs, 34 % sont impliqués dans des activités de support technique. Les 8 % restants recouvrent diverses activités (expertise, coordination, support administratif...). À cet effectif de personnels permanents il faut ajouter environ 20 doctorants. Il est important de noter qu'une partie du temps, les personnels de ces départements sont également impliqués dans des actions d'assistance aux entreprises, de formation et d'information.

Au cours de la période 2023-2028, l'**activité de l'INRS** se répartit en quatre programmes de prévention, complétés de six thématiques focus.



Descriptif des activités selon le plan stratégique 2023 – 2028 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, de par leur objectif de santé et sécurité au travail.

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

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

Ces connaissances peuvent porter sur des sujets variés :

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

Les études se font en cohérence avec les **évolutions du monde du travail** et visent à prévenir des risques connus ou prévisibles, ou à les anticiper.

L'INRS doit traiter des sujets dits émergents, associés à de nouvelles organisations du travail, à de nouvelles technologies ou substances, ou à de nouveaux processus de production, ce qui fait qu'une partie des travaux est inspirée par la veille et la prospective menées à l'INRS. Certaines de ces évolutions ouvrent de nouveaux domaines de recherche pour lesquels il n'existe que peu de connaissances stabilisées. Pour citer quelques exemples de ces sujets non discutés il y a quelques années, la robotique collaborative, l'impact de l'économie circulaire sur les travailleurs, la fabrication additive (les imprimantes 3D), l'intelligence artificielle, le management algorithmique, l'essor du télétravail.

En même temps, il subsiste une forte demande liée à la prévention de risques répertoriés depuis longtemps mais toujours présents, comme les nuisances chimiques, physiques, ou des risques plus récents apparus avec l'émergence des nanomatériaux et pas encore parfaitement connus et maîtrisés.

Une caractéristique des études de l'INRS, 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.

Dans près de 50 % des cas, l'objet d'étude est une situation de travail. Les travaux consistent à analyser des risques ou à évaluer l'efficacité de moyens de prévention mis en œuvre. Dans beaucoup de cas, une partie du travail se déroule dans les locaux de l'entreprise. Il s'agit alors de mesurer l'exposition des salariés à des agents biologiques, chimiques ou physiques, ou de rechercher d'éventuels effets de ces expositions. Dans d'autres cas, on analyse l'effet de l'organisation, de l'implantation des locaux ou les pratiques de prévention. Dans un cas sur cinq, pour les besoins de l'étude, il est nécessaire de réaliser des mesures bien plus détaillées qu'il serait impossible de réaliser en entreprise. L'activité est alors reconstituée en laboratoire avec des sujets recrutés pour participer à cette expérience.

Dans un peu plus de 10 % des cas, les travaux sont fondés sur des grandes bases de données existantes, parfois croisées entre elles ou sur des résultats d'enquête ou d'entretiens. C'est le cas notamment des études épidémiologiques de l'INRS.

Les 40 % d'études restantes se font en laboratoire, avec trois types de finalités, à peu près à poids égaux :

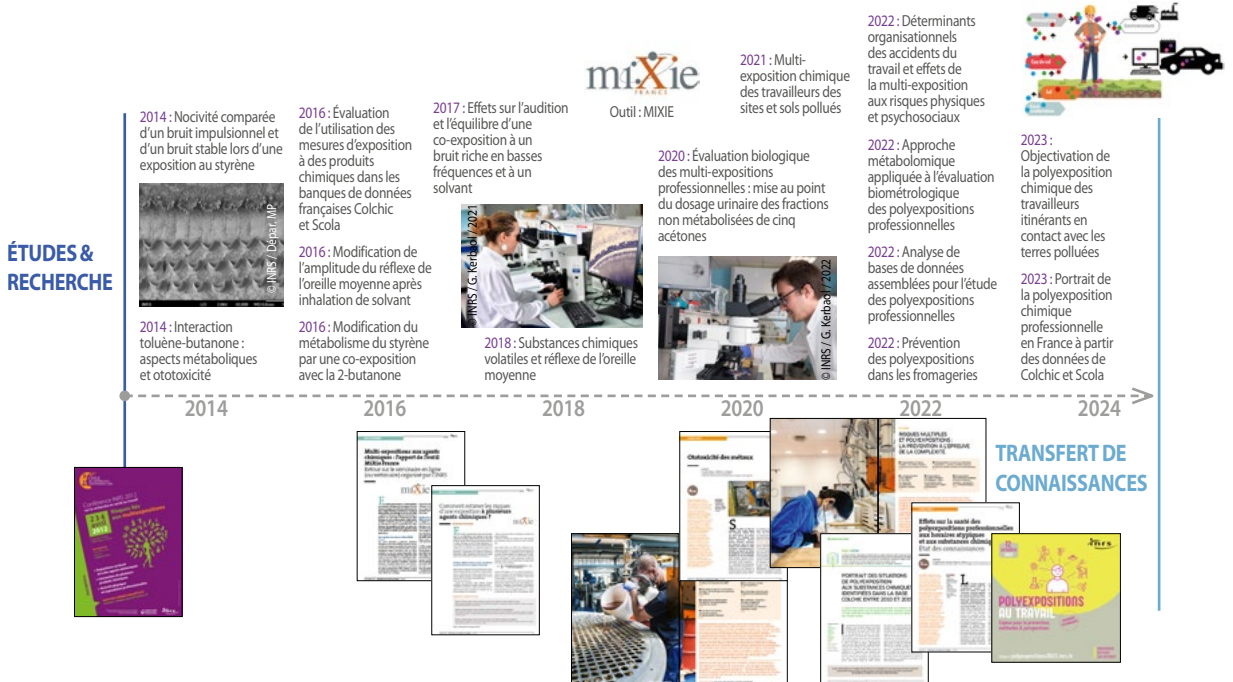
- premièrement le développement de méthodes de mesure destinées le plus souvent à être transférées aux préventeurs. Les progrès en cours aussi bien dans le domaine instrumental que dans celui du traitement de données massives ouvrent en effet des applications inédites en santé travail. Les choix faits par l'INRS sont le développement de mesures en temps réel, et le traitement global des polyexpositions ;
- deuxièmement, l'étude du danger lié à certains agents physiques ou chimiques ;
- troisièmement, le développement de méthodes de prévention, qu'il s'agisse de risques traditionnels ou de risques liés à de nouvelles technologies.

Le volet santé est très présent ; 11 % des études figurant dans cette brochure relèvent de la loi Jardé, relative à la protection des personnes participant à la recherche biomédicale.

» Continuum recherche – transfert de connaissances

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

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



Exemple de transfert de connaissances : après une conférence scientifique organisée dès 2012, les travaux de recherche conduits sur une dizaine d'années concernant les multi-expositions, puis les polyexpositions, ont permis de produire des savoirs, transférés par le biais de publications, de communications, d'un outil (Mixie France) et par l'organisation fin 2023 d'une journée technique à destination des préventeurs.

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 et sont en libre accès sur le site Internet de l'INRS. Sur la période 2019-2023, 92 % des 277 articles publiés dans des revues nationales sans comité de lecture, l'ont été dans l'une ou l'autre de ces deux revues.

Une autre composante du transfert de connaissances à l'INRS est la **valorisation technologique**.

Certaines études de l'INRS conduisent à la conception de solutions techniques innovantes et fiables, répondant à un besoin en prévention. Il peut s'agir d'un produit, d'un matériau ou d'un procédé nouveau, susceptible d'améliorer les conditions de travail ou de favoriser la prévention des risques professionnels. Les solutions développées couvrent la majeure partie des risques professionnels : chimiques, biologiques, physiques... et peuvent se traduire en solutions pour réduire des expositions à la source ou pour les mesurer en milieu de travail.

Pour accompagner le déploiement de ces dispositifs et leur mise à disposition des entreprises, l'INRS met en œuvre deux modalités de transfert possibles :

- libre diffusion du savoir-faire de conception exploitable par toute entreprise,
- contractualisation de partenariats avec des entreprises chargées de fabriquer et/ou de commercialiser les innovations les plus complexes, avant industrialisation.

Deux études nouvelles présentes dans ce rapport sont susceptibles de conduire à des développements technologiques et de faire l'objet de valorisations technologiques selon les avancées obtenues ou l'intérêt des travaux pour la prévention des risques professionnels.

Depuis une cinquantaine d'années, l'INRS a déposé 66 brevets.

Actuellement, 10 contrats avec des entreprises pour des industrialisations d'innovations sont en cours, dont trois conclus sur la période 2023-2024 pour les dispositifs illustrés ci-dessous.

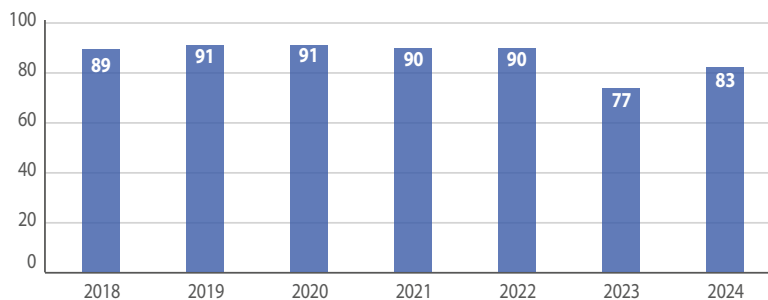


De gauche à droite :

- **dispositif d'évaluation des forces de tirer pousser d'équipements ou chariots mobiles** retrouvés dans les secteurs logistique, industrie, aide à la personne, déchets et recyclage (prévention des TMS) ;
- **sonde pour échantillonner l'atmosphère à l'intérieur des conteneurs maritimes avant ouverture** (prévention du risque chimique) ;
- **dispositif de suivi en temps réel de l'efficacité de protection d'un caisson d'épuration de cabine d'engin** (prévention du risque chimique).

» Une organisation par étude

Les travaux de recherche sont **structurés en études et menés dans six départements**. Chaque étude représente en moyenne 8 000 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. En 2023, une diminution du nombre d'études en cours est observée. Celle-ci s'explique en partie par un effet retard de la pandémie.



Nombre d'études en cours à l'INRS jusqu'à 2024.

La **validation** de l'activité d'études et de recherche est organisée selon une procédure faisant intervenir, d'une part, des scientifiques et experts indépendants, extérieurs à l'INRS et d'autre part, le Conseil d'administration de l'INRS qui valide les travaux.

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

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

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

Les laboratoires des six départements de l'INRS conduisant des recherches 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 environ 10 % du total des études.

» L'ouverture vers l'extérieur

Beaucoup d'études de l'INRS conduites à ce jour le sont dans le cadre de **partenariats** nationaux avec des universités ou organismes de recherche (CNRS, Inserm, Inrae, Inria...), le réseau régional de l'Assurance maladie – Risques professionnels (Carsat/Cramif/CGSS), des services de prévention et de santé au travail, ou divers instituts ou centres techniques (comme le LNE ou le CEA). De même, l'INRS s'associe à ses homologues étrangers. Parmi les partenaires les plus fréquents figurent les membres du réseau européen PEROSH et l'IRSST (Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail) au Québec.

L'enjeu est de partager les connaissances produites au sein de l'INRS et de bénéficier de celles développées par les partenaires, de faire le lien entre des recherches pratiquées dans divers laboratoires et les applications en matière de prévention, d'attirer des équipes extérieures sur la thématique santé-travail. Une proportion importante des partenaires académiques de l'INRS est composée de laboratoires non dédiés au sujet santé et travail, qui apportent des compétences dans des domaines variés (ingénierie, technologies de l'information, sciences humaines et sociales, physicochimie...). Les partenaires travaillant spécifiquement sur la thématique santé au travail sont quelques laboratoires français, mais ce sont surtout les homologues étrangers de l'INRS.

Ces échanges se matérialisent par des **collaborations** à l'occasion de projets de recherche.

C'est ainsi que, sur les 98 études présentées dans ce rapport, 53 impliquent des collaborations avec 106 partenaires (potentiellement plusieurs par étude ou un même partenaire présent dans plusieurs études). Certaines activités de l'INRS sont insérées dans des partenariats européens très larges comme le partenariat PARC qui ne sont pas comptabilisés.

TYPE DE PARTENAIRE	NOMBRE DE COLLABORATIONS
Partenaires académiques	63
Homologues étrangers de l'INRS	14 (dont 11 du réseau PEROSH)
Carsat-Cramif-CGSS	10
Centres techniques	5
Services de prévention et de santé au travail	5
Entreprises	3
Divers (Sciensano, Atmo-Access, Santé publique France, Dares)	4

Les 106 collaborations identifiées dans les 98 études évoquées dans cette brochure.

Ces **collaborations** sont de plusieurs types :

- **Liées à des équipes-projets mixtes.** Il s'agit de rapprochements durables d'équipes de l'INRS avec des équipes extérieures liées par un intérêt mutuel et géographiquement proches, ce qui facilite les échanges. Il existe actuellement deux équipes mixtes entre l'INRS et un établissement de recherche et d'enseignement supérieur.
- **Liées à des projets de recherche.** Comme discuté ci-dessus, l'INRS s'associe à des établissements extérieurs qui apportent des compétences particulières. S'ajoutent 10 % des études qui sont financées par des agences, telles que l'Union européenne, l'Agence nationale de la recherche (ANR) ou l'Anses, sur appel à projets. Ainsi, sur les 98 études citées dans ce rapport, dix s'inscrivent dans des actions collaboratives financées par des agences (trois financements européens, trois de l'ANR, trois financements de l'Anses et un issu de l'Observatoire national Interministériel de la Sécurité routière).

» L'accueil des doctorants

Actuellement, une vingtaine de doctorants sont impliqués dans des études de l'INRS. Parmi eux une petite proportion de salariés. Le co-encadrement de doctorants par l'INRS ou ses partenaires est propice à l'établissement de liens avec les 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 98 études décrites dans ce document, 22 ont fait ou feront l'objet d'une thèse.

Jason Dellai doctorant de l'INRS a remporté le **prix jeune chercheur** dans la catégorie "Métrologie" lors du congrès de l'Association des chercheurs en activités physiques et sportives 2023. Il est impliqué dans l'étude « 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 ».



Journée des doctorants du 28 mars 2024.

» Équipes projets INRS-CNRS/Université/Écoles

■ Laboratoire de filtration et adsorption (LFA), collaboration entre le laboratoire réactions et génie des procédés (LRGP), UMR 7274 CNRS Université de Lorraine, et le laboratoire procédé et épuration des polluants (Procep) du département Ingénierie des procédés de l'INRS. Le LFA a été créé il y a plus de 15 ans sur la base d'une collaboration principalement axée sur la filtration des aérosols. Cette collaboration s'est progressivement étendue aux procédés de séparation incluant la filtration, la séparation membranaire et l'adsorption, qui sont la base de nombreux procédés d'épuration assurant la prévention des risques chimiques.

L'ensemble des travaux réalisés en commun a déjà débouché sur plus de cinquante publications internationales et permis le transfert de nombreux outils et documentations visant à améliorer la prévention. Aujourd'hui encore, le périmètre des collaborations s'étend avec, en particulier, l'intégration de la modélisation indispensable dans les études conduites au sein du laboratoire Procep de l'INRS.

■ Laboratoire conception sûre des situations de travail (LC2S), collaboration entre le laboratoire conception-fabrication-commande de l'Ensam Paris Tech de Metz et le laboratoire conception, équipements de protection, interfaces homme-machine de l'INRS. Cette collaboration date de 2012 et se concrétise, elle aussi, à travers l'accueil de stagiaires et de doctorants. Elle a pour objet de développer des méthodes pour outiller les concepteurs d'équipements de travail afin qu'ils créent des équipements intégrant la sécurité dès la conception. La prévention primaire est très efficace dès qu'elle est mise en œuvre, puisqu'elle permet de mettre des machines ou des lignes de production en sécurité sans prendre de mesures correctives.

» PEROSH

L'INRS est engagé au sein du réseau PEROSH qui rassemble la plupart des acteurs européens de recherche en santé et sécurité au travail. Il regroupe 15 organismes de 14 pays. Ce réseau, qui a fêté en 2023 son vingtième anniversaire, sert de support à des activités communes. Il est notamment utile pour partager des informations au travers d'ateliers spécifiques, voire mener des activités de recherche sur des sujets de préoccupation communs (voir entretien page 18).

Parmi les exemples :

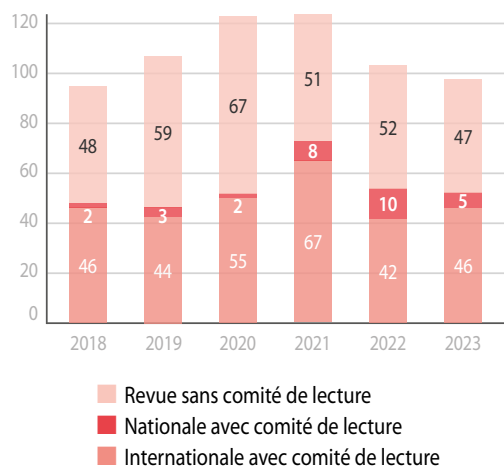
- Des cycles de conférences : le groupe « Bien-être au travail » organise périodiquement des conférences scientifiques. La dernière a été organisée en ligne en juin 2022 par l'homologue polonais de l'INRS. De même l'équipe « prolongeons la durée de vie au travail » a organisé en septembre 2022 une conférence hybride (Oslo/ en ligne). Enfin le cycle de conférences AIRMON est désormais organisé sous l'égide de PEROSH.
- Une forte représentation lors de la conférence ICOH 2024, avec notamment une session spéciale et une conférence semi-plénière.
- Un projet réunissant six établissements sur le thème « Management algorithmique et systèmes fondés sur l'intelligence artificielle comme nouvelle forme d'organisation ».
- L'organisation d'ateliers d'échanges d'informations, les sujets planifiés portent sur l'exposome et sur l'évaluation du risque ergonomique.
- La décision récente de lancer un cycle d'écoles d'été à destination des jeunes chercheurs du réseau.

» La validation des projets et des résultats

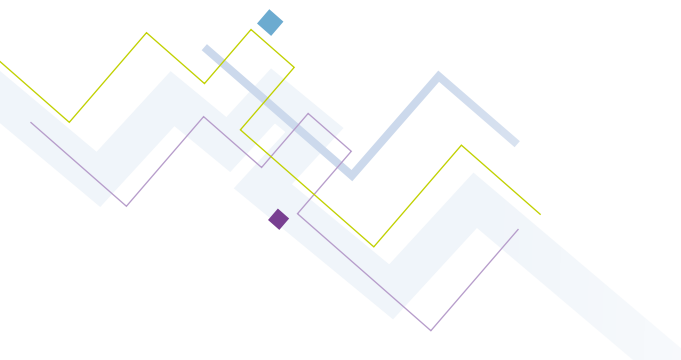
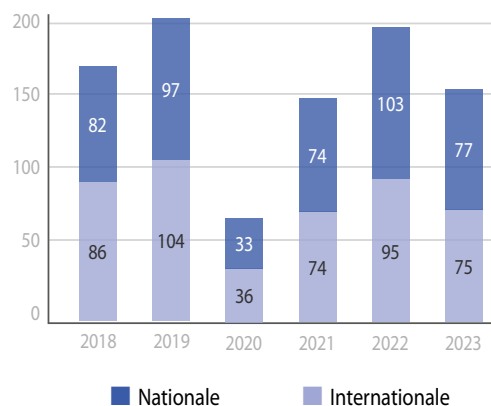
Il s'agit pour l'INRS de produire des résultats robustes et non discutables, validés par une évaluation externe des publications, par les pairs. Lorsque le sujet de l'étude s'y prête (il faut exclure les travaux à caractère trop exploratoire ou à caractère purement applicatif), les équipes publient leurs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

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

Évolution des publications ces dernières années



Évolution des communications ces dernières années



➔ Présentation des laboratoires de l'INRS

En 2023, les actions d'études et de recherche ont représenté environ 45 % des activités de l'INRS. Menées dans six départements et 21 laboratoires du centre de Lorraine, elles sont conduites par des ingénieurs, chimistes, toxicologues, ergonomes, techniciens... Ces départements représentent environ 250 personnes.



INRS / G. Kerbaol / 2018

» Métrologie des polluants

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

Laboratoires

Évaluation
du risque et
des expositions

Métrologie
des aérosols

Métrologie
des expositions aux
polluants organiques

Laboratoire d'analyse
inorganique et
de caractérisation
des aérosols



© INRS / S. Morille / 2018

» Ingénierie des procédés

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

Laboratoires

Analyses spatiales
et temporelles des
expositions chimiques

Aéraulique,
ventilation, thermique
et qualité d'air

Procédé et épuration
des polluants



» Toxicologie et biométrie

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

Laboratoires

Biométrie

Cancérogénèse,
mutagénèse
et reprotoxicité

Ototoxicité
et neurotoxicité

Immunologie, sensibilisation
et allergie

Toxicocinétique, inhalation
et passage cutané



» 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 sont susceptibles de provoquer des atteintes à la santé. Le département vise l'amélioration, si possible dès la conception, de tous ces équipements et dispositifs de protection utilisés par les salariés.

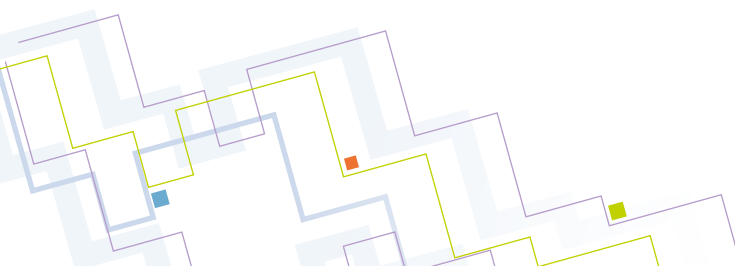
Laboratoires

Acoustique
au travail

Conception – équipements
de protection – interfaces
homme-machine

Électromagnétisme,
vibrations, optique

Sécurité des équipements
de travail et des
automatismes





© INRS / S. Morillon / 2017

» Sciences appliquées au travail et aux organisations

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

Laboratoires

Recherche en ergonomie
centrée sur les activités
et la prévention

Enjeux psychosociaux,
travail et organisations

Gestion et organisation
pour la santé et sécurité
au travail

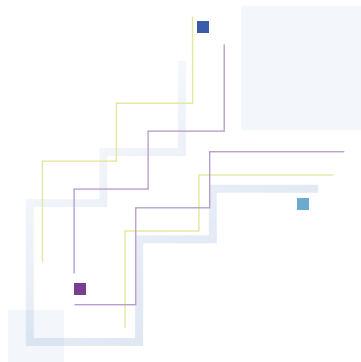
Physiologie
- mouvement
- travail



© INRS / G. Kerbaol / 2022

» 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 agents chimiques et biologiques, des environnements de travail ou des facteurs physiques et psychosociaux. Les études conduites s'intéressent aux pathologies respiratoires, cardiovasculaires, aux allergies, aux cancers, aux troubles musculosquelettiques et psychosociaux, aux troubles pour la reproduction et aux accidents du travail. 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.





Margrethe Schøning
 Institut national de la santé
 au travail (STAMI) Norvège
 Département de l'administration
 Présidente du comité de pilotage
 scientifique du réseau PEROSH

➔ Entretien avec Margrethe Schøning

Pourriez-vous nous éclairer sur les missions et les priorités de recherche du STAMI en matière de risques professionnels ? Sur le plan de la santé et sécurité existe-t-il des particularités liées à l'environnement de travail norvégien ?

Le STAMI créé des connaissances visant l'amélioration des conditions de travail. La priorisation des sujets se fait en fonction de leur potentiel pour la prévention, des risques de maladie professionnelle et de la pertinence scientifique. Il s'agit de garantir la qualité des travaux pour qu'ils soient utiles à nos parties prenantes et aux travailleurs de tous secteurs. Nos chercheurs ont accès à des vastes ensembles de données via des registres nationaux et nordiques, des cohortes de grande taille. Le STAMI a d'ailleurs la responsabilité de certains de ces outils.

La recherche est axée sur la caractérisation des expositions sur les lieux de travail, en lien avec des déterminants psychologiques et organisationnels et la présence d'agents physiques, chimiques et biologiques. Il s'agit aussi de comprendre les liens qui lient déterminants et expositions. L'approche du STAMI est large, en raison de l'étendue du domaine de la sécurité et de la santé au travail et de la multitude d'expositions et d'effets sur la santé à traiter.

Le STAMI se concentre également sur des questions plus spécifiques à la Norvège : exposition à des minéraux lors de forages, exposition aux produits chimiques dans l'industrie offshore, mais aussi travail dans des environnements sombres et froids.

Dans l'ensemble, la recherche du STAMI se caractérise

par une expertise interdisciplinaire s'attaquant à de nombreux problèmes de santé tels que le cancer, les maladies de la peau, les maladies pulmonaires, les maladies cardiovasculaires, les problèmes de santé mentale et les troubles musculosquelettiques. Le portefeuille de projets démontre une approche de recherche holistique, visant à comprendre les relations de cause à effet.

La vision du STAMI est celle d'une vie professionnelle qui prévient la maladie, promeut la santé et génère de la valeur, grâce à la création d'environnements de travail durables. Pouvez-vous nous préciser ce que fait votre institut pour atteindre cet objectif ?

Cette vision est en effet le fondement des actions du STAMI, qu'il s'agisse de la recherche ou d'autres activités.

La recherche sert l'objectif global et les activités complémentaires, notamment la veille sur les questions de santé au travail, le soutien aux autorités, l'éducation et la diffusion des résultats. Toutes les activités se renforcent mutuellement, avec un impact substantiel sur les plans scientifique, politique et sociétal.

Le STAMI a un impact académique grâce à sa contribution scientifique mais tout autant un impact politique, car nos résultats sont utilisés comme plateforme de connaissances dans les décisions relatives à la réglementation. Enfin les connaissances issues du STAMI permettent aux entreprises, aux travailleurs

et aux partenaires sociaux de mettre en œuvre des activités préventives sur les maladies et les lésions professionnelles et de promouvoir la santé au travail dans son ensemble.

Plusieurs collaborations sont actuellement en cours au niveau européen, notamment dans le cadre du partenariat PEROSH, dont vous présidez le comité scientifique. Quel bilan tirez-vous de la coopération entre les chercheurs des 15 instituts qui composent ce réseau depuis ces vingt dernières années ?

La coopération entre les 15 instituts de sécurité et de santé au travail, qui constituent le réseau PEROSH, a pris une place importante dans le domaine du travail et de la santé en Europe. La force de la collaboration PEROSH est le partage mutuel des connaissances scientifiques. Mais il y a d'autres impacts. Ainsi, la collaboration au sein de PEROSH impacte diverses parties prenantes en charge de la réglementation au niveau européen. On l'a vu récemment dans les cas de l'amiante et des rayonnements optiques. Un autre exemple de projet est une analyse des formations sur le risque « nanomatériaux » existant en Europe, finalisée en 2023. Ce projet donne des informations précieuses pour mettre en place de telles formations.

» Carte d'identité du STAMI* (Norvège)

L'Institut national de la santé au travail (STAMI) est l'institut de recherche norvégien qui étudie tous les aspects de l'environnement de travail. Dépendant du ministère chargé du Travail et de l'Inclusion sociale, l'institut apporte des connaissances en santé au travail et combine des activités de recherche, de surveillance, de conseil et de formation au profit de la vie professionnelle norvégienne.

Il compte 150 collaborateurs qui contribuent annuellement à 60 programmes de recherche.

Contact : postmottak@stami.no

Site : www.stami.no

** National Institute of Occupation Health (Institut national de la santé au travail – Norvège)*

PEROSH organise également des ateliers sur un large éventail de sujets, de plus en plus sur des émergences. Le projet « ALMA-AI : Exploration de l'impact sur la SST de la gestion algorithmique et des systèmes basés sur l'IA » est un bon exemple.

Dans le domaine organisationnel et psychosocial, le réseau collaboratif « *Well-being at Work* » (bien-être au travail) est un réseau de collaboration fructueux depuis de nombreuses années, avec des conférences organisées tous les deux ou trois ans en différents endroits d'Europe. Le réseau prévoit également d'organiser la première université d'été scientifique pour les jeunes chercheurs au cours de l'été 2025.

Sur la base de cet aperçu, je soulignerais que PEROSH a un impact important dans le domaine de la sécurité et de la santé au travail. En tant que présidente du groupe de pilotage scientifique du réseau, j'ai le plaisir de constater qu'il y a une interaction positive, que des résultats scientifiques de haute qualité sont produits et que les activités augmentent.

Le directeur des études et de la recherche de l'INRS, Louis Laurent, a d'ailleurs joué un rôle central ces dernières années pour renforcer ces liens.

Quels sont, selon vous, les prochains défis de la recherche en matière de prévention des risques professionnels au niveau européen ?

Des facteurs de changement à grande échelle tels que le développement technologique, le changement climatique, les transitions vertes, la globalisation, l'immigration et le vieillissement de la population influenceront la vie professionnelle de tous. Tout ceci est à l'origine de nouveaux besoins en connaissances. Les activités de STAMI sont liées aux besoins du monde du travail et à ces mutations. Parallèlement, les défis existants, tels que les expositions chimiques et/ou biologiques, les problèmes liés à l'environnement de travail physique ou psychosocial et organisationnel, ne disparaîtront pas.

De nombreuses questions qui concernent la société norvégienne se posent également à l'échelle internationale par essence et leur traitement nécessite à la fois des perspectives comparatives et une coopération avec des communautés de recherche reconnues, dans d'autres pays.

PROGRAMMES DE PRÉVENTION 2023-2028

Les pages qui suivent proposent une présentation des 98 études en cours dans la période 2023-2024, les 15 qui se sont achevées fin 2023 faisant l'objet d'une présentation plus détaillée. Ces études sont classées selon la thématique principale à laquelle elles sont rattachées au sein du plan stratégique de l'INRS pour les années 2023-2028.

➔ Prévention des risques biologiques

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

»» OBJECTIFS GÉNÉRAUX

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

▶ DÉVELOPPEMENT DE MÉTHODES

2020-2024

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



2022-2024

Évaluation de milieux de culture généralistes adaptés au dénombrement des micro-organismes dans l'air des lieux de travail

■ Lise ALONSO, Pauline LOISON et Catherine COULAIS

Département métrologie des polluants

Cette étude a pour objectif d'identifier des milieux de culture adaptés au dénombrement des micro-organismes rencontrés dans l'air des lieux de travail à des fins de caractérisation des expositions professionnelles. Des essais en laboratoire et sur le terrain seront réalisés et enrichiront la fiche Metropol M-147.



2024-2026

Application de la PCR quantitative à l'évaluation de l'exposition des travailleurs aux bioaérosols

■ Lise ALONSO, Pauline LOISON

Département métrologie des polluants

Cette étude a pour objectif de mettre au point et transférer une méthodologie simplifiée et optimisée, basée sur l'analyse par PCR (*Polymerase Chain Reaction*) quantitative (qPCR) pour l'évaluation de l'exposition des travailleurs aux bioaérosols dans l'air des lieux de travail de secteurs professionnels dans lesquels la présence de micro-organismes sera recherchée (usinage des métaux, méthanisation, compostage, etc.).



»» OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

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

► RISQUES TOXINIQUES

2023-2027

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

■ Valérie DEMANGE et Ève BOURGKARD
Département épidémiologie en entreprise

■ Sophie NDAW et Nathalie GROVA
Département toxicologie et biométrie

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



© INRS / L. Martin / 2019

► RISQUES INFECTIEUX

2023-2026

Procédure de construction de méthodologie d'évaluation du risque biologique

■ Sarah BURZONI
Département métrologie des polluants

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

► PROTECTION COLLECTIVE

2023-2025

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

■ Denis BÉMER, Fabien GÉRARDIN et Benjamin SUTTER
Département ingénierie des procédés

■ Thèse de doctorat : Ruddybel BENJAMIN
Laboratoire LRGP CNRS – Frédérique BATTIN-LECLERC

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

► PROTECTION INDIVIDUELLE

2023-2026

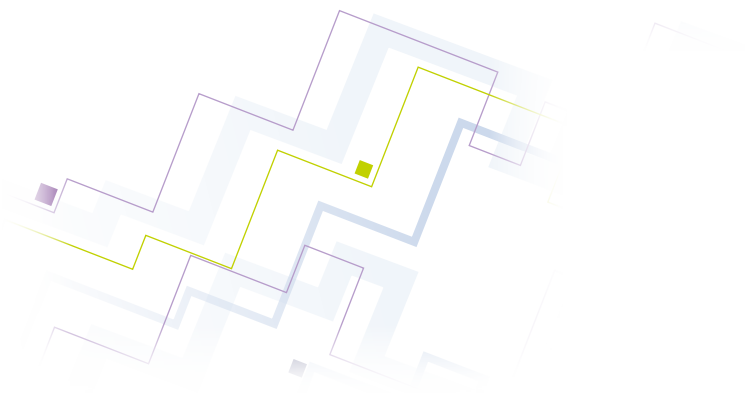
Relargage de nano-objets, leurs agrégats et agglomérats depuis des masques (Projet RENAAME / Anses)

■ Sandrine CHAZELET
Département ingénierie des procédés

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

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

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



➔ Prévention des risques chimiques

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

»» OBJECTIFS GÉNÉRAUX

- Développer des méthodes pour identifier les substances dangereuses pour la santé des salariés et agir en amont.
- Mettre au point des techniques de caractérisation, de prélèvement et d'analyse ainsi que de nouvelles méthodes plus sensibles pour répondre aux besoins liés à la baisse des VLEP (Valeur limite d'exposition professionnelle).
- Agir à la source en intégrant dans les procédés la limitation ou l'épuration des émissions de polluants.
- Renforcer la prise en compte des polyexpositions à plusieurs substances chimiques.
- Veiller à l'adéquation des dispositifs de protection collective et des équipements de protection individuelle face au risque chimique et au maintien de leur efficacité dans le temps.
- Porter une attention particulière aux produits émergents, notamment ceux introduits dans des procédés plus « verts » tels les liquides ioniques ou les nouveaux solvants.

▶ DÉVELOPPEMENT DE MÉTHODES

2019-2023

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

■ Estefania BERNAL et Benoît POUYATOS
Département toxicologie et biométrie

Exposé des motifs et objectifs

Les solvants industriels pénètrent facilement dans le cerveau lorsqu'ils sont inhalés. La plupart d'entre eux exercent un effet « neurodéresseur » qui se caractérise par des modifications réversibles des performances motrices et cognitives, comme de la somnolence, des altérations de la coordination fine et des réflexes ou des phénomènes d'ébriété. Ces effets sont susceptibles de dégrader les capacités de travail des salariés et donc d'augmenter les risques d'accidents. Toutefois, il apparaît que les informations disponibles dans la littérature sont souvent parcellaires et obtenues chez l'animal, avec des concentrations très élevées sans recherche de seuil d'effet. De plus, ces données ont été obtenues après exposition, ce qui implique que les modifications de l'activité cérébrale se produisant pendant l'exposition restent

souvent méconnues. Suite à ces constats, il apparaissait nécessaire de proposer une méthode innovante, applicable sur le rat (le modèle de choix pour la toxicité des solvants), permettant d'estimer de manière objective, sensible et spécifique les effets neurodéresseurs des solvants industriels (et ce pendant l'exposition) afin d'identifier les substances industrielles les plus problématiques. La seule méthode qui paraissait rassembler toutes ces qualités était l'électrocorticographie (ECoG), qui consiste en un enregistrement et une analyse des ondes cérébrales, mais qui n'avait jamais été utilisée dans un contexte de recherche de neurotoxicité aiguë. La présente étude visait à valider la faisabilité et la pertinence de l'ECoG pour évaluer les effets cérébraux de trois solvants industriels aux propriétés neurotoxiques aiguës différentes, le styrène, le toluène et la méthyl-éthyl-cétone (MEK).



Démarche

Des rates adultes ont été exposées par inhalation pendant quatre jours à de l'air filtré (période de référence) puis, la semaine suivante pendant 4 jours à 1000 ppm de MEK, de toluène ou de styrène ($n = 12$ / solvant). Chaque exposition journalière durait 6 heures. Le système ECoG a permis de transmettre par wifi les ondes cérébrales ; ainsi, il a été possible d'enregistrer l'activité cérébrale des animaux pendant l'exposition aux toxiques, dans les chambres d'inhalation. Immédiatement après la fin du dernier jour d'exposition à l'air filtré ou au solvant, la fonction vestibulaire (équilibre) des animaux était analysée en observant les saccades oculaires des animaux après rotation. Des tests simples de comportement ont également été entrepris afin d'évaluer la locomotion, la coordination motrice lors de la marche et la force musculaire. Lors d'une deuxième phase, le seuil d'effet du styrène sur les ondes cérébrales a été recherché.

Résultats principaux

Chaque solvant testé avait sa propre signature ECoG : le toluène a augmenté la puissance des oscillations rapides (30-90 Hz) ce qui corrobore ses effets euphorisants bien décrits. Le styrène a généré une forte diminution de la puissance globale des ondes cérébrales, en accord avec son fort potentiel neurodéresseur. La MEK n'a provoqué aucun effet, ce qui confirme sa faible toxicité aiguë. Les expositions au toluène et au styrène ont augmenté le nombre et la durée des saccades du nystagmus post-rotatoire, mais pas la MEK. Aucune dégradation des performances comportementales n'a été mesurée. Les effets du styrène apparaissent dès 50 ppm, soit la $VLEP_{CT}$ de cette substance.

Discussion

L'ensemble des résultats montre que l'ECoG est plus sensible que les tests comportementaux classiquement utilisés. De plus l'ECoG est une méthode fournissant une mesure objective et quantitative de la fonction cérébrale pendant (et non pas après) l'exposition au toxique. En outre, les ondes cérébrales étant remarquablement préservées chez les mammifères, les résultats ECoG sont considérés comme directement transposables de l'animal à l'Homme. L'ECoG paraît ainsi parfaitement adapté à l'estimation des effets aigus des toxiques volatils sur le système nerveux central. Il est envisagé de poursuivre l'utilisation de cette méthode dans une nouvelle étude qui viserait à tester un grand nombre de composés organiques volatils industriels (entre 10 et 30), ayant des propriétés neurotoxiques aiguës avérées ou suspectées, afin de classer ces substances selon leur seuil d'effet et d'identifier les plus problématiques en milieu professionnel.



2021-2023

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

■ Baninia HABCHI et Sophie NDAW

Département toxicologie et biométriologie

Exposé des motifs et objectifs

Une meilleure évaluation des expositions multiples est une priorité afin de mettre en œuvre des stratégies de prévention efficaces pour la santé et la sécurité au travail, d'autant plus que les effets des substances chimiques présentes dans les mélanges pourraient se combiner et éventuellement être amplifiés. Il est donc nécessaire de disposer de méthodes de mesure adaptées à l'analyse simultanée d'un grand nombre de molécules, comme l'approche métabolomique non ciblée. Cette étude s'est inscrite dans la continuité des travaux de l'INRS sur la polyexposition, et son objectif principal était de développer cette méthode non ciblée.

Démarche

Le développement de la méthode a été divisé en trois parties principales :

La mise au point de la méthode analytique de criblage non ciblé : cette partie regroupe l'optimisation de la préparation des échantillons et des paramètres instrumentaux permettant de générer des données robustes et répétables. Ces optimisations ont été réalisées à l'aide d'un pool d'échantillons d'urine.

L'analyse de données métabolomiques : il est difficile de comparer visuellement l'ensemble de profils métabolomiques générés par l'approche non ciblée. Une procédure de pré-traitement et de traitement des données a donc été mise en place à l'aide de plusieurs logiciels. Cette procédure est essentielle pour évaluer la qualité et la répétabilité des données générées et réaliser ensuite une analyse statistique adaptée.

La construction d'une base de données spectrales interne : cette base de données résulte de l'analyse de substances standards avec la méthode mise en place. Elle permet d'identifier sans ambiguïté les substances détectées dans les profils métabolomiques des salariés, en comparant les paramètres expérimentaux obtenus à partir des échantillons avec ceux des standards enregistrés dans cette base de données.

Résultats principaux

Une méthode analytique non ciblée dédiée aux molécules polaires a été développée pour la matrice urinaire. La robustesse analytique de cette méthode a été démontrée par une répétabilité très satisfaisante et par la détection d'un mélange de 17 xénobiotiques ajoutés dans différents pools d'urine et ce, à différentes concentrations. Bien que cette méthode non ciblée ne soit pas une méthode quantitative, il a été possible de voir l'effet dose et de discriminer deux groupes d'échantillons

en fonction de la concentration. La procédure de traitement des données permettra d'extraire les molécules détectées dans les profils métabolomiques et d'appliquer ensuite des analyses statistiques. Finalement, environ 650 substances ont été acquises et enregistrées dans la base de données spectrales interne au laboratoire de biométriologie de l'INRS.

Discussion

Grace à la méthode mise en place, le profil métabolomique de chaque échantillon biologique recueilli en entreprise pourra être acquis. À l'aide de la base de données spectrales établie au cours de cette étude, ces profils métabolomiques permettront de détecter des biomarqueurs d'exposition aux polluants,



des biomarqueurs d'effet, de séparer différents groupes de salariés en fonction de leur exposition professionnelle ainsi que de rechercher de nouvelles molécules d'intérêt *a posteriori*. Cette approche non ciblée ouvre également la voie à de nouvelles méthodes pour l'évaluation de l'exposition, par filière notamment, qui permettront d'appréhender une gamme plus large de polluants auxquels sont exposés les salariés (traitement des déchets, retardateurs de flamme, mycotoxines et phytosanitaire). Forte de certaines améliorations apportées dans le traitement de données générées, cette méthode sera utilisée prochainement dans les projets d'évaluation des polyexpositions à l'INRS.

2019-2024

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

■ Andrea EMILI et Gautier MATER

Département métrologie des polluants

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

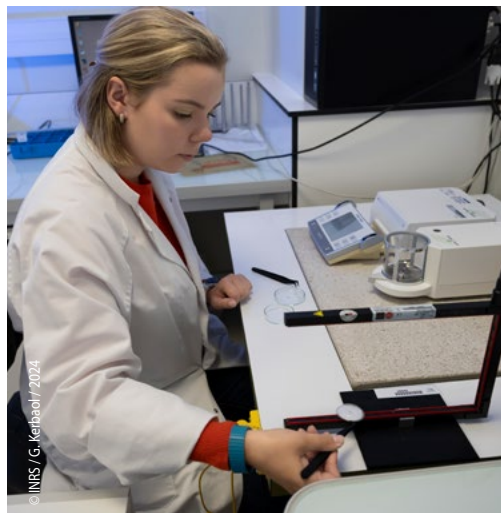
2020-2024

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

■ Sébastien BAU et Xavier SIMON

Département métrologie des polluants

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



2021-2024

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

■ Sihane MEROUANE

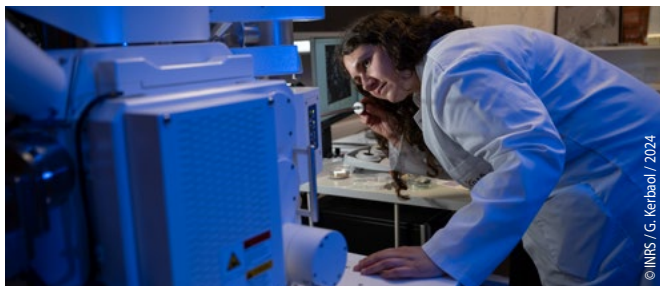
Département métrologie des polluants

■ Thèse de doctorat : Olivier RASTOIX

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

La mise en œuvre de poudres génère des aérosols qui peuvent être inhalés par l'opérateur. Différentes méthodes normées existent pour mesurer la pulvérulence de matériaux en vrac, susceptibles d'émettre des aérosols dans les différentes fractions conventionnelles liées à la santé. Cependant, peu de données sont disponibles sur les caractéristiques des

aérosols générés par ces méthodes, en particulier, sur des poudres contenant des mélanges de matériaux. Cette étude est consacrée à l'analyse des caractéristiques physiques et chimiques des aérosols, afin de fournir des méthodes standardisées pour évaluer un risque d'exposition par inhalation à un aérosol issu de la mise en œuvre de poudres.

**2021-2024**

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

■ Sébastien BAU

Département métrologie des polluants

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

2022-2024

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

■ Karine GÉRARDIN, Bruno GALLAND et Philippe DUQUENNE

Département ingénierie des procédés

■ Thèse de doctorat : Narech HOUËSSOU

Centre de recherche en automatique de Nancy – Sébastien MIRON

L'étude a pour objectif de compléter les méthodes d'évaluation des risques chimiques et biologiques disponibles par la réalisation de cartographies spatio-temporelles des concentrations en polluants atmosphériques sur les lieux de travail. Il s'agit d'intégrer de nouvelles données, comme celles issues de la géolocalisation des équipements de mesure et de la numérisation 2D/3D des environnements de travail. 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 de l'évaluation des risques.

2022-2024

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

■ Barbara SAVARY et Jean-François SAUVÉ

Département métrologie des polluants

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

2022-2025

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

■ Ogier HANSER et Mathieu MELCZER
Département toxicologie et biométrie

■ Thèse de doctorat : Mathieu MELCZER
*PREM – Université de Pau et des Pays de l'Adour –
Ryszard LOBINSKI*

Le cadmium est présent en entreprise bien que toxique, même à faible dose. Aujourd'hui, le suivi biologique de salariés exposés est réalisé par l'analyse du cadmium total dans l'urine. Cependant, une étude récente dans le secteur du recyclage des piles/accumulateurs 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 reste mal caractérisée bien qu'elle constitue une menace potentielle pour leur santé.

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

2022-2025

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

■ Laurence ROBERT et Romain GUICHARD
Département ingénierie des procédés

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



2022-2025

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

■ Sophie TOMAZ

Département métrologie des polluants

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

Les objectifs de ce projet sont de développer plusieurs méthodes en vue de :

- mesurer le benzo[a]pyrène ;
- évaluer l'exposition aux composés organiques totaux présents dans les aérosols de fluides complexes, et mesurer les métaux contenus dans ces particules ;
- quantifier le potentiel oxydant dans ces particules, qui est 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.

2023-2024

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

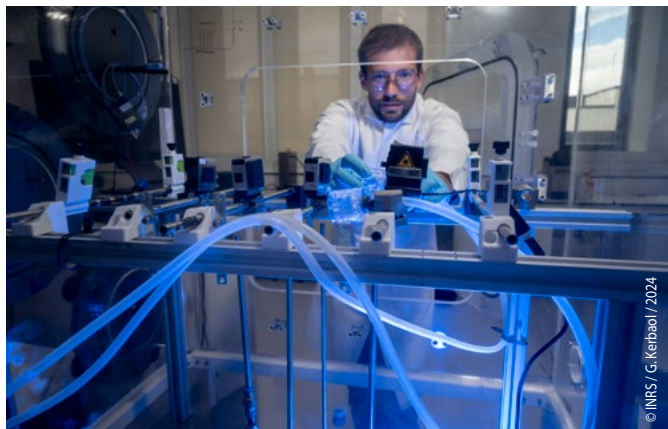
■ Olivier CARRIVAIN

Département métrologie des polluants

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

L'INRS participe à une recherche prénormative sur l'évaluation des performances des capteurs d'aérosols dans le cadre d'un mandat de la Commission européenne, en lien avec des partenaires européens (voir projet CEN2 ci-après). Le but de cette étude

d'instruction sera de compléter les données bibliographiques issues de ce projet et de réaliser des protocoles d'essais permettant l'exposition homogène des capteurs, en laboratoire et sur le terrain, pour apporter les réponses les plus pertinentes aux préconisations liées à la mesure des expositions aux aérosols dans l'air des lieux de travail.



© INRS / G. Kerbaol / 2024

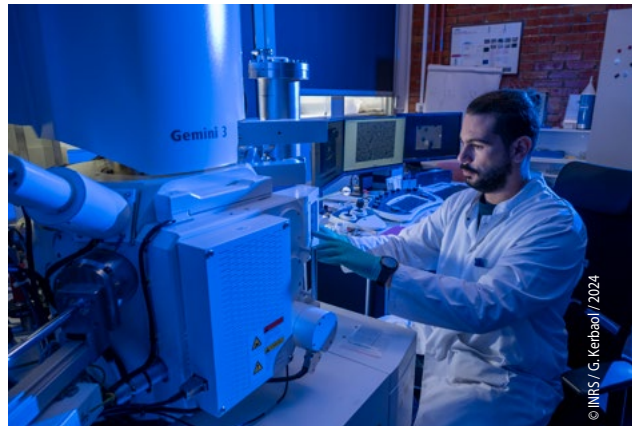
2020-2025

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

■ Céline EYPERT-BLAISON

Département métrologie des polluants

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



2020-2024

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

■ Benjamin SUTTER

Département ingénierie des procédés

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

2024-2028

Étude exploratoire sur l'exposition professionnelle aux composés per- et polyfluoroalkylés (PFAS) : étude de filière, développement métrologique et mesure de terrain

■ Sophie TOMAZ

Département métrologie des polluants

Les substances per- et polyfluoroalkylées, nommées PFAS, sont des composés chimiques aux propriétés imperméabilisantes, antiadhésives et résistantes à la chaleur, qui suscitent des questionnements face à leur potentiel toxique et au fait qu'ils soient bioaccumulables et persistants. Cette étude a pour objectif de collecter des données sur la présence de ces molécules sur les lieux de travail et sur les niveaux d'exposition des salariés.

En parallèle de l'étude d'usage et de filière qui est menée, il s'agira de développer des méthodes de mesure et de prélèvement des PFAS dans l'air et sur les surfaces, en vue de hiérarchiser des niveaux de risque ou d'exposition par secteur d'activité, opération et procédé. Les données permettront d'améliorer la connaissance sur les situations professionnelles concernées et de proposer des mesures de prévention.

2024-2027

Développement d'un capteur semi (quasi)-temps-réel pour le formaldéhyde gazeux

■ Natalia GRYSYK*Département métrologie des polluants*

Le formaldéhyde est un composé organique toxique qui, à température ambiante, se présente sous forme de gaz incolore et inflammable, fortement irritant. Les méthodes d'évaluation de la concentration de formaldéhyde en temps réel reposent sur des instruments précis, mais coûteux et volumineux qui sont difficilement mobilisables pour réaliser des prélèvements individuels. Récemment, des progrès ont été réalisés dans le développement de nouveaux capteurs. Cependant, leur sensibilité est insuffisante pour permettre une quantification précise et suffisamment rapide du formaldéhyde gazeux.

L'objectif de cette étude est de développer un prototype de capteur semi-temps-réel et d'évaluer ses performances en laboratoire, ainsi que sur le terrain, avant d'envisager un transfert technologique du concept développé.

2024-2027

Étude de l'évolution chimique des polluants déposés sur les surfaces

■ Williams ESTEVE*Département métrologie des polluants*

De nombreuses activités génèrent des dépôts chimiques sur les surfaces et les outils professionnels. Cette pollution peut conduire à une contamination de l'organisme par passage percutané ou par ingestion, et avoir un effet sur la santé des travailleurs. Jusqu'à présent, seule la pollution surfacique initiale a été prise en compte et mesurée. L'objectif de cette étude est de caractériser l'évolution chimique et toxicologique des molécules initialement déposées, d'évaluer leur capacité au passage percutané et, au final, d'évaluer les risques encourus par les salariés au cours du temps. Cette étude concerne des composés organiques répondant à deux critères : une présence abondante observée sur les surfaces de travail et une tendance connue et documentée à la dégradation ou à l'oxydation dans d'autres environnements. Ils sont considérés *via* une double approche : expérimentale et en situation réelle de travail.

2024-2026

Mesure en temps réel du potentiel oxydant, nouvelle métrique de l'exposition aux aérosols en hygiène industrielle (Projet Metronome / Anses)

■ Davy ROUSSET*Département métrologie des polluants*

De nombreuses études indiquent que l'exposition aux particules fines affecte la santé respiratoire et cardiovasculaire par l'intermédiaire des processus inflammatoires associés au stress oxydatif. Deux prototypes de mesure, basés sur des tests acellulaires, ont été développés. Leur objectif est de pouvoir disposer de méthodes d'analyse en ligne du potentiel oxydant. Toutefois, leur sensibilité, leur sélectivité et leur complémentarité doivent être évaluées en laboratoire et sur le terrain pour différents aérosols. Cette évaluation est effectuée par étapes en augmentant progressivement la complexité des agents chimiques et aérosols testés. Chaque étape fournit des informations sur les performances des dispositifs, en phases gazeuse et/ou particulaire. Ces travaux visent à permettre la prise en compte du potentiel oxydant comme une nouvelle « métrique d'exposition » en complément des métriques plus conventionnelles de la masse (ou du nombre) des particules.

2024-2027

Évaluation de deux méthodes de spectroscopie portables pour l'analyse directe des métaux particulaires

■ Naïma GAUDEL et Virginie MATERA
 Département métrologie des polluants

■ Doctorant : Zenab ABOUD
 GéoRessources – Université de Lorraine –
 Cécile FABRE et Jean CAUZID

L'évaluation des expositions des travailleurs aux métaux a récemment conduit à la mise en place ou à l'abaissement de valeurs limites d'exposition à de nombreux métaux. Il existe peu de méthodes d'analyse des métaux suffisamment sélectives et sensibles. Deux appareils portables, basés sur l'analyse spectroscopique, sont évalués dans le cadre de cette étude, dans un contexte d'évaluation voire de caractérisation des expositions. Les travaux visent à préciser les conditions nécessaires pour procéder à des analyses *in situ* d'échantillons collectés sur un support de prélèvement. Cela permettra de qualifier les éléments chimiques pouvant contribuer à une exposition significative aux métaux, voire d'effectuer la comparaison à une VLEP des éléments identifiés. D'autres approches *via* des prélèvements de surface ou des outils d'intelligence artificielle sont explorées afin de lever les verrous scientifiques liés au traitement du signal des matrices d'intérêt.

► POLYEXPOSITION À PLUSIEURS AGENTS CHIMIQUES



2020-2023

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

■ Andrea EMILI et Gautier MATER
 Département métrologie des polluants

Exposé des motifs et objectifs

Les salariés sont susceptibles d'être exposés à plusieurs substances chimiques durant leurs activités. L'évaluation de la polyexposition des salariés aux substances chimiques dans l'élaboration du document unique d'évaluation des risques constitue une obligation réglementaire en vertu du Code du travail (article R. 44126) depuis la loi « Santé au travail » du 2 août 2021. Afin d'orienter les préventeurs dans le repérage et la caractérisation des situations d'exposition à de multiples substances chimiques en milieu de travail, cette étude avait pour objectif de dresser un portrait de la polyexposition en France à travers l'exploitation de diverses sources de données préexistantes.

Démarche

Cette étude a utilisé comme sources d'informations les données collectées dans les bases Colchic et Scola pour identifier et caractériser les situations de travail (ST) en polyexposition. Les travaux visaient à mettre en évidence les cocktails de substances chimiques les plus fréquents, et à évaluer les risques de surexposition pour les substances ayant des effets communs sur la santé, à l'aide de l'outil Mixie France. D'autres ressources ont été exploitées pour compléter ce portrait, soit trois bases de données d'exposition nord-américaines et des inventaires des substances contenues dans des produits chimiques enregistrés dans le logiciel Seirich, transmis anonymement par des entreprises. Les analyses statistiques ont notamment permis de hiérarchiser les associations entre les substances chimiques présentes dans les ST par secteur d'activité, métier ou tâche.



© INRS / G. Kerbaol / 2024

Résultats principaux

L'exploitation des bases Colchic et Scola a montré que 32 % des ST étaient concernées par une exposition à au moins deux substances chimiques différentes. 4 692 combinaisons uniques de substances, comportant le plus fréquemment des hydrocarbures aromatiques ou des métaux ont été identifiées. La prise en compte de l'exposition cumulative avec l'outil Mixie a montré 25 % des ST correspondaient à une surexposition, comparativement à 21 % en surexposition lorsque l'on considérait chaque substance du mélange séparément. Ainsi, les cas de surexposition identifiés étaient principalement dus à la contribution d'une seule substance avec une exposition élevée, plutôt qu'à plusieurs substances avec des niveaux d'exposition plus faibles.

L'apport des autres sources de données pour compléter le portrait de la polyexposition en France a été relativement limité. D'une part, les ST moins bien documentées dans Colchic et Scola faisaient également l'objet de peu de mesures dans les bases nord-américaines. D'autre part, peu d'inventaires de produits chimiques ont pu être obtenus. Néanmoins, ces inventaires ont permis d'identifier que les mélanges de substances les plus fréquemment enregistrés impliquaient des composés organiques volatils, en particulier émis par des solvants et des produits nettoyants ou de désinfection.

Discussion

Ce projet a permis d'approfondir les connaissances sur les situations de polyexposition professionnelle en France par l'exploitation de multiples sources de données complémentaires. Les connaissances acquises ont notamment permis d'améliorer l'outil 110 de l'INRS avec des données d'évaluation de l'exposition par situation de travail, pour qu'il indique aux entreprises les coexpositions potentielles, associées aux couples ST-substance chimique recherchés par les utilisateurs.

2021-2026

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

■ Karine GÉRARDIN

Département ingénierie des procédés

Les travailleurs impliqués dans la gestion des sites et sols pollués (SSP) sont potentiellement exposés à 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, sont déployés lors de campagnes de mesures réalisées par l'INRS, mais également en autonomie par les travailleurs.

»» OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

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

▶ AGENTS CANCÉROGÈNES OU MUTAGÈNES

2022-2026

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

■ Carole SEIDEL et Christian DARNE

Département toxicologie et biométrie

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

2023-2024

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

■ Dieynaba NDIAYE et Christian DARNE

Département toxicologie et biométrie

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

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

2024-2025

Réduction des émissions de poussières appliquée aux opérations mobiles de travail des matériaux du BTP : étude d'instruction

■ Denis BÉMER

Département ingénierie des procédés

■ Naïma GAUDEL

Département métrologie des polluants

Dans le cadre de la prévention des expositions à la silice cristalline (cancérogène pour l'homme), cette étude vise à effectuer des mesures dans le secteur du BTP, afin d'analyser les caractéristiques des poussières émises selon les procédés mis en œuvre, et de mesurer l'efficacité de différents dispositifs de réduction, dont les équipements de protection respiratoire de nouvelle génération. Pour cela, un dispositif sera conçu pour permettre de mesurer les poussières lors du travail de la pierre. Un système de confinement de la zone de travail, permettant le captage des poussières produites, ainsi que leur échantillonnage (concentration en poussières et en silice cristalline, granulométrie) sera mis au point et déployé sur le terrain.



© INRS / G. Maisonneuve / 2017

▶ AGENTS REPROTOXIQUES

2024-2027

Évaluation du transfert transplacentaire et de la toxicité placentaire de retardateurs de flamme organophosphorés – Mise au point d'un modèle de double perfusion placentaire *ex vivo* chez le rat

■ Sarah VALENTINO

Département toxicologie et biométrie

En milieu professionnel, les femmes enceintes peuvent être exposées à des agents chimiques potentiellement toxiques pour elles et leurs enfants à naître. Des retardateurs de flamme organophosphorés (RFOPs) ainsi que leurs métabolites ont par exemple été détectés dans le liquide amniotique, démontrant un passage transplacentaire.

Cette étude vise à développer un modèle expérimental de double perfusion placentaire *ex vivo*. Ce modèle alternatif permettra d'effectuer des analyses d'effets placentaires d'agents chimiques, perturbateurs endocriniens et reprotoxiques. Ces travaux compléteront les données sur les mécanismes d'action placentaires des RFOPs et enrichiront les connaissances en vue de mieux évaluer le risque d'une exposition gestationnelle accidentelle ou chronique.

▶ AGENTS SENSIBILISANTS – ALLERGISANTS

2023-2025

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

■ Mélanie MOUROT et Fabrice BATAIS

Département toxicologie et biométrie

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

▶ PROTECTIONS COLLECTIVES ET INDIVIDUELLES

2019-2023

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

■ Fabien GÉRARDIN et Éric SILVENTE

Département ingénierie des procédés

■ Thèse de doctorat : Maria JIMENEZ

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

Exposé des motifs et objectifs

En France, on estime que plus de 200 000 salariés sont concernés par les opérations de manutention ou de transfert de poudres. L'écoulement est une des étapes communes à l'ensemble des opérations unitaires de traitement des poudres. Il intervient lors du remplissage, de la vidange, du transport, du dosage ou encore du conditionnement des produits.



Afin que ces phases soient facilitées, le recours à des agents d'écoulement est fréquent. Les additifs (glidants) les plus souvent retenus se présentent sous la forme de nanoparticules (NPs). Cependant, améliorer l'écoulement avec ces additifs peut avoir des conséquences sur la capacité de ce milieu à émettre des poussières, notamment lors des opérations de transfert.

L'objectif principal de l'étude était d'approfondir le lien entre coulabilité et empoussièrement et d'examiner le rôle des « glidants » sous l'angle de la modification des émissions des poussières, tant en quantité qu'en composition.



Démarche

La méthodologie retenue pour ces travaux repose sur une approche expérimentale. Quatre poudres couramment utilisées dans l'industrie ayant des tailles, formes, rugosités et comportements en écoulement variés, ont été sélectionnées : cellulose microcristalline, farine de blé, joint fin et billes de verre. Ces particules sont considérées comme les particules hôtes lors du mélange avec les additifs. Quatre types d'agents d'écoulement ont été ajoutés : deux NPs hydrophobes et deux NPs hydrophiles. Un plan d'expérience a permis de définir l'influence de l'humidité et de la proportion de NPs introduites sur l'écoulement et la pulvéulence des mélanges poudres/additifs. Un mécanisme d'action des agents d'écoulement sur les poudres a également été proposé.

Résultats principaux

Les résultats indiquent que le principal mécanisme d'action des NPs pour l'amélioration de l'écoulement est lié à la modification de la surface des poudres qu'elles induisent. La propension d'une poudre à libérer de la poussière semble donc être liée à son interaction adhésive avec la NP qui a été associée à des modifications de l'énergie de surface. Les résultats relatifs à la pulvéulence ont montré que l'augmentation de la coulabilité se traduisait par une augmentation des émissions de poussières. Sur la base de la caractérisation expérimentale de la coulabilité et de la pulvéulence des échantillons, deux relations sont proposées pour estimer les niveaux d'émission de poussières à partir de deux indicateurs de coulabilité, le rapport de Hausner et le facteur de fluidité.

Discussion

Les deux propriétés d'usage d'intérêt, écoulement et pulvéulence, ont été évaluées afin de définir un domaine de validité où l'écoulement est aisé, en limitant autant que faire se peut l'exposition des opérateurs aux poussières. Toutefois, afin de prévenir les risques pour les opérateurs, une des stratégies à adopter de manière prioritaire dans le cadre de l'utilisation des NPs, en tant qu'agents d'écoulement, est de les réduire, éviter leur usage ou les substituer. Les travaux réalisés dans cette étude ont fait l'objet de trois articles scientifiques, six conférences, une thèse et trois articles de prévention.



2018-2023

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

■ Fabien GÉRARDIN

Département ingénierie des procédés

■ Thèse de doctorat : Perla TRAD

Université Paris-Saclay Faculté d'Orsay – Nicole BLIN-SIMIAND

Exposé des motifs et objectifs

Les technologies rencontrées en hygiène industrielle pour le traitement de Composés organiques volatils (COV) faiblement concentrés dans l'air reposent très souvent sur des procédés séparatifs (adsorption sur charbon actif, zéolithes, absorption, etc.), mais également sur des procédés destructifs (catalyse, photocatalyse, plasma non thermique).

L'examen des principaux procédés disponibles pour éliminer les COV révèle qu'il n'y a pas vraiment de solution idéale : saturation progressive du medium et production de déchets pour les uns, formation de sous-produits de décomposition toxiques pour les autres. L'objectif de l'étude est de proposer une approche d'intensification de procédés qui consiste à associer un procédé séparatif à un procédé destructif. L'intérêt est d'exploiter les avantages de l'un et de l'autre tout en limitant les conséquences de leurs inconvénients respectifs.

Démarche

La démarche scientifique entreprise dans ces travaux a consisté à évaluer la capacité de modules membranaires couplés à un procédé photocatalytique ou à plasma froid, à séparer et à décomposer trois COV d'intérêt : le n-hexane, le toluène et le dichlorométhane. L'influence des paramètres tels que les débits, les concentrations des composés, la surface membranaire, etc. sur le fonctionnement de ces systèmes « hybrides » a été étudiée. Ces travaux ont été réalisés en laboratoire, mais également en modélisant différents processus de transport de matière et de réactions qui interviennent dans ces dispositifs. Une attention particulière a été portée sur l'aptitude des systèmes couplés à limiter la production de sous-produits potentiellement toxiques. L'étude a été menée avec le Laboratoire de physique des gaz et des plasmas (LPGP) de l'Université Paris-Saclay sous la forme d'une thèse de doctorat.

Résultats principaux

Les différents travaux menés dans cette étude ont mis en évidence la bonne capacité des dispositifs hybrides à éliminer les COV ciblés. Dans certaines conditions, le couplage de deux technologies permet d'atteindre des rendements supérieurs à ceux qui sont obtenus par les technologies séparatives et oxydatives prises séparément. Le point remarquable de ces travaux est la réduction significative de la présence, dans l'effluent de sortie de ces systèmes couplés, de sous-produits toxiques tels que le formaldéhyde et le benzène issus de l'oxydation du toluène. La modélisation adossée à l'expérimentation a permis de concevoir et dimensionner différentes configurations de fonctionnement de ces systèmes.

Discussion

Le travail mené dans cette étude a permis de faire la démonstration qu'un procédé séparatif tel que la perméation membranaire associé à un procédé d'oxydation photocatalytique ou par plasma froid, peut apporter une réponse efficace, sûre et innovante pour l'élimination de COV présents dans une matrice atmosphérique. L'objectif est maintenant de valider ces résultats sur un démonstrateur technologique afin que cette solution devienne une alternative de choix à l'adsorption comme technologie de prévention. Cette étude a donné lieu à plusieurs communications, trois articles scientifiques, un brevet déposé et un démonstrateur technologique.

2020-2024

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

■ Eddy LANGLOIS

Département métrologie des polluants

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

2021-2024

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

■ Hubert MONNIER

Département ingénierie des procédés

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

2021-2024

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

■ Alexandre JENFT

Département ingénierie des procédés

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

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



2024-2026

Fuites de particules dans les APR : étude des mécanismes d'apparition et détection en temps réel

■ Sandrine CHAZELET et Audrey SANTANDREA

Département ingénierie des procédés

Le choix d'un appareil de protection respiratoire (APR) passe par un essai d'ajustement sur le visage du salarié, qui ne permet néanmoins pas de prédire les contraintes de mouvement, posture et durée de port du masque, qui peuvent entraîner une modification de l'ajustement et faire apparaître des fuites, ainsi que les éventuels dysfonctionnements des APR, notamment ceux nécessitant des opérations de maintenance, qui peuvent conduire à la pénétration de polluant dans le masque.

L'étude vise analyser ces mécanismes d'apparition de fuites de polluant vers l'intérieur des masques. Des essais sont menés sur des têtes factices respirantes et sur des sujets volontaires, pour tous les types d'APR. Les résultats permettront de faire évoluer les recommandations sur le port de masque et sur les opérations de maintenance de ces appareils.

► SUJETS ÉMERGENTS

2023-2027

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

■ Harielle SAMBA et Valérie DEMANGE

Département épidémiologie en entreprise

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

2024-2026

Évaluation des émissions particulaires et gazeuses lors des opérations mobiles de décapage laser

■ Stéphanie MARSTEAU

Département ingénierie des procédés

Le décapage et le nettoyage de surfaces sont des opérations dont les risques professionnels sont relativement bien identifiés et documentés. Une application plus récente repose sur l'utilisation d'un laser pour le décapage. S'il existe des risques pour la peau ou les yeux, le risque chimique lié à l'inhalation des fumées de particules et de gaz émises lors de l'utilisation de ces procédés est également présent. Les sources lasers étant de plus en plus puissantes et compactes, le développement de systèmes ambulatoires est devenu possible et la problématique de l'émission de ces fumées, de leur captage et de leur traitement est donc posée.

Cette étude a pour objectif d'identifier et d'évaluer ces procédés, en réalisant une enquête d'usage et de filière. Les conditions réelles d'utilisation seront étudiées, en complément de travaux sur un banc d'essai conçu pour analyser les polluants formés par le décapage laser des surfaces.

► AUTRES RISQUES CHIMIQUES

2022-2025

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

■ Monique CHALANSONNET

Département toxicologie et biométrie

Il est établi que certains solvants aromatiques, très utilisés dans l'industrie, peuvent engendrer des pertes auditives chez des travailleurs ayant été exposés pendant leur carrière. Les effets de ces solvants sur l'équilibre, bien que suggérés, restent à vérifier. Pour pallier ce besoin, un modèle a été développé à partir d'explants vestibulaires, « les cystes ». Une étude précédente avec ce modèle a mis en évidence la vestibulotoxicité périphérique du styrène, de l'ortho-xylène et de l'éthylbenzène.

L'objectif de cette étude est de vérifier si la vestibulotoxicité constatée avec un modèle *in vitro* se confirme par une approche *in vivo* et d'étudier la concordance entre vestibulo- et cochléotoxicité. La toxicité de ces solvants sur les deux récepteurs périphériques sera évaluée par histologie, comptages des cellules ciliées cochléaires et vestibulaires après exposition, et par des mesures fonctionnelles de l'audition (produits de distorsion) et de l'équilibre (nystagmus et tests comportementaux).

2022-2029

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

■ Sophie NDAW et Laurent GATÉ

Département toxicologie et biométrie

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

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

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

2024-2026

Applicabilité des microprélèvements sanguins digitaux dans le suivi des expositions professionnelles aux métaux

■ Ogier HANSER

Département toxicologie et biométrie

Les ponctions de sang veineux peuvent être difficiles à mettre en place dans le cadre d'un suivi régulier de l'exposition des travailleurs. Dans le cadre du dosage des métaux, l'étude vise à évaluer la pertinence et l'applicabilité en santé au travail des microprélèvements digitaux, en vue de faciliter l'accès à des indicateurs biologiques d'exposition de manière moins invasive.

Il s'agit d'analyser les freins potentiels à leur déploiement en milieu professionnel, liés essentiellement au risque de contamination de surface par un environnement fortement empoussiéré, et au besoin de méthodes suffisamment sensibles pour analyser de faibles volumes de sang. Des campagnes de prélèvements chez des travailleurs exposés à des métaux toxiques dans des entreprises de recyclage et de soudage permettront de valider cette approche.

2024-2027

Étude des effets induits par une co-exposition PUF/COV chez le rat, exemple de la fabrication additive polymère

■ Ludivine WATHIER

Département toxicologie et biométrie

L'exposition professionnelle à des mélanges complexes est une réalité, en particulier en fabrication additive ou impression 3D avec le procédé de dépôt de fil fondu. Sous l'effet de la chaleur, les thermoplastiques peuvent générer des fumées contenant des composés organiques volatils (COV) et des particules ultra-fines (PUF). Cette étude a pour objectif d'étudier les fumées de thermodégradation afin d'apporter des connaissances nouvelles sur les effets potentiels de l'exposition combinée aux PUF et COV, et les risques encourus par les salariés exposés dans le secteur de l'impression 3D. Les investigations porteront essentiellement sur l'évaluation de la toxicité pulmonaire induite par l'exposition aux fumées et les atteintes de la fonction respiratoire. Des analyses complémentaires seront réalisées pour rechercher l'apparition d'une toxicité systémique et d'une potentielle génotoxicité. Un banc de génération de fumées émises par les imprimantes 3D polymères (de toute nature) sera élaboré afin de répondre aux critères de génération d'atmosphères de l'OCDE.



➔ Prévention des risques physiques et mécaniques

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

»» OBJECTIFS GÉNÉRAUX

- Développer des connaissances utiles aux actions de normalisation, à l'accompagnement des dispositions réglementaires, aux dispositifs de formation.
- Accompagner la branche AT/MP sur les questions liées aux nuisances physiques (rayonnements, lasers, vibrations éclairage, bruit, ambiances thermiques), au sein des lieux de travail et liées à l'utilisation de machines (appareils de levage, grues, chariots, dispositifs de détection et de protection...).

»» OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

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

▶ RAYONNEMENTS OPTIQUES



2020-2023

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

■ Jean-Marc DENIEL

Département ingénierie des équipements de travail

Exposé des motifs et objectifs

Dans l'industrie, les matériaux portés à incandescence émettent des rayonnements optiques et peuvent exposer les salariés au risque de cataracte. Si ce risque ne peut être évalué par simulation informatique, l'éclairage dans le proche infrarouge doit être mesuré au niveau de l'œil du travailleur, à l'aide de radiomètres et spectroradiomètres trop onéreux pour la plupart des préventeurs.

Une méthode a été proposée dans cette étude à partir de l'analyse d'une simple photographie du poste de travail, telle que peuvent en fournir les smartphones. Deux hypothèses ont été formulées :

- la couleur des pixels de l'image peut être associée à la température d'un corps coloré, donc à sa luminance ;
- la position de chaque pixel peut être associée à une étendue géométrique dans le champ visuel de la caméra.

La combinaison de ces deux informations permet d'estimer l'exposition de l'œil au risque de cataracte.

Démarche

Des images dont les niveaux de couleurs sont proportionnels aux luminances énergétiques à évaluer ont été récupérées. La première étape, après étalonnage de la caméra en laboratoire, a consisté à calculer une matrice de correspondance entre la couleur d'un pixel et un couple de matériau et de température connu. La deuxième étape a consisté à déterminer finement les paramètres de la perspective de la caméra, et à associer à tout pixel de l'image, l'étendue géométrique d'un faisceau depuis le centre optique de la caméra.



Résultats principaux

Les températures et l'exposition estimées selon la méthode retenue ont été comparées à des mesures classiques dans le cas du rayonnement d'un corps noir et d'un four de recuit de métal. La température des matériaux est reconnue à 30°C près. Les étendues géométriques des sources sont estimées à $\pm 10\%$. La méthode développée approche l'exposition mesurée par un appareil classique entre -6% et +25%.

Discussion

Cette méthode peu coûteuse se révèle assez précise pour évaluer le risque d'affection oculaire lié au rayonnement thermique et aider l'employeur à prendre les mesures de prévention adéquates, sans recourir à des appareils de plusieurs milliers ou dizaines de milliers d'euros. Une des limites de cette méthode est qu'elle ne s'applique pas directement au cas du verre en fusion. Des investigations complémentaires devront être menées pour ce matériau dont le comportement optique est plus complexe. La méthode nécessite également d'étalonner la caméra en laboratoire. Il s'agira de lui adjoindre un moyen facile et accessible d'étalonnage, utilisable par les préventeurs. Des méthodes similaires pourraient alors être développées dans le domaine de l'éclairage.

► 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 avec des sujets normo-entendants permet d'évaluer le jugement de l'audibilité d'alarmes dans le bruit.

2021-2025

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

■ Laurent BROCOLINI et Patrick CHEVRET

Département ingénierie des équipements de travail

Des travaux sont menés depuis plusieurs années pour déterminer les caractéristiques de l'environnement sonore sur la charge mentale. Ce projet, financé par l'ANR, vise à aller plus loin dans la compréhension du phénomène et de la situation de travail vécue par les opérateurs en identifiant les facteurs responsables de la fatigue ressentie, avec une attention particulière portée à certaines caractéristiques des salariés, telles que les capacités d'inhibition attentionnelle, l'âge et les pertes auditives. Des analyses d'activité sont 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 même inférieure à la limite réglementaire (87 dB(A)) entraîne une fatigue auditive, un phénomène peu étudié car jugé bénin et réversible. Pourtant, répétée quotidiennement, cette fatigue peut conduire à des troubles auditifs permanents. L'objectif de ce projet, financé par l'ANR, est de mieux comprendre et diagnostiquer la fatigue auditive afin de la prévenir. Quatre phases sont prévues : décrypter les mécanismes de la fatigue chez le rongeur ; évaluer l'impact de la fatigue auditive sur les performances auditives des rongeurs et chez l'être humain ; proposer de nouveaux outils de diagnostic de la fatigue auditive auprès de volontaires en clinique et en entreprise ; tester des stratégies de prévention en milieu professionnel (répartition et temps de pause...). L'INRS s'attachera également à mesurer la cinétique de récupération de la fatigue auditive. Les résultats permettront de définir une méthodologie pour améliorer le diagnostic de la fatigue auditive et de proposer des stratégies pour la réduire.

2023-2025

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

■ Jean-Pierre ARZ et Julien MARCHAND

Département ingénierie des équipements de travail

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

2023-2026

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

■ Jonathan TERROIR

Département ingénierie des équipements de travail

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

2024-2027

Conception et aménagement des bureaux ouverts : quelles recommandations pour répondre aux enjeux acoustiques et visuels liés à la qualité de l'environnement de travail ?

■ Laurent BROCOLINI et Lucas LENNE

Département ingénierie des équipements de travail

■ Thèse de doctorat : Germain FORGET

INSA Lyon, ED 162 MEG – Étienne Parizet

Malgré des avancées sur les nuisances sonores dans les bureaux ouverts, des enquêtes montrent une persistance de l'insatisfaction des salariés vis-à-vis de leur environnement de travail. Cette étude vise à produire des recommandations et à améliorer le cadre normatif lié à l'aménagement des open-spaces, en mettant en cohérence l'ambiance sonore et visuelle et la conception ergonomique des postes de travail. L'étude poursuivra trois axes :

- analyse de l'atténuation de la parole entre deux postes : une méthode est définie et expérimentée pour évaluer les effets de l'environnement sonore sur la fatigue et la charge mentale lors d'un travail collaboratif ;
- mesure des effets cognitifs des environnements sonores et visuels en fonction de différents types de cloisonnettes séparant les espaces de travail ;
- étude du lien entre la densité d'occupation et la performance acoustique des espaces de travail *via* le développement d'un modèle numérique.

2024-2027

Évaluation de l'intelligibilité de la parole dans le bruit par des méthodes d'intelligence artificielle pour des travailleurs malentendants appareillés (Projet Ipiama / Anses)

■ Jean-Pierre ARZ

Département ingénierie des équipements de travail

En France, plus de 2 millions de salariés seraient porteurs des prothèses auditives. Malgré des avancées technologiques, les aides auditives ne permettent pas aux salariés appareillés de bénéficier du même niveau de compréhension de la parole dans le bruit qu'un salarié normo-entendant. L'objectif de ce projet est de développer un indicateur capable de prédire l'intelligibilité qui permettra d'objectiver les difficultés de compréhension et d'évaluer les stratégies de réglage des appareils pour améliorer leurs capacités.

La méthodologie est basée sur des techniques d'intelligence artificielle. Des mesures en laboratoire auprès de malentendants appareillés, ainsi que sur mannequin acoustique, en entrée et en sortie des aides auditives pour divers signaux de parole et de bruits masquants, seront réalisées, avant le développement d'un modèle de réseaux de neurones de prédiction de l'intelligibilité.

► VIBRATIONS

2021-2024

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

■ Christophe NOËL

Département ingénierie des équipements de travail

■ 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. Il en est de même pour les effets sanitaires des vibrations hautes fréquences et des chocs, générés par exemple par les burineurs. Les objectifs de cette étude sont, d'une part de comprendre et quantifier l'influence des efforts de préhension et de poussée sur la propagation des vibrations dans la main, et d'autre part de mieux connaître l'effet des vibrations hautes fréquences et des chocs.

Ces connaissances seront diffusées à la normalisation et pourraient servir de base à la conception de poignées de machines transférant moins de vibrations à la main.

2024 – 2027

Modélisation numérique de suspensions de sièges d'engins en vue de l'amélioration de leur transmissibilité

■ Quentin PIERRON

Département ingénierie des équipements de travail

Les conducteurs de machines mobiles sont exposés à des vibrations susceptibles de provoquer des douleurs lombaires. Les sièges de ces engins, équipés de suspensions, transmettent plus ou moins de vibrations de leur base au conducteur.

L'objectif de cette étude est de déterminer s'il est possible de diminuer davantage la transmissibilité vibratoire des sièges actuels et de proposer une nouvelle méthode d'évaluation permettant de définir les paramètres représentatifs des vibrations de la base des sièges. Des mesures de vibrations seront réalisées sur le terrain. Des modèles théoriques de sièges seront également conçus en laboratoire pour représenter au mieux l'ensemble des modèles, les tester et optimiser leur transmissibilité vibratoire. Les modèles de sièges développés serviront ensuite à dialoguer avec les fabricants lors d'actions de normalisation dans l'objectif d'améliorer la conception des sièges.





► CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

2020-2023

Compatibilité électromagnétique des dispositifs médicaux implantables actifs au poste de travail

■ Gérard FLEURY et Lucien HAMMEN

Département ingénierie des équipements de travail

■ Thèse de doctorat : Lucien HAMMEN

Centrale Supélec GEEPS – Lionel PICHON

Exposé des motifs et objectifs

De plus en plus de personnes en âge de travailler sont porteuses d'implants susceptibles d'interférer avec les environnements électromagnétiques rencontrés à leur poste de travail. En effet les limites d'exposition professionnelle étant supérieures à celles qui s'appliquent à la population générale, l'exposition est potentiellement plus intense au travail. Ces porteurs d'implants font l'objet d'une évaluation, par les médecins du travail, des risques spécifiques qu'ils encourent ; l'INRS est régulièrement sollicité sur ces questions de compatibilité électromagnétique.

L'objectif de cette étude était d'améliorer les connaissances relatives à l'exposition des travailleurs porteurs d'implants actifs afin d'aider les acteurs de la prévention en entreprise à apporter une réponse la plus adaptée possible à la situation.

Une étude bibliographique avait montré que dans le cas des *pacemakers*, tous les mécanismes d'interaction entre les sondes et les champs électromagnétiques ne sont pas bien compris. Cette étude avait également pour objectif de proposer un modèle permettant de mieux comprendre ces interactions.

Démarche

Pour étudier la réponse des implants actifs aux champs électromagnétiques rencontrés en industrie, une nouvelle méthode d'essai *in vitro* a été proposée. Cette dernière consiste à exposer l'implant à un champ représentatif d'une exposition professionnelle et à relever son comportement. Pour cela, l'implant est placé au sein d'un milieu simulant la présence du corps humain. Pour générer en laboratoire un champ magnétique maîtrisé, la méthode repose sur l'utilisation d'un banc d'essai spécifique capable de générer un champ entre 50 Hz et 50 kHz, dans toutes les directions de l'espace et jusqu'aux limites hautes concernant l'exposition professionnelle. Cette nouvelle méthodologie a été éprouvée en l'appliquant au cas des *pacemakers* qui sont les implants actifs les plus répandus.

Résultats principaux

Ces essais ont permis de tester l'influence d'un grand nombre de paramètres tels que l'orientation du champ magnétique, sa fréquence ou encore la position des sondes et du boîtier sur le fonctionnement d'un *pacemaker*. Il a été observé que le dispositif considère, à partir d'un certain niveau de champ, la perturbation électromagnétique comme une contraction cardiaque. Les *pacemakers* actuels sont capables de détecter ces perturbations et d'appliquer une stimulation ne tenant plus compte du rythme physiologique dont la détection est trop perturbée.

Discussion

Un nouveau banc d'essai permettant de tester la compatibilité électromagnétique d'implants actifs face au champ magnétique basses fréquences a ainsi été conçu, réalisé et caractérisé. Des essais ont été appliqués au cas des *pacemakers* ; les trois facteurs jugés les plus pertinents pour l'estimation du risque sont l'amplitude et la fréquence du champ ainsi que le niveau de sensibilité de détection de l'activité cardiaque. Ce dernier point correspond au réglage du dispositif réalisé par le cardiologue. Les différentes observations ont mené à formuler l'hypothèse selon laquelle, le type de sonde considérée lors de l'étude est davantage sensible au champ électrique qu'au champ magnétique. Par ailleurs, lors des essais, aucune perturbation à long terme des dispositifs n'a été constatée et le ventricule a toujours été stimulé régulièrement, synonyme du maintien de la circulation sanguine.



2022-2026

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

■ Baptiste RISTAGNO

Département ingénierie des équipements de travail

Afin d'améliorer les estimations du risque d'exposition à des champs magnétiques, l'objectif de cette étude est de développer de nouveaux modèles d'induction électromagnétique, plus représentatifs des réponses du corps humain.

Deux approches, numérique et expérimentale, sont conduites en parallèle. Les expériences consistent 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 sont considérées. Les travaux pourront être valorisés d'un point de vue méthodologique en normalisation et conduiront à un outil numérique d'aide à l'évaluation de ce risque à destination des préventeurs.

▶ ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL – MACHINES DANGEREUSES

ÉTUDE
TERMINÉE

2020-2023

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

■ Michaël SARREY

Département ingénierie des équipements de travail

Exposé des motifs et objectifs

Construite à l'issue d'un inventaire de nombreuses machines revendiquant l'usage d'intelligence artificielle (IA), cette étude visait à instruire le thème de l'arrivée des IA dans les machines et les enjeux en terme de risques professionnels. Ses objectifs principaux étaient de produire des connaissances à destination des concepteurs et utilisateurs pour leur montrer les caractéristiques spécifiques des machines apprenantes, identifier les exigences essentielles de santé et de sécurité impactées en termes de risques mécaniques et autres risques liés à la conception d'une machine et enfin, décrire les procédures de conception et de mise à jour des programmes d'IA spécifiques à ces machines.

Démarche

Les enjeux identifiés ont été abordés selon quatre axes :

- une veille technologique, réglementaire et normative ;
- une expérimentation de laboratoire afin d'identifier les spécificités de ces systèmes de commandes, tant d'un point de vue technique qu'organisationnel et méthodologique ;
- une veille de marché pour identifier des candidats potentiels à un recueil d'expériences auprès des acteurs économiques de ce sujet ;
- une expérimentation visant à déterminer les particularités de comportement des machines mobiles autonomes dans des environnements de travail.



Résultats principaux

La veille a permis de confirmer que la technologie d'IA, très majoritairement employée dans les machines, était l'apprentissage automatique (une technique d'IA qui permet à la machine d'écrire elle-même son programme sur la base d'exemples). Elle a également montré que l'IA était implantée dans les capteurs pour améliorer la perception de l'environnement.

La phase expérimentale a montré que l'implantation d'une IA dans une machine imposait la réalisation d'une nouvelle phase du cycle de vie : la phase d'apprentissage ; ainsi qu'un mode de marche spécifique : le mode entraînement. Des spécificités, comme les manques d'explicabilité et de déterminisme de ces machines ont été montrées.

La veille de marché des machines dotées d'IA a montré la faible maturité de ces applications. Aucune application de l'IA à un équipement directement lié à la sécurité n'a été observé. L'étude a contribué aux travaux réglementaires et normatifs qui ont évolué au cours de ces quatre années.



Discussion

L'IA dans les machines ne peut pas être validée par les méthodes classiques ; cette technique ne peut donc pas être utilisée dans la chaîne de sécurité d'une machine. Pour lever ce verrou, des travaux de recherche et de normalisation devront être menés ; l'INRS restera attentif aux avancées de ces réalisations.

Comme l'IA est utilisée pour améliorer la perception des machines, cette étude pourra aboutir à de nouveaux travaux sur les risques engendrés par les machines mobiles autonomes en milieu de travail.



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

Exposé des motifs et objectifs

Les lunettes connectées (LC), dispositifs de réalité augmentée, sont des « ordinateurs portés sur la tête qui offrent un affichage devant les yeux et permettent de voir à travers ». Du point de vue de la prévention des risques professionnels, leur utilisation soulève des interrogations : un risque d'accident existe-t-il lorsqu'un salarié utilise des LC en marchant ? Ces dispositifs ont-ils des effets sur la santé ? Afin de répondre à ces questions, les objectifs de cette étude étaient d'une part d'analyser la perturbation éventuelle du déplacement à pied d'utilisateurs de LC et d'autre part, d'évaluer leur ressenti quant aux effets qu'ils percevaient sur leur santé, à l'ergonomie et à l'acceptabilité de la technologie.

Démarche

Une expérimentation en laboratoire a été menée auprès de 80 participants répartis dans 4 groupes correspondant à 4 modèles différents de LC. Elle a permis de comparer, sur deux types de parcours (rectiligne et sinueux), le



déplacement à pied des participants sans LC, avec celui des mêmes participants portant des LC *via* des exercices de différents niveaux de difficulté. En parallèle, les LC ont fait l'objet d'une mesure du champ de vision afin d'évaluer les éventuelles zones de masquage dues à leur structure. Le ressenti des participants sur les aspects santé, ergonomie et acceptabilité a été recueilli à l'aide d'un entretien et de questionnaires. Une enquête auprès d'entreprises a également été menée afin de recueillir des retours d'expériences du terrain.

Résultats principaux

Les analyses des paramètres physiques de la marche, croisées avec les résultats des questionnaires et de l'enquête terrain, ont montré que quels que soient le parcours et le type de LC, plus l'exercice à traiter dans les LC est difficile, plus les paramètres de la marche sont dégradés : le temps de parcours est plus long, les longueurs de pas sont plus courtes et une plus grande variabilité des trajectoires est constatée. L'occultation du champ visuel et la charge mentale peuvent aussi conduire à une dégradation de la perception d'événements imprévus comme un obstacle ou un signal visuel d'alerte, parfois même à un sentiment d'isolement. Un tiers des participants dit ressentir une fatigue visuelle et l'enquête de terrain a montré que plus de la moitié des utilisateurs avaient des difficultés à se familiariser avec les LC.

Discussion

En conclusion, lorsqu'un salarié utilise des LC en marchant, la qualité de son déplacement est dégradée, ce qui engendre une augmentation du risque de chute de plain-pied. Par conséquent, il est déconseillé de regarder l'écran des LC et d'interagir avec d'éventuelles informations affichées dans les LC en marchant. Lors d'un déplacement, il est préférable d'escamoter l'écran afin de dégager le champ de vision. De plus, un accompagnement est nécessaire lors des premières utilisations pour s'assurer que le matériel est adapté ; des consignes de sécurité doivent être évoquées et il est nécessaire de prévoir un suivi des salariés en cas d'apparition de symptômes tels que des céphalées, nausées ou sensation de vertiges.

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

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.

2021-2024

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 seraient 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 permettent de définir des configurations typiques non conformes qui sont 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 sont également étudiés.



2023-2026

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

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

Département ingénierie des équipements de travail

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

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

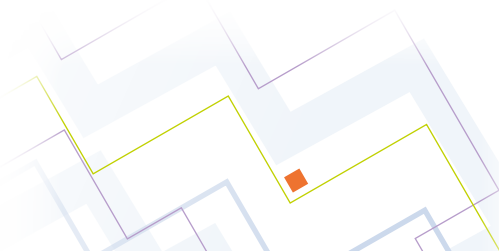
2023-2026

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

■ Pascal LAMY

Département ingénierie des équipements de travail

L'objet de cette étude exploratoire est d'analyser le potentiel d'une méthode d'analyse de risques cyber pour les machines connectées, en vue de rechercher les possibles implications pour l'évaluation des risques professionnels en direction des entreprises. Elle vise à proposer une démarche opérationnelle pour les entreprises utilisatrices, leur permettant de prendre en compte les impacts du risque cyber sur les risques professionnels. Des entreprises sont questionnées afin de connaître leurs usages numériques en termes de connectivité de machines et de cybersécurité. Des tests en laboratoire sont également réalisés sur des robots ou machines de production.



2024-2027

Conception d'ateliers de démantèlement de véhicules hors d'usage

■ Bruno DAILLE-LEFEVRE

Département ingénierie des équipements de travail

■ Thèse de doctorat : Ulysse BRUGE

ENSAM Paris Tech Metz - Ali SIADAT

Le démantèlement est l'étape initiale du recyclage des véhicules hors d'usage en vue de récupérer les composants ou les matériaux présents, dans une perspective d'économie circulaire. Cette activité génère des situations de travail potentiellement dangereuses pour les opérateurs, liées notamment à la diversité et à la variabilité de l'état des véhicules à démanteler. L'objectif de cette étude est de construire avec les professionnels de terrain une démarche pour concevoir des ateliers de démantèlement en intégrant les aspects de santé et de sécurité. Cette démarche repose sur l'analyse des caractérisations techniques des véhicules à démanteler, des processus, procédés et gammes opératoires, ainsi que sur l'analyse de l'activité des opérateurs procédant au démantèlement de VHU. Il s'agit de mettre en évidence les potentielles tâches « non-prévues » ou « non-documentées », les possibilités de régulations individuelles et collectives ou les empêchements qui pourraient exposer les opérateurs à de potentiels facteurs de risques.

2024-2025

Émergence de nouvelles machines utilisant des systèmes embarqués : étude d'instruction concernant leurs systèmes de commande relatifs à la sécurité

■ Nisrine GHADBAN

Département ingénierie des équipements de travail

L'objectif de cette étude est de comprendre le rôle éventuel des composants embarqués dans la gestion de la sécurité des machines.

Une analyse des risques est menée sur plusieurs machines (drones, robots mobiles, exosquelettes motorisés), avant des échanges avec leurs concepteurs pour connaître les mesures prises afin de gérer les risques. Une seconde étape vise à faire un état de l'art des composants embarqués existants pouvant être utilisés pour assurer des fonctions de sécurité et à vérifier s'ils présentent des caractéristiques permettant de prouver leur fiabilité.

Cette étude permettra d'alerter si besoin les utilisateurs et de conseiller les concepteurs sur les risques potentiels liés à l'usage de ces machines en milieu professionnel.

▶ AMBIANCES THERMIQUES

2024-2027

Prévention de l'astreinte thermique lors du port de combinaisons de protection

■ Karen REMINY

Département sciences appliquées au travail et aux organisations

Les combinaisons de protection visent à assurer la sécurité et à préserver la santé des travailleurs contre des risques nucléaires, chimiques, biologiques... Cependant, le port de ces EPI accentue les contraintes thermiques, prédisposant les salariés à des niveaux élevés d'astreinte physiologique.



Cette étude vise à définir des durées limites d'exposition à la chaleur lors du port de combinaisons de protection à perméabilité variable, selon différents niveaux de travail métabolique et de température ambiante. Des évaluations sont conduites en laboratoire pour contrôler les paramètres et caractériser les effets, ainsi qu'en situation réelle de travail, en vue de faire des préconisations basées sur des indicateurs d'astreinte thermique, concernant des mesures préventives à appliquer face aux contraintes thermiques, lors du port de ces EPI.

▶ CHUTES

2020-2024

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

■ Pierre LEMERLE

Département sciences appliquées au travail et aux organisations

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 étudie ces effets en laboratoire, en collaboration avec son homologue italien l'INAIL et l'école polytechnique de Milan. Il s'agit d'établir un modèle de marcheur humanoïde pour caractériser les perturbations dynamiques, selon leur amplitude ou la fréquence de leurs oscillations par rapport aux modifications observées dans le cycle de la marche et au risque de chute de plain-pied. Les résultats visent à améliorer les connaissances pour prévenir les risques dès le stade de la conception des locaux et des situations de travail en environnement mobile.



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

L'organisation du travail et la conception des lieux et situations de travail jouent un rôle majeur en matière de prévention des risques professionnels, tant du point de vue de l'exposition à certains facteurs de risque qu'au niveau de la gestion de la santé et de la sécurité en entreprise. Les contextes économiques, technologiques et sociaux génèrent une grande diversité d'organisations au sein des entreprises. Ces évolutions du monde du travail nécessitent un programme ambitieux qui s'oriente vers l'analyse et le suivi des risques existants et vers une observation approfondie des tendances organisationnelles à l'œuvre, avec un investissement important sur les leviers de prévention que sont les acteurs, les pratiques et les dispositifs.

»» OBJECTIFS GÉNÉRAUX

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

▶ ACCIDENTS

2024- 2027

Dispositifs en prévention d'accidents du travail. Les effets organisationnels des enquêtes en entreprises suite à un accident grave

■ Karen ROSSIGNOL

Département sciences appliquées au travail et aux organisations

L'étude sociologique proposée porte sur l'analyse d'actions mises en œuvre en entreprise à des fins de prévention des accidents du travail (AT). L'attention se focalise sur des dispositifs construits et mis en œuvre par des acteurs de l'entreprise suite à la survenue d'accidents ayant entraîné des conséquences graves, en vue d'éviter le retour des mêmes événements ou d'événements semblables. Les dispositifs en prévention étudiés s'appuient sur des outils managériaux et les outils législatifs inscrits dans le cadre légal français.



Les résultats visent à apporter des repères sur les dispositifs en prévention d'AT (cadre légal, principes énoncés par l'institution prévention, catégories d'acteurs concernés, repères méthodologiques, points de vigilance à mettre en œuvre selon les formats adaptés aux publics (membres de CSE, préventeurs d'entreprise, préventeurs institutionnels, branches professionnelles, services de santé au travail, etc.).

► CONCEPTION DES LIEUX ET DES SITUATIONS DE TRAVAIL

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 : Feriel MOALLA

École d'architecture de Nancy – Gilles HALIN et Tommy MESSAOUDI

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

► ORGANISATION DE LA PRÉVENTION ET PERCEPTION DU RISQUE

2020-2024

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

■ Mireille LAPOIRE-CHASSET

Département sciences appliquées au travail et aux organisations

■ Thèse de doctorat : Marie TEYSSIER

IRISSO, Université Paris Dauphine – Arnaud MIAS

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



2022-2025

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

■ Julie DREANO

Département sciences appliquées au travail et aux organisations

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'articule 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.



© INRS / G. Kerbaol / 2021

2023-2028

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

■ Stéphanie BOINI-HERRMANN, Régis COLIN et Michel GRZEBYK

Département épidémiologie en entreprise

Le secteur de l'aide et du soin à la personne est un secteur où les indices et taux de fréquence d'accidents sont parmi les plus élevés du régime général de la Sécurité sociale. Cette étude a pour objectif de mesurer l'impact sur la sinistralité de la mise en œuvre des compétences « accompagnement de la mobilité de la personne aidée » (ALM) par les salariés aidants, dans leur pratique professionnelle. Des établissements avec hébergement médicalisé pour personnes âgées dépendantes (Ehpad) volontaires sont suivis sur une durée de six ans, avec un point annuel et semestriel pour les salariés participants.

► PRÉVENTION DE LA DÉSINSERTION PROFESSIONNELLE

ÉTUDE
TERMINÉE

2018-2023

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

■ Sandrine GUYOT

Département sciences appliquées au travail et aux organisations

Exposé des motifs et objectifs

Le décrochage professionnel relève de multiples formes de ruptures (perte d'emploi et difficulté à en retrouver un, absence longue pour raison de santé, inactivité de longue durée, précarisation...) ayant toutes pour effet un éloignement durable de l'emploi.

L'étude avait pour but d'appréhender les agencements critiques de facteurs, situations ou événements de nature professionnelle pouvant concourir à des décrochages de l'emploi en fin de vie active. Sa finalité était d'aider les services de prévention et de santé au travail dans le repérage de situations susceptibles d'entraîner des risques de sortie prématurée du travail chez les salariés suivis et leur permettre d'intervenir *ex ante via* des actions de prévention. L'étude s'est intéressée en particulier aux femmes ; en raison, d'une part, du peu de visibilité dont elles font l'objet dans les études sur le travail et l'emploi des séniors, et, d'autre part, des spécificités marquant souvent leur trajectoire et leurs conditions de travail qui les rendent vulnérables au décrochage professionnel.

Démarche

Cinq sources de données ont été mobilisées. Trois relèvent d'enquêtes statistiques longitudinales, dont une nationale (Enquête santé et itinéraire professionnel) et deux locales réalisées avec deux services de prévention et de santé au travail. L'exploitation de ces enquêtes s'est attachée à déterminer les facteurs prédictifs du décrochage, tous sexes confondus. Une autre enquête quantitative, exclusivement destinée aux femmes, a été conduite afin d'identifier les facteurs associés à une recherche longue d'emploi (de deux ans et plus). Enfin, des entretiens biographiques auprès de femmes en décrochage ont été menés, afin de saisir comment ces différents facteurs se combinaient tout au long de la vie active et plus particulièrement dans les dernières années pour conduire à une perte d'emploi prolongée.

Résultats principaux

Les trois enquêtes longitudinales ont permis d'identifier plusieurs prédicteurs de risque de décrochage : - l'âge, - la perception de l'état de santé, - les ruptures d'emploi (durée de chômage sur l'ensemble de la carrière, fréquence des changements d'emploi au cours des dix dernières années), - les ruptures liées aux problèmes de santé (nombre d'arrêts de travail de plus de 6 mois), - la précarité de contrat dans l'emploi précédent, - l'inquiétude de perdre son emploi dans les années à venir, - la survenue d'un accident de travail dans l'année, - le travail sous pression au cours des 10 dernières années, - les coopérations insuffisantes dans le dernier emploi, - la capacité de travail faible à modérée, - le ressenti négatif à son poste, - le pronostic à 3 ans sur son incapacité à continuer à faire le même travail à cause de son état de santé.

L'enquête transversale sur les femmes met en avant des facteurs aggravants dans une recherche d'emploi plus longue, du côté des facteurs individuels (l'avancée en âge, la structure familiale et le rôle de proche aidant), du côté du parcours professionnel passé (avec des ruptures d'emploi longues) et de celui de la santé (avec la perception de son état). Enfin, à partir des entretiens réalisés, cinq *patterns* de parcours ont été dégagés comme conduisant à l'éloignement durable de l'emploi après la perte du dernier emploi.

Discussion

Les enquêtes statistiques tendent à décrire des parcours heurtés et diversement précaires comme étant à risque de décrochage chez des salariés plus souvent faiblement qualifiés et diplômés. Elles mettent l'accent sur les dimensions des conditions de travail et de santé actuelles mais aussi plus largement de parcours, à investiguer par les services de prévention et de santé au travail auprès des salariés. Les analyses qualitatives montrent, elles, une diversité de configurations possibles où se mêlent travail, emploi, santé, et conditions de vie extra-professionnelle. S'il y a des configurations plus à risque que d'autres, on ne peut dégager de configurations qui prévalent. Cela appelle à prendre en compte les facteurs prédictifs comme des indicateurs, à replacer dans une analyse des parcours professionnels, de santé et de formation des salariés.



2022-2025

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

■ Emmanuelle TURPIN-LEGENDE et Clarisse GAUDEZ

Département sciences appliquées au travail et aux organisations

Une première étude conduite en 2020 dans le secteur du BTP avait mis en évidence des associations entre les contraintes physiques et psychosociales rencontrées au cours du parcours professionnel, les capacités fonctionnelles physiques (CFP) et la santé perçue des salariés. Cette étude a pour objectif d'observer la persistance des associations précédemment obtenues. Les résultats permettront de vérifier le caractère prédictif des CFP et de la santé perçue, en étudiant notamment l'impact des contraintes sur leur évolution. Il s'agira de proposer aux services de prévention et de santé au travail du BTP des tests de CFP et des questionnaires permettant de suivre l'évolution de la santé des salariés et d'identifier les situations à risque, en vue de les prévenir par des actions de prévention primaires ciblées.

2024-2027

Élaboration et validation d'un auto-questionnaire de repérage précoce de situations à risque d'usure professionnelle

■ Anne PICHENE HOUARD

Département sciences appliquées au travail et aux organisations

Une part des salariés souffre d'usure professionnelle précoce, considérée comme un vieillissement anormal et/ou prématuré de différents organes ou fonctions, en lien avec des conditions de travail particulièrement exigeantes. La réforme de la santé au travail entrée en vigueur le 31 mars 2022 a renforcé la prévention de cette usure au sein des Services de prévention en santé au travail (SPST). L'objectif de cette étude est de proposer un outil opérationnel prédictif visant à identifier de manière précoce des situations à risque d'usure professionnelle. Il s'agira de concevoir et de valider un auto-questionnaire, en collaboration avec plusieurs SPST, sur un échantillon constitué d'au moins 1 035 salariés, employés et ouvriers âgés de 45 à 60 ans à l'inclusion. Les analyses statistiques viseront à identifier le meilleur modèle, en s'appuyant sur les caractéristiques recueillies.

► TROUBLES MUSCULOSQUELETTIQUES (TMS)

2019-2023

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

■ Kévin DESBROSSES et Clarisse GAUDEZ

Département sciences appliquées au travail et aux organisations

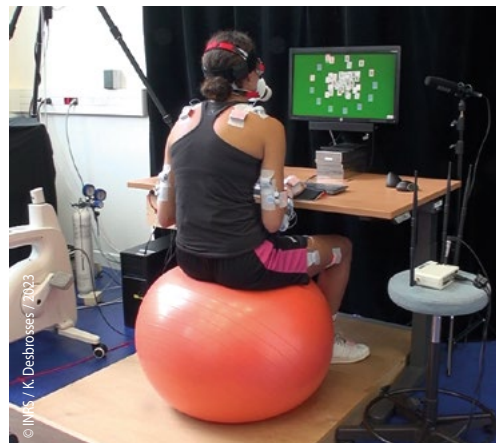
Exposé des motifs et objectifs

L'utilisation d'un ordinateur sur le lieu de travail est largement répandue. Lors de cette activité, la posture la plus fréquemment observée est assis sur un siège de bureau. Si elle est prolongée, on parle alors de posture sédentaire, et elle devient délétère pour la santé. Afin de limiter l'exposition à ce facteur de risque, différentes postures alternatives ont émergé ces dernières années. Cependant, elles pourraient impacter la stabilité posturale de l'utilisateur et donc le maniement du dispositif de pointage. La souris standard, placée à côté du clavier, est le dispositif le plus souvent rencontré. Toutefois, son utilisation intensive est à l'origine de facteurs de risques pouvant générer de l'inconfort, des douleurs voire l'apparition de troubles musculosquelettiques (TMS) du cou et des membres supérieurs. Afin de réduire les contraintes biomécaniques liées à son utilisation, de nouveaux dispositifs de pointage ont été développés.

Des demandes d'information concernant l'utilisation d'une part, de ces dispositifs, et d'autre part, du mobilier permettant de limiter les postures sédentaires sont régulièrement adressées à l'INRS. L'objectif de cette étude était d'analyser conjointement l'effet de différentes postures de travail et de plusieurs configurations de dispositifs de pointage, en considérant différents critères relatifs aux risques liés aux postures sédentaires et à la survenue d'inconfort, de douleurs voire de TMS.

Démarche

Trente et un participants ont pris part à cette étude conduite en laboratoire. Vingt conditions ont été analysées, cinq configurations de dispositifs de pointage (souris standard et inclinée placées à côté et devant le clavier et pointeur central) couplées à quatre postures (assis sur un siège de bureau, assis sur un ballon d'exercice, en pédalant sur un ergocycle et debout). Après une période d'entraînement, les participants ont réalisé une journée expérimentale au cours de laquelle ils ont répété une tâche courte de pointage-cliquage-déplacement dans les 20 conditions durant lesquelles la dépense énergétique, la fréquence cardiaque, les sollicitations biomécaniques (activités musculaires et angles articulaires), le temps de réalisation de la tâche, ainsi que leur ressenti ont été évalués.



Résultats principaux

Par rapport à la posture assis sur un siège de bureau, les trois postures alternatives apparaissent augmenter la dépense énergétique et la fréquence cardiaque, et ce de manière plus prononcée pour les postures « en pédalant » et « debout ». Dans cette tâche courte, la posture « debout » apparaît par ailleurs à privilégier au regard de l'activité des muscles lombaires, et les postures « assis sur un siège de bureau » et « debout » au regard de celle des muscles trapèzes. L'utilisation du pointeur central et le placement des souris devant le clavier apparaissent à privilégier, d'un point de vue des sollicitations biomécaniques du membre supérieur dominant. Toutefois, quelle que soit la configuration du dispositif de pointage, un risque de survenue de fatigue des muscles extenseurs du poignet est présent. Le temps de réalisation de la tâche est le plus court d'une part assis sur un siège de bureau et d'autre part avec la souris standard placée à côté du clavier.

Discussion

Il n'existe ni posture de travail ni dispositif de pointage uniques bénéfiques à l'ensemble des variables investiguées. Toutefois, au regard des sollicitations biomécaniques, le pointeur central et le placement des souris devant le clavier semblent à privilégier. Par ailleurs, les travaux montrent que les postures « en pédalant » et « debout » seraient les plus favorables à prévenir les risques associés aux postures sédentaires. Une prochaine étude apparaît nécessaire pour confirmer ces résultats sur un temps de travail plus long.



2019-2023

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

■ Stéphane GILLE

Département ingénierie des équipements de travail

Exposé des motifs et objectifs

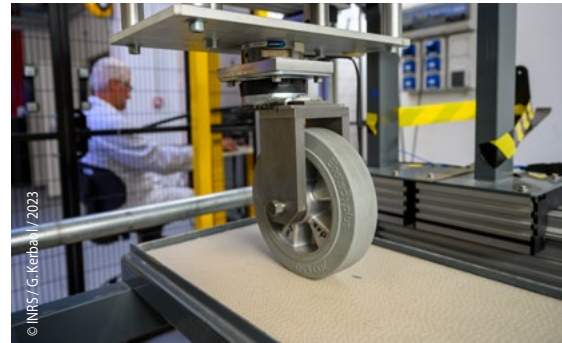
En dépit d'une forte automatisation et robotisation des tâches de manutention, les activités de manutention manuelle restent encore très présentes dans de nombreux secteurs d'activités. La moitié de ces tâches revient à tirer et/ou pousser du matériel roulant. Les normes de conception de ces matériels décrivent des codes d'essais qui emploient comme sol de test une plaque d'acier plate, lisse et horizontale sur laquelle les forces de tirer-pousser des équipements sont mesurées, permettant ainsi de définir leur capacité de charge nominale eu égard à une valeur maximale d'effort à ne pas dépasser.

Ces forces sont fortement conditionnées par les caractéristiques du matériel roulant et de la nature du sol réel sur lequel il est déplacé.

La présente étude visait à définir un nouveau protocole d'essais de forces de tirer-pousser en maintenant les essais sur une plaque d'acier plate, lisse et horizontale, mais en apportant, aux valeurs d'effort obtenues, des forces de correction en fonction des revêtements de sol sur lesquels le matériel roulant circule. Cette étude s'est limitée aux revêtements de sol résilients qui sont rencontrés dans de nombreuses entreprises et établissements : bureaux, Ehpad, hôpitaux, hôtels...

Démarche

Un banc d'essais, permettant d'isoler une roue sur un sol, et de la soumettre à différentes charges, a été réalisé pour déterminer ces forces de correction. Quarante-quatre roues de différents diamètres, bandes de roulement et moyeux, ont été testées sur une plaque en acier et quatre revêtements de sol résilients (trois multicouches en PVC et un monocouche en caoutchouc). Les essais ont été réalisés dans un premier temps en mouvement rectiligne uniforme, puis dans un second temps en pivotement avec différents déports de roue (distance horizontale séparant l'axe du pivot de la chape de l'axe du moyeu de la roue).



Résultats principaux

Pour le chariot en mouvement rectiligne, un modèle prédictif de la force de poussée a été développé. Il associe un modèle mécanique mathématique d'un chariot à quatre roues, et des abaques de force de correction obtenus à partir du banc d'essais. Ce modèle prédictif a été validé par 730 comparaisons entre les résultats qu'il fournit et ceux expérimentaux, obtenus avec un chariot instrumenté (un écart moyen de 5,1 % est observé). En pivotement, les déports proposés pour les roues testées diffèrent au plus de 3 mm, ce qui n'a pas permis d'identifier un effet sur l'effort. Une étude plus approfondie de l'effet du déport est nécessaire. Néanmoins, il a été observé que pour cinq matériaux de bande de roulement sur sept aucune force de correction de pivotement n'est nécessaire.

Discussion

Le nouveau protocole d'essais proposé permet de prendre en compte la nature des sols et ainsi contribue à aider les acheteurs dans le choix d'un chariot adapté à la situation de travail et ainsi à réduire l'exposition des utilisateurs au risque de troubles musculosquelettiques. Ce travail pourrait être étendu à l'étude d'autres revêtements de sol (par exemple les revêtements de sol textiles) et à celle de la force d'inertie liée à l'accélération appliquée par l'utilisateur.

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 sciences appliquées au travail
et aux organisations*

■ 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. Ces troubles les conduisent à quitter prématurément leur profession. Dans l'optique de réduire les facteurs de risque de TMS, des ciseaux dont la prise en main est modifiée leur sont proposés. Au moyen d'une analyse physiologique et biomécanique du geste, mais aussi par l'analyse du ressenti des coiffeurs utilisant les ciseaux modifiés, une recherche des paramètres favorisant l'acquisition de nouvelles pratiques, en lien avec l'outil modifié, est menée. En parallèle, une analyse plus approfondie des facteurs de risques biomécaniques liés à l'utilisation des ciseaux traditionnels et modifiés est effectuée. L'ensemble des résultats produits pourrait guider la conception d'outils techniques de travail, de contenus pédagogiques de formation et de programmes de prévention des TMS adaptés au métier de la coiffure.

2021-2024

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

■ Lièn WIOLAND et Jean-Jacques ATAIN-KOUADIO

*Département sciences appliquées au travail
et aux organisations*

■ Thèse de doctorat : Marc DUFRAISSE

*INU Champollion, Université fédérale Toulouse
Midi-Pyrénées – Julien CEGARRA*

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. L'étude est menée 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

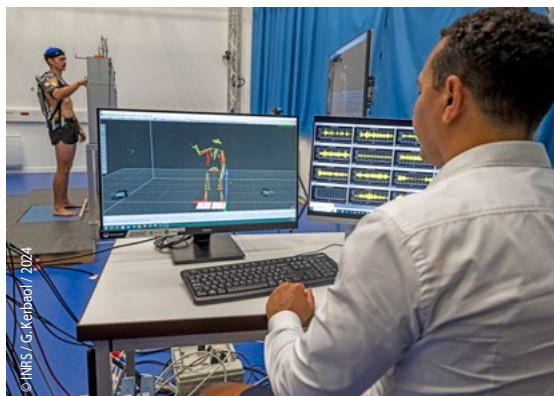
■ Chris HAYOT et Kévin DESBROSSES

*Département sciences appliquées au travail
et aux organisations*

■ Thèse de doctorat : Étienne RICARD

ENS Rennes – Charles PONTONNIER

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



© INRS / G. Kerbaol / 2024

© INRS / G. Kerbaol / 2024

► RISQUES PSYCHOSOCIAUX (RPS)

2019-2024

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

■ Corinne VAN DE WEERDT

*Département sciences appliquées au travail
et aux organisations*

■ Thèse de doctorat : Raphaël HALLER

2LPN - 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 permet 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.

2020-2024

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. À 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 cet effet.

2022-2025

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

■ Vincent GROSJEAN

*Département sciences appliquées au travail
et aux organisations*

■ Thèse de doctorat : Emilie DUFOUR

Université Grenoble Alpes – LIP/PC25 – Christine Jeoffrion

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. À cette fin, trois entreprises de service ayant adopté ce modèle sont intégrées à l'étude.

La dimension psychosociale est 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 est conduite.

► SUJETS ÉMERGENTS

2023-2026

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

■ Émilie AUNIS

Département sciences appliquées au travail et aux organisations

Les cinquante dernières années ont donné lieu à des transformations profondes de l'emploi et du travail avec l'apparition de nouveaux statuts et l'émergence de nouveaux modèles organisationnels. Cette étude a pour objectif de mieux appréhender les impacts des nouvelles formes d'emploi et d'organisation en matière de risques professionnels, afin de construire un socle de connaissances propice au déploiement de stratégies de prévention adaptées à ces évolutions. L'étude se centre sur un type d'entreprise particulier : les coopératives, qui sont examinées comme des laboratoires de ces transformations structurelles en matière d'emploi et d'organisation.



► AUTRES EFFETS SUR LA SANTÉ

2019-2023

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

■ Évelyne MORVAN

Département sciences appliquées au travail et aux organisations

Exposé des motifs et objectifs

De nombreux acteurs préconisent aux entreprises de mettre en oeuvre des stratégies visant à atténuer la fatigue liée aux horaires de nuit et/ou postés, d'autant plus s'il s'agit de postes longs (12 heures). Ils proposent notamment d'optimiser le système horaire et les pauses et/ou d'introduire de courtes siestes. Cette étude visait à analyser la mise en oeuvre de telles actions préventives dans des contextes organisationnels variés, pour limiter les effets délétères du travail posté.

Il est rapidement apparu dans la première phase de cette étude que la question de la sieste au travail était très peu documentée ; l'étude s'est donc concentrée sur ce sujet. Intégrer un temps de sommeil au travail ne va pas de soi. Un tel projet suppose de définir une stratégie générale de sieste au travail à la fois bénéfique pour la santé et la sécurité des salariés, acceptable par l'employeur et l'encadrement et applicable sur



ÉTUDE
TERMINÉE

le terrain. L'objectif de l'étude était de comprendre les processus mobilisés et les facteurs contextuels externes et internes à l'entreprise qui influent sur ces processus. Il convient d'interroger les points de vue des multiples acteurs impliqués ainsi que la place que prend la mesure dans l'organisation temporelle de l'activité en situation réelle.

Démarche

Cette étude s'est déroulée en trois phases. Tout d'abord, la sieste a été abordée dans sa dimension sociale et culturelle au travers d'une analyse de contenu de la presse nationale et d'entretiens auprès d'acteurs divers qui contribuent à en faire la promotion. Ensuite, une revue de la littérature scientifique a permis de mettre en perspective divers formats de sieste (durée, moment, finalité) selon le domaine qui la préconise (sciences du sommeil, santé publique, sécurité des systèmes critiques, santé des salariés, santé psychique, etc.). Enfin des enquêtes de terrain ont porté sur quatre projets de mise en place d'espaces de « micro-sieste » dans différents secteurs : deux hôpitaux (A ; B), production industrielle (C), maintenance aéronautique (D). Le projet A destiné à tout le personnel (jour, nuit) d'un service a pu faire l'objet de l'analyse la plus complète (suivi longitudinal, observations de jour et de nuit en immersion avant/après, entretiens avec les porteurs et les destinataires, recueil de documents). Les trois autres projets ont fait l'objet d'analyses rétrospectives et d'un nombre d'entretiens et d'observations plus restreint.

Résultats principaux

L'analyse de contenu médiatique suggère une promotion de la sieste au travail dans plusieurs sphères, via différents acteurs (experts, fournisseurs de matériel, etc.). Elle donne à voir un outil de performance, de sécurité et de santé, dans une version plutôt diurne et sans effets indésirables si elle est limitée à 20 minutes. À l'inverse, sur le volet scientifique, les travaux défendent plutôt l'idée d'une pluralité de stratégies de sieste nocturne, selon l'effet attendu (vigilance, sommeil compensatoire, récupération psychique, etc.), l'historique individuel de sommeil/éveil, les tâches à réaliser au réveil (inertie de sommeil à prévoir). Les analyses d'enquêtes montrent qu'implanter la sieste au travail est un projet difficile à porter et complexe à mettre en œuvre, du fait du nombre d'acteurs à convaincre, d'un contexte spécifique (intensification du travail) et des difficultés à trouver des locaux adaptés. L'adhésion des managers de proximité est essentielle et un temps de maturation souvent long est nécessaire. Les horaires pour lesquelles la sieste est mise en place varient selon les projets : jour et nuit (A), jour (B), nuit (C, D). Selon les données recueillies, les salariés de nuit sont peu intéressés par une opportunité de sommeil au calme de 20 minutes (risque important d'inertie de sommeil), alors que ces pratiques se développent de jour : pendant la pause, avant ou après le poste ou sur un temps calme pour certains salariés en poste long. De nuit, il apparaît surtout que « partir siester » entre en conflit avec certaines règles informelles d'équipe : on ne laisse pas ses collègues et si c'est calme, on « se pose » sur une durée variable au cœur du service, dans des conditions permettant de percevoir le moindre bruit.

Discussion

L'implantation de la sieste se révèle être « un plus » dans une démarche globale de prévention et non la panacée pour tous, comme les contenus médiatiques peuvent le suggérer. D'une part, les besoins de récupération ne sont pas les mêmes pour les personnels de jour et de nuit (du fait de leur historique de sommeil/éveil). D'autre part, la fatigue des travailleurs de nuit est plus qu'une affaire individuelle de récupération efficace d'un temps de sommeil mais elle s'inscrit dans des stratégies au niveau de l'équipe. Une démarche visant les personnels de nuit devrait s'appuyer sur une réflexion collective à partir des stratégies informelles existantes dans l'entreprise pour favoriser une pluralité de possibilités.

2016-2024

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

■ Stéphanie BOINI-HERRMANN et Ève BOURGKARD

Département épidémiologie en entreprise

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

THÉMATIQUES FOCUS EN SANTÉ ET SÉCURITÉ AU TRAVAIL À L'HORIZON 2028

Les pages qui suivent présentent neuf études conduites en 2024 dans le cadre de cinq des six thématiques focus inscrites au plan stratégique de l'INRS pour les années 2023-2028.

➔ Exposition aux aérosols

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

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

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

»» OBJECTIFS D'ÉTUDES

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



2022-2025

Captage des aérosols et ventilation générale dans les cabinets dentaires

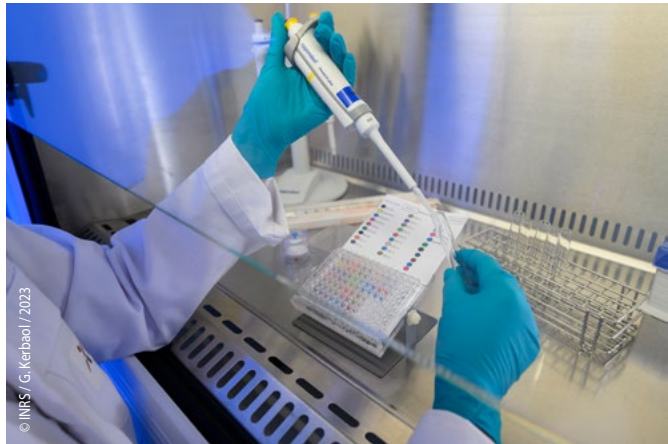
■ Jonathan CHERON, Alexandre JENFT

Département ingénierie des procédés

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

➔ Polyexpositions hétérogènes

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



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

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

»» OBJECTIFS D'ÉTUDES

- **ÉTUDIER LA COEXPOSITION SUBSTANCES CHIMIQUES ET AGENTS BIOLOGIQUES** : Les secteurs concernés par une coexposition entre substances chimiques et agents biologiques (bio-allergènes et endotoxines) sont en expansion, tels que le milieu du soin et des services à la personne, la collecte et le traitement des déchets, le traitement des eaux usées, l'industrie alimentaire, les activités de nettoyage. Les effets de cette coexposition sont insuffisamment documentés à l'heure actuelle et les mécanismes par lesquels elle peut impacter la santé sont peu connus. De plus, il n'existe pas de méthodologie simple pour caractériser ces polyexpositions. Pour remédier à ces problématiques, des études de l'INRS sont menées afin d'enrichir les connaissances et d'identifier, puis de promouvoir les mesures de prévention adaptées à ces secteurs d'activités.
- **ÉTUDIER LA COEXPOSITION AUX SUBSTANCES CHIMIQUES ET À LA CHARGE PHYSIQUE** : La charge physique de travail accroît l'imprégnation des salariés par des substances chimiques via différents mécanismes (débit ventilatoire pour l'inhalation mais aussi la sudation, l'hyperthermie et l'hyperhémie cutanée pour l'exposition cutanée). Le port d'équipements de protection individuelle (vêtements, masques de protection respiratoire) et le travail à la chaleur peuvent amplifier ces phénomènes. Une meilleure compréhension des effets de la charge physique de travail sur le risque chimique représente un enjeu majeur pour l'ensemble des acteurs de la prévention en santé au travail et pour la santé des salariés, que l'INRS s'attache à étudier en vue de mieux solutionner cette préoccupation.
- **ÉTUDIER LA COEXPOSITION SUBSTANCES CHIMIQUES ET TRAVAIL DE NUIT**: En France, le travail de nuit concerne 4,3 millions de personnes. Des travaux d'analyse sur l'exposition à des produits chimiques en lien avec le travail de nuit ont permis :
 - de confirmer que le risque chimique était une réalité présente lors du travail de nuit ;
 - d'identifier les principales substances concernées ;
 - de mettre en évidence des expositions différentes selon le genre et entre les travailleurs de jour et les travailleurs de nuit.Les travaux proposés ont pour objectif d'étudier les implications en santé au travail de cette coexposition, notamment par l'analyse des données disponibles sur la chronotoxicité chez l'animal et chez l'être humain. À terme, des mesures de prévention seront proposées, afin de limiter les effets de cette polyexposition.

2022-2025

Analyse de données assemblées pour l'étude des polyexpositions professionnelles

■ Frédéric CLERC

Département métrologie des polluants

■ Thèse de doctorat : Cassandra BARBEY

EHESP – Nathalie BONVALLOT

De plus en plus de bases de données françaises identifiant certaines pathologies, populations et expositions sont accessibles. Des études utilisant une ou plusieurs bases de données pour étudier 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 déroule 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 est envisagé.

2022-2025

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

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

■ Thèse de doctorat : Reshad FANTELLI
 Inrae – Céline DELBES

■ Fabrice BATAIS et Sandrine JACQUENET
 Département toxicologie et biométrie

Les objectifs de ce projet sont d'étudier les polyexpositions biologiques et chimiques potentielles des salariés d'entreprises fromagères où des allergies professionnelles ont été identifiées. Il s'agit également de caractériser des allergènes présents dans l'atmosphère des lieux de travail ainsi que le potentiel sensibilisant de l'environnement de travail. Le projet vise aussi à analyser les moyens de prévention disponibles, notamment la ventilation, en vue de proposer des pistes d'amélioration pour réduire l'exposition des travailleurs.

Les résultats permettront une meilleure identification des substances présentes ainsi que leur quantification, en lien direct avec l'activité des salariés et la proposition de mesures de prévention adaptées.

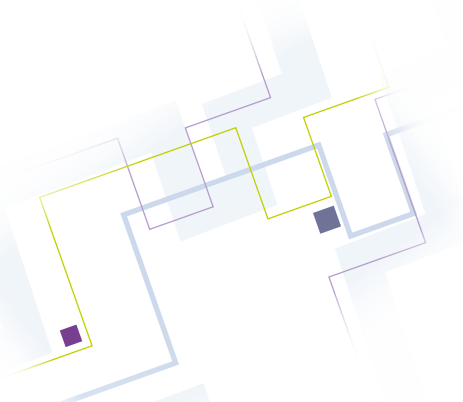


2024-2026

Développement d'objets intermédiaires comme ressources de compréhension et de prévention des situations de co-exposition

■ Nathalie JUDON
 Département sciences appliquées au travail et aux organisations

L'objectif d'une meilleure connaissance de la polyexposition représente un défi majeur pour l'ensemble des acteurs de la prévention en santé au travail. Cette étude s'intéresse aux cas avec coexistence d'une charge physique et d'une exposition à des substances chimiques. Il s'agit de caractériser les déterminants de ces situations de co-exposition, via un couplage de données de mesures physiologiques et de concentration en polluant. Les observations en temps réel de situations de travail sont rassemblées et synchronisées pour mieux connaître les déterminants de co-expositions dont pourraient s'emparer les acteurs de l'entreprise à des fins de prévention. Une méthodologie est ainsi élaborée. Elle vise à faciliter, à partir d'éléments objectifs et subjectifs issus des situations de co-exposition, la mise en discussion entre les différentes parties prenantes, dans une démarche participative. Son caractère opérationnel en matière de prévention sera éprouvé.



➔ Technologies numériques et impacts organisationnels

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

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

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

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

»» OBJECTIFS D'ÉTUDES

- **ÉVALUER LES CONSÉQUENCES DE L'ÉVOLUTION DES SYSTÈMES D'INFORMATION** : L'évolution des systèmes d'information et de leurs usages impacte les organisations de travail, en matière de risques pour la santé, et en particulier de risques psychosociaux. Des travaux sont élaborés sur les expositions et les ressources associées aux nouvelles situations de travail. En effet, dans la mesure où l'évolution des technologies du numérique tend à modifier l'interface (distanciation, voire virtualisation) entre l'opérateur et son environnement, orienter ses décisions – voire automatiser le processus décisionnel – celle-ci va impacter la nature et les exigences de la tâche (ressources attentionnelles), mais également l'autonomie du travailleur, sa responsabilité, sa confiance dans le système (fiabilité des informations, explicabilité des traitements réalisés), ou encore impacter le fonctionnement, l'activité du collectif et l'organisation du travail.
- **ÉVALUER LES RISQUES SPÉCIFIQUES DE LA NUMÉRISATION ACCRUE DES INTERFACES DE COMMUNICATION** : Si les risques « machines » n'apparaissent a priori pas directement modifiés par le développement numérique des interfaces, de nouveaux risques de sécurité peuvent en revanche découler d'un dysfonctionnement dans la communication des flux de données et font l'objet d'études spécifiques.
 - Comment réagit le système technique en cas de coupure de communication ?
 - Comment réagit l'opérateur qui pilote un système technique à distance de la réalité physique ?D'autres questions de sécurité sont investiguées comme pouvant être liées à d'éventuels problèmes de représentativité du système numérisé par rapport au système réel.



2020-2023

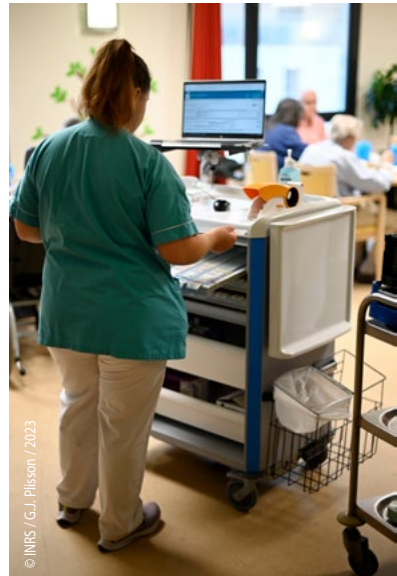
Usages et représentations des logiciels de soins dans les Ehpad : contraintes et opportunités pour la prévention des TMS/RPS du personnel soignant

■ Aude CUNY et Marjorie PIERRETTE

Département sciences appliquées au travail et aux organisations

À 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.



© INRS / G.J. Plisson / 2023

➔ Perturbateurs endocriniens

Les pathologies suspectées d'être associées à des expositions aux perturbateurs endocriniens en milieu de travail sont celles touchant l'appareil reproducteur, le développement de l'enfant, les maladies cardiovasculaires, les troubles métaboliques (obésité, diabète, pathologies thyroïdiennes), ainsi que les cancers hormonodépendants.

Les perturbateurs endocriniens font l'objet de préoccupations sociétales croissantes, qui mènent à des évolutions réglementaires au niveau national et communautaire. En parallèle, les expositions professionnelles aux perturbateurs endocriniens, qui peuvent également être nombreuses, nécessitent une surveillance accrue. Or la prévention de ces risques est confrontée à trois défis majeurs :

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

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

»» OBJECTIFS D'ÉTUDES

■ **ACQUÉRIR UNE MEILLEURE CONNAISSANCE DES SITUATIONS PRÉOCCUPANTES** : Les secteurs concernés par les expositions professionnelles sont, en l'état actuel des connaissances, la chimie, la plasturgie, l'électronique, le bâtiment, le nettoyage, l'entretien des espaces verts, la dépollution des sols et le traitement des déchets, l'agroalimentaire et la cosmétique.

L'INRS s'appuiera sur des études de filières pour identifier les perturbateurs endocriniens utilisés actuellement ou dans un futur proche, ainsi que de campagnes de mesures pour évaluer les niveaux d'exposition en entreprises. L'existence de listes au niveau communautaire ou national rendra ce travail plus facilement accessible.

■ **MENER DES RECHERCHES SUR LES EFFETS ENGENDRÉS PAR CES SUBSTANCES, ASSOCIÉES À UNE ANALYSE DES EXPOSITIONS** : Selon les résultats obtenus suite aux campagnes de mesures conduites sur le terrain, des solutions de prévention spécifiques seront proposées et un transfert des connaissances sera développé et assuré notamment via des actions de sensibilisation, la conception de supports d'information, des actions d'assistance et de formation de l'ensemble des acteurs de la prévention.



2018-2023

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

■ Dieynaba NDIAYE

Département toxicologie et biométrie

Exposé des motifs et objectifs

L'exposition aux perturbateurs endocriniens (PE) constitue une préoccupation en santé au travail et particulièrement dans le domaine de la coiffure, en raison de l'utilisation de produits cosmétiques susceptibles de contenir une ou plusieurs substance(s) ayant potentiellement des effets sur le système endocrinien associé à la reproduction. Bien que la réglementation prenne de plus en plus en compte la présence de PE en milieu professionnel, le besoin de données toxicologiques concernant la dangerosité des agents chimiques seuls ou en mélange est prégnant. Pour cela, l'utilisation de tests mettant en œuvre des lignées cellulaires est encouragée car considérée comme une approche prédictive alternative, ou tout du moins complémentaire de l'expérimentation animale. Les objectifs de cette étude étaient donc :

- de mettre en place des tests *in vitro* reconnus internationalement pour l'identification des PE pour la reproduction ;
- d'utiliser les tests une fois validés, pour caractériser les effets PE d'agents chimiques présents dans les cosmétiques ;
- d'évaluer leur pertinence pour la détermination de l'effet de substances chimiques en mélange « modèle » puis un mélange représentatif d'une exposition professionnelle.



Démarche

L'évaluation de l'effet d'agents chimiques sur la production des hormones stéroïdiennes, testostérone et œstradiol, a été réalisée dans les cellules humaines H295R selon le test décrit dans la ligne directrice de l'OCDE LD 456.

La mesure de ces hormones a été réalisée par la méthode de dosage immuno-enzymatique Elisa. L'étude de l'activation (effet agoniste) ou de l'inhibition (effet antagoniste) des récepteurs de la testostérone (LD 458) ou de l'œstradiol (LD 455) a été réalisée par luminométrie. Une fois ces essais validés, ils ont été utilisés pour étudier les effets PE d'agents chimiques utilisables comme filtres UV ou conservateurs dans les produits cosmétiques. La pertinence de ces essais *in vitro* pour l'étude des effets de mélanges a été évaluée en réalisant le mélange de deux molécules ayant des effets toxicologiques comparables dans au moins deux des tests utilisés dans cette étude et en comparant les effets à ceux des molécules seules.



Résultats principaux

Après leur validation avec des molécules de référence, les trois tests ont été utilisés pour évaluer le profil toxicologique d'une vingtaine de molécules utilisables en cosmétique. Les résultats ont montré qu'aucune de celles testées n'inhibait la production des hormones stéroïdiennes, à l'exception du climbazole, un antifongique longtemps utilisé en tant qu'antipelliculaire ou conservateur. De plus, en ce qui concerne l'activité du récepteur aux androgènes, un effet antagoniste a été montré pour le climbazole, le triclosan et les butyl et propyl parabènes. Par contre le climbazole était le seul composé à avoir un effet antagoniste sur l'activité du récepteur aux œstrogènes.

Pour répondre au troisième objectif de l'étude, un mélange « modèle » de deux molécules toxicologiquement comparables (dont le climbazole) a donc été utilisé pour évaluer la capacité des tests à analyser les effets des mélanges. Le bisphénol A, connu comme perturbateur endocrinien diminuant la production de testostérone et inhibant l'activité du récepteur aux androgènes, a été choisi comme seconde molécule.

Bien que le mélange des deux molécules soit toxiques pour les modèles cellulaires, son effet était inférieur à la somme de ceux des molécules seules. Les résultats semblent montrer que ces molécules entrent en compétition au niveau de leurs cibles moléculaires conduisant à des effets moindres en mélange que ceux attendus en cas d'additivité des toxicités.

Discussion

L'INRS dispose dorénavant de trois tests *in vitro* fiables pour étudier les effets PE d'agents chimiques. Les résultats obtenus grâce à eux suggèrent que, malgré le manque d'exhaustivité de la liste des agents testés et l'obligation de prudence, nombre de molécules présentes dans les produits cosmétiques ont des effets de perturbateurs endocriniens limités. Ils suggèrent également que réglementation sur les cosmétiques est à l'origine d'une diminution de l'emploi de molécules potentiellement perturbateurs endocriniens. Par ailleurs, ces travaux indiquent que les essais *in vitro* mis en œuvre sont performants pour étudier les effets d'agents chimiques en mélange, ici le climbazole et le bisphénol A. Ils montrent également que seule l'expérimentation permet de mettre en évidence la nature de l'interaction toxicologique entre deux molécules. Bien que l'additivité des effets soit à considérer, *a priori* elle n'est pas nécessairement la règle. Ces tests sont d'ores et déjà mis en œuvre dans l'étude sur la détermination du profil toxicologique de mélanges complexes que sont les fluides de coupe hydrosolubles utilisés pour de l'usinage.

Cette étude a fait l'objet d'un projet de publication scientifique et de communications dans un congrès de toxicologie et lors d'une journée thématique INRS sur le thème des polyexpositions.





2020-2023

Passage percutané du bisphénol S et modélisation

■ Fabrice MARQUET et Lisa CHEDIK

Département toxicologie et biométrie

Exposé des motifs et objectifs

Le bisphénol S (BPS) est l'un des principaux substituts du bisphénol A (BPA), notamment dans les papiers thermiques. Il provoque des effets indésirables comparables à ceux du BPA : effets sur la reproduction, la glande mammaire, le métabolisme, risques accrus de cancer et de maladies cardiovasculaires. L'absorption cutanée est la principale voie d'exposition dans le cas de manipulation de papiers thermiques. Cette étude proposait une triple approche : *in vitro* pour approfondir les connaissances de l'absorption cutanée du BPS, *in vivo* chez le rat pour étudier son passage percutané dans des conditions dynamiques, et *in silico* pour développer un modèle toxicocinétique à base physiologique (modèle PBTK) à partir des données recueillies *in vivo* et *in vitro*.

Démarche

Les expérimentations *in vitro*, *in vivo* et celles dédiées à la toxicocinétique ont été réalisées selon les recommandations de l'Organisation de coopération et de développement économiques.

In vitro, les expérimentations ont été réalisées en utilisant des cellules à diffusion, type cellules de Franz, avec des échantillons de peau humaine (provenant de chirurgie plastique) et de peau de rat. Trois véhicules ont été utilisés pour solubiliser et déposer le BPS, mimant chacun un scénario d'exposition réaliste. *In vivo*, le BPS a été administré par voie intraveineuse (voie de référence) ou par voie percutanée chez des rats afin d'obtenir les données nécessaires à l'établissement du modèle toxicocinétique.

Résultats principaux

Quel que soit le véhicule utilisé, l'absorption cutanée *in vitro* du BPS sur peau humaine se poursuit au-delà du lavage de la peau à partir du réservoir constitué par la peau (30 à 60 % de la dose déposée). Lorsque la zone de dépôt est en occlusion, le flux d'absorption du BPS, solubilisé dans l'eau ou l'acétone, augmente d'un facteur 4 à 6.

Après administration intraveineuse, le BPS est rapidement métabolisé et éliminé, principalement au niveau des urines sous forme de métabolites glucurono- et sulfo-conjugués. Après une exposition cutanée continue de 8 ou 24 heures, près de la moitié du BPS déposé persiste dans la peau. L'élimination principale se fait par les urines (60-70 %) sous forme de BPS-glucuronide avec un pic d'excrétion entre 8 et 24 heures. Les concentrations plasmatiques très faibles n'ont pas permis de déterminer les paramètres toxicocinétiques indispensables au développement du modèle PBTK.

Discussion

Il a été montré dans cette étude qu'à la fin d'une exposition externe, une quantité importante de BPS est retrouvée au niveau de la peau, notamment dans la couche cornée. Bien qu'une partie puisse être éliminée par la desquamation de la peau, celle-ci peut également servir de réservoir potentiel, permettant la diffusion continue du BPS dans l'organisme, longtemps après le nettoyage de la peau. De plus, l'occlusion, du fait par exemple du port de gants ou de vêtements de protection sur une peau précédemment exposée, peut augmenter l'absorption percutanée du BPS. En évaluation des risques en milieu professionnel, il est donc primordial de prendre en compte ces facteurs afin d'éviter une sous-estimation de l'exposition réelle.



2021-2025

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

■ Marie-Thérèse LECLER et François ZIMMERMANN

Département ingénierie des procédés

■ Williams ESTÈVE

Département métrologie des polluants

Les plastiques des équipements électriques et électroniques contiennent des retardateurs de flammes (RF) pour répondre aux normes d'inflammabilité. Ces composés suscitent des inquiétudes en matière de santé au travail ; certains sont considérés comme des perturbateurs endocriniens, voire des 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'agit de comprendre les mécanismes d'émission des RF dans l'atmosphère et d'étudier les facteurs qui influencent ces émissions pour proposer des solutions de prévention.

2022-2025

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

■ Romain PONS et Anca RADAUCEANU

Département épidémiologie en entreprise

■ Amandine ERB

Département toxicologie et biométrie

La France compte environ 63 000 salons de coiffure, soit 180 000 professionnels, principalement des femmes. Elles peuvent être exposées à divers perturbateurs endocriniens (PE), dont le résorcinol, qui est utilisé dans des colorations capillaires et est susceptible de perturber le fonctionnement de la thyroïde. L'objectif de cette étude est d'analyser la relation entre l'exposition professionnelle au résorcinol et la concentration en hormones thyroïdiennes mesurée dans le sang, en tenant compte de l'exposition à d'autres PE. 450 femmes (300 coiffeuses et 150 salariées non exposées) seront recrutées lors d'une visite médicale de santé au travail et suivies pendant une semaine de travail. L'exposition professionnelle est 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.



© INRS / G. Barroil / 2018

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

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

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

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

»» OBJECTIFS D'ÉTUDES

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

2022-2025

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

■ Maxime VAUFLEURY

Département ingénierie des procédés

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



2024-2027

Potentiel transformant et génotoxique de nanoparticules d'oxydes de terres rares

■ Yves GUICHARD et Laurent GATE

Département toxicologie et biométrie

Certaines nanoparticules d'oxydes de terres rares (NOT) sont utilisées dans la fabrication d'appareils électriques ou électroniques, nécessaires à la transition énergétique. La difficulté d'approvisionnement de ces matériaux a encouragé le recyclage des déchets électriques et électroniques, dont les procédés pourraient exposer les salariés aux NOT, dont les connaissances sur les propriétés toxicologiques restent parcellaires. L'objectif de l'étude est d'évaluer le potentiel transformant et génotoxique *in vitro* de cinq NOT utilisées dans la fabrication d'appareils électriques et électroniques : les nanoparticules d'oxyde d'yttrium, d'oxyde de néodyme, d'oxyde de gadolinium, d'oxyde d'erbium et d'oxyde de lanthane. Cette étude pourrait apporter une base de connaissances toxicologiques afin de mieux appréhender le danger que pourrait représenter une exposition professionnelle à ces nanomatériaux, potentiellement présents sur les sites de recyclage.



COMMISSION SCIENTIFIQUE DE L'INRS

(Composition au 31 octobre 2024)

L'INRS est doté d'une commission indépendante qui assure l'expertise de ses travaux scientifiques et techniques.

Celle-ci est chargée d'évaluer la pertinence et la validité des études conduites par l'Institut. Cette commission comprend des personnalités particulièrement compétentes et reconnues dans les domaines disciplinaires de l'INRS.

Les membres de cette commission scientifique accompagnent chaque opération nouvelle et en suivent le déroulement jusqu'à la clôture, en étroite collaboration avec les spécialistes de l'INRS.

Président

David VERNEZ	Unisanté, Université de Lausanne (Suisse) – Département santé, travail et environnement (DSTE)
--------------	--

Vice-présidente

Laurence LE COQ	Ecole nationale supérieure Mines-Télécom Atlantique Bretagne Pays de la Loire – IMT Atlantique. Gepea : Génie des procédés, environnement, agroalimentaire (UMR CNRS 6144)
-----------------	--

Autres membres

Vincent BONNETERRE	CHU Grenoble Alpes – Service hospitalo-universitaire de médecine et santé au travail – UMR 5525 Université Grenoble Alpes
Sandrine CAROLY	Université de Grenoble Alpes – Laboratoire Pacte UMR 5194
Barbara CHARBOTEL	UMRESTTE (UMR T 9405), CHU de Lyon Université Gustave Eiffel
Élodie DEQUAIRE	Centre technique des industries mécaniques (Cetim Centre-Val de Loire)
Alexis D'ESCATHA	IRSET Equipe Ester, Faculté de santé CHU Angers / Université d'Angers / Inserm
Raphaël DUMAS	Laboratoire de biomécanique et mécanique des chocs (LBMC UMR T9406) – Université Gustave Eiffel, Lyon
Philippe GERARDIN	Lermab (Laboratoire d'études et de recherches sur le matériau bois). EA 4370 de l'Université de Lorraine. Unité sous contrat de l'Inrae, Lyon
Nicolas GILLET	Université de Tours, Département de psychologie « Qualité de vie et santé psychologique »
Sylvie GRANON	Institut NeuroPSI – UMR9197 CNRS Université Paris-Saclay – Campus Cea Saclay
Benoît IUNG	Centre de recherche en automatique de Nancy (CRAN). UMR 7039 Université de Lorraine/ CNRS
Saadia Kerdine-Römer	Faculté de Pharmacie Inserm UMR-996 & Toxicologie, Université Paris-Saclay
Sophie LANGOUET	Institut de recherche en santé, environnement et travail (UMR Inserm 1085) Université de Rennes 1 – Campus Santé
Pierre LE CANN	École des hautes études en santé publique, Rennes

Arnaud MIAS	Institut de recherche interdisciplinaire en sciences sociales (Irisso, UMR CNRS Inrae) Université Paris-Dauphine
Judicaël PICAUT	UMR d'acoustique environnementale (UMRAE) Cerema – Université Gustave Eiffel
Valérie PICHON	Institut chimie biologie innovation. UMR (CNRS, PSL Université) Laboratoire « Sciences analytiques, bioanalytiques et miniaturisation » (LSABM). UMR 8231 (CNRS-ESPCI)
Christophe VIAL	Institut Pascal (UMR 6602 de l'Université Clermont Auvergne et du CNRS).

GROUPES DE SUIVI

Pour couvrir l'étendue des disciplines présentes à l'INRS, la commission scientifique s'appuie sur des sous-commissions, appelées groupes de suivi. Au nombre de six, chaque groupe est relié, par domaine de compétences, 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 Grenoble Alpes – Service hospitalo-universitaire de médecine et santé au travail – UMR 5525 Université Grenoble Alpes
Barbara CHARBOTEL	UMRESTTE (UMR T 9405), CHU de Lyon – Université Gustave Eiffel
Marie CLERE	Présanse Centre-Val de Loire
Alexis D'ESCATHA	Irset Equipe Ester, Faculté de santé CHU Angers / Université d'Angers / Inserm
Frédéric MAUNY	Laboratoire chrono-environnement – Inserm Cic-uMeth 1431 – UMR 6249 CNRS – La Bouloie UFR Sciences et techniques

Membres du groupe de suivi département sciences appliquées au travail et aux organisations

Marie BENEDETTO-MEYER	Dares – Université Versailles St-Quentin – UFR des sciences sociales
Christophe BONNAUD	Carsat Auvergne – Département risques professionnels
Laurent BOSQUET	Université de Poitiers – Laboratoire Move
Sandrine CAROLY	Université de Grenoble-Alpes (UGA). Laboratoire Pacte UMR 5194
Nicolas DECHY	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire – Pôle sûreté nucléaire – Département des facteurs organisationnels et humains
Raphaël DUMAS	Laboratoire de biomécanique et mécanique des chocs (LBMC UMR T9406) – Université Gustave Eiffel, Lyon
Alain GARRIGOU	Inserm U1219 Equipe Epicene – Université de Bordeaux 1

Jérémie GAVEAU	Inserm U1093, Université de Bourgogne-Franche-Comté, Institut Marey laboratoire Caps
Nicolas GILLET	Université de Tours, Département de psychologie "Qualité de vie et santé psychologique"
Maria GONZALEZ	Service de pathologie professionnelle et de médecine du travail – Pôle santé publique – santé travail – Hôpital Universitaire de Strasbourg
Pascal MADELEINE	ExerciseTech – Department of Health Science and Technology Aalborg University – Denmark
Arnaud MIAS	Institut de recherche interdisciplinaire en sciences sociales (Irisso, UMR CNRS Inrae) Université Paris-Dauphine
Michel NIEZBORALA	Prevaly – Prévention Santé travail, Toulouse
Valérie SAINT-DIZIER	Laboratoire lorrain de psychologie et neurosciences de la dynamique des comportements – Université de Lorraine

Membres du groupe de suivi département ingénierie des équipements de travail

Gaël CHEVALLIER	Institut Femto-ST, Université Franche Comté, Département mécanique appliquée
Arnaud DELAMEZIERE	Institut supérieur d'ingénierie de la conception – LEM3 UMR 7239 – Université de Lorraine – CNRS
Élodie DEQUAIRE	Centre technique des industries mécaniques (Cetim), Centre Val de Loire
Jacques FELBLINGER	U 1254 Inserm. Unité imagerie adaptative diagnostique et interventionnelle. IADI. Université de Lorraine
Emmanuel FOLTETE	UMR 6174 CNRS/UFC/UTBM/ENSMM Institut Femto-ST. Département mécanique appliquée
Benoît IUNG	Centre de recherche en automatique de Nancy (Cran). UMR 7039 Université de Lorraine/CNRS
Agnès JANES	Carsat Hauts-de-France – Centre de mesures physiques – Direction de la santé au travail et des risques professionnels
Franck LOMBARD	Carsat Centre Val de Loire – Département risques professionnels
Gilles PARENT	UMR 7563 CNRS/Université de Lorraine. Laboratoire énergies et mécanique théorique et appliquée (Lemta)
Judicaël PICAUT	UMR d'acoustique environnementale (UMRAE) Cerema – Université Gustave Eiffel
Jean-Claude SAGOT	Pôle ergonomie et conception des Systèmes, laboratoire ELLIADD (E.A. 4661), UBFC-UTBM
Véronique ZIMPFER	Institut franco-allemand de recherches de St-Louis
Peggy ZWOLINSKI	CNRS, Grenoble INP – Université Grenoble-Alpes – Laboratoire G-Scop

Membres du groupe de suivi département ingénierie des procédés

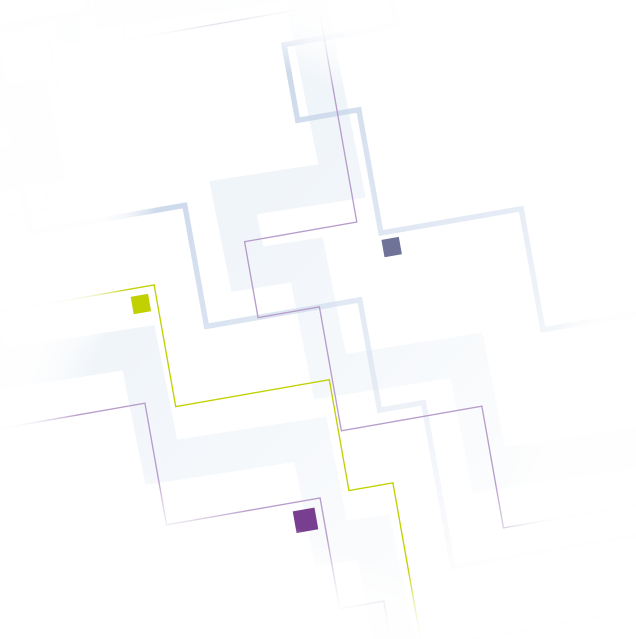
Laurent FALK	Laboratoire réactions & génie des procédés (UMR CNRS 7274) – Université de Lorraine LRGP Campus Ensic
Marie-Christine FOURNIER-SALAU	Laboratoire de sécurité des procédés chimiques – Université de Rouen
Philippe GERARDIN	Lermab (Laboratoire d'études et de recherches sur le matériau du bois) – EA 4370 de l'Université de Lorraine. Unité sous contrat de l'Inrae
Pierre LAMBERT	Carsat Aquitaine – Département des risques professionnels
Laurence LE COQ	Ecole nationale supérieure Mines-Télécom Atlantique Bretagne Pays de Loire – IMT Atlantique – Gepea : Génie des procédés, environnement, agroalimentaire (UMR CNRS 6144)
Michel LEBRUN	Carsat Auvergne – Centre interrégional de mesures physiques
Fabrice LERAY	Carsat Pays de la Loire – Département risques professionnels
Agus RIDWAN	Cetiat – Pôle systèmes aérauliques & ventilation
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 – Ensm. Université de Poitiers
Benoît TROUETTE	Laboratoire modélisation et simulation multi échelle (MSME), UMR 8208. Université Gustave Eiffel
Christophe VIAL	Institut Pascal (UMR 6602 de l'Université Clermont Auvergne et du CNRS)
Dominique WOLBERT	Ecole nationale supérieure de chimie, UMR 6226 CNRS / UR1 / ENSR / Insa, Institut des sciences chimiques de Rennes

Membres du groupe de suivi département métrologie des polluants

Delphine BARD	Laboratoire "Health and Safety Laboratory" Science Division Harpur Hill (Royaume-Uni)
Denis BOULAUD	Association française d'études et recherches sur les aérosols
Christine BOUST	Carsat Normandie – Laboratoire Interrégional de Chimie
Martine CHOUVET	Institut technique des gaz et de l'air – Laboratoire Prysm d'Algade – Technopole le Polygone
Evelyne GEHIN	EA 3481 Université Paris Est - Créteil ; Centre d'études et de recherche en thermique environnement et systèmes (Certes)
Jérôme LAVOUE	Ecole de santé publique – Université de Montréal (Canada)
Pierre LE CANN	Ecole des hautes études en santé publique (EHESP), Rennes
Valérie PICHON	Institut chimie biologie innovation – UMR (CNRS, PSL Université) Laboratoire « Sciences analytiques, bioanalytiques et miniaturisation » (LSABM) – UMR 8231 (CNRS – ESPCI)
David VERNEZ	Unisanté – Université de Lausanne (Suisse) – Département santé, travail et environnement (DSTE)

Membres du groupe de suivi département toxicologie et biométrie

Benoît ATGÉ	AHI 33 – Service de santé au travail – Université de Bordeaux
Anna BENCSIK	Anses site de Lyon
Carine BOSSENMEYER-POURIE	U 1256 Inserm/Université de Lorraine. Nutrition génétique et exposition aux risques environnementaux. NGERE
Arnaud BRUYERE	Irset UMR 1085/Université de Rennes 1, UFR pharmacie
Stéphanie GRANDEMANGE	UMR 7039 CNRS/ Université de Lorraine – Centre de recherche en automatique de Nancy (Cran)
Sylvie GRANON	Institut NeuroPSI – UMR9197 CNRS Université Paris-Saclay – Campus Cea Saclay
Nancy HOPF	Unisanté – Université de Lausanne (Suisse) – Département santé, travail et environnement (DSTE)
Saadia KARDINE-RÖMER	Inserm UMR 996 et Toxicologie, Université Paris-Saclay, Faculté de pharmacie
Sophie LANGOUET	Institut de recherche en santé, environnement et travail (UMR Inserm 1085) Université de Rennes 1
Julie VONARX	APST18 – Service de prévention & santé au travail de Bourges



PUBLICATIONS 2023

➔ Prévention des risques biologiques

■ RISQUE ALLERGIQUE

Revue française d'allergologie

■ BATAIS P., JACQUENET S., LECHÈNE S., DUQUENNE P., BATAIS F. – Actualités sur les polyexpositions dans les fromageries: agents chimiques et biologiques en présence et caractérisation des allergènes à risque pour les salariés. *Octobre 2023, Vol. 63, numéro 6.*

CFA2023 – 18^e Congrès francophone d'allergologie, 25-28 avril 2023, Paris, France

■ LECHÈNE S., BATAIS P., DUQUENNE P. – Contribution de la mesure temps réel et de la simulation numérique à l'étude des émissions particulaires et gazeuses dans une cave d'affinage de fromages. *Actes p. 54.*

■ RISQUE TOXINIQUE

Archives of Toxicology

■ LOURO H., VETTORAZZI A., LOPEZ DE CERAIN A., SPYROPOULOU A., SOLHAUG A., KRUSE FAESTE C., NDIAYE D., SPILIOTI E., VARGA E., DUBREUIL E., SNAPKOW I., HENRI J., SANDERS J., MACHERA K., GATÉ L., LE HEGARAT J., NOVAK M., M. SMITH N., KRAPF S., HAGER S., FESSARD V., KOHL Y., JOAO SILVA M., DIRVEN H., DIETRICH J., MARKO D. – Hazard characterization of *Alternaria* toxins to identify data gaps and improve risk assessment for human health. (Caractérisation des dangers liés aux toxines d'*Alternaria* afin d'identifier les lacunes en matière de données toxicologiques et d'améliorer l'évaluation des risques pour la santé humaine). *2024, Vol. 98, pp. 425-469.*

Plos One

■ DIVARET-CHAUVEAU A., FOUCAUD L., DEMOULIN B., TESTON C., LOISON P., LE CANN P., SCHWEITZER C., DE CARVALHO BITTENCOURT M., MAUNY F., DEMOULIN-ALEXIKOVA S. – Early exposure to farm dust in an allergic airway inflammation rabbit model: Does it affect bronchial and cough hyperresponsiveness?. (Exposition précoce à la poussière de ferme dans un modèle d'inflammation des voies respiratoires chez le lapin: affecte-t-elle l'hyperréactivité bronchique et la toux ?). DOI 10.1371/journal.pone.0279498

Water, Air and Soil Pollution

■ LOISON P., SIMON X., DUQUENNE P. – Measuring of Airborne Endotoxins: What Is Known About the Influence of Filter Media? (Mesure des endotoxines en suspension dans l'air : Que sait-on de l'influence de la nature du filtre ?). 2023, 234:168.

➔ Prévention des risques chimiques

■ OBJECTIFS GÉNÉRAUX : DÉVELOPPEMENT DE MÉTHODES

Science of the Total Environment

■ SHARMA B., SARKAR S., BAU S. – Understanding population exposure to size-segregated aerosol and associated trace elements during residential cooking in northeastern India: implications for disease burden and health risk. (Comprendre l'exposition de la population aux aérosols et aux éléments associés pendant la cuisson résidentielle dans le nord-est de l'Inde : implications pour la morbidité et les risques pour la santé). 2023, Vol. 875, 162539.

Environmental Pollution

■ SHARMA B., MAO J., JIA S., SHARMA S., MANDAL T., BAU S., SARKAR S. – Size-distribution and driving factors of aerosol oxidative potential for solid fuel-based residential cooking in northeastern India. (Distribution de la taille et facteurs déterminants du potentiel oxydatif des aérosols pour la cuisine résidentielle à base de combustibles solides dans le nord-est de l'Inde). 2023, Vol. 343.

Talanta

■ MELCZER M., JIMENEZ LAMANA J., HANSER O., NDAW S., LOBINSKI R. – Multielement analysis of single red blood cells by single cell – inductively coupled plasma tandem mass spectrometry. (Analyse multiélémentaire des globules rouges en "single cell" par spectrométrie de masse à plasma couplé induit). DOI: 10.1016/j.talanta.2023.125226

Frontiers in Public Health

■ GUSEVA-CANU I., BOVIO N., ARVEUX P., BULLIARD J., FOURNIER E., GERMANN S., KONZELMANN I., MASPOLI M., RAPITI E., GRZÉBYK M. – Breast cancer and occupation: non-parametric and parametric net survival analyses among Swiss women (1990–2014). (Cancer du sein et profession : analyses non paramétriques et paramétriques de la survie nette chez les femmes suisses (1990-2014)). 5 avril 2023. DOI:10.3389/fpubh.2023.1129708

■ AACHIMI A., MARC F., BONVALLOT N., CLERC F. – Seirich: a control-banding method and software for chemical risk assessment in occupational settings. (Seirich : une méthode et un logiciel pour l'évaluation des risques chimiques en milieu de travail). DOI: 10.3389/fpubh.2023.1282668

Environmental Science: Processes & Impacts

■ DAZON C., BAU S., PAYET R., FIERRO V., WITSCHGER O. – Towards a surface metric to measure the dustiness of nanomaterial powders. (Vers un indice de pulvéulence en surface pour les poudres de nanomatériaux). 2023, Vol. 25, pp. 670-679.

Safety and Health at Work (SH@W)

■ GALEY L., AUDIGNON S., BROCHARD P., DEBIA M., LACOURT A., LAMBERT P., LE BIHAN O., MARTINON L., BAU S., WITSCHGER O., GARRIGOU A. – Strategies to assess occupational exposure to airborne nanoparticles: systematic review and recommendations. (Stratégies d'évaluation de l'exposition professionnelle aux nanoparticules en suspension dans l'air : revue systématique et recommandations). June 2023, Vol. 14, Issue 2, pp. 163-173.

Annals of Work Exposures and Health

■ CABASET E., MARCHAL M., SANTANDRÉA A., HERBINET O., BÉLUT E., LECHÈNE S., MARSTEAU S., LECLERC J.P. – Validation of krypton as a new tracer gas for the standardization tests of collective and individual protection systems. (Validation du krypton comme nouveau gaz traceur pour les tests de normalisation des systèmes de protection collective ou individuelle). 2023, Vol. 68, Numéro 1, pp 86-96.

Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft

■ BAU S., PAYET R., WITSCHGER O., AUDIGNON S., GALEY L. – Real-time measurement of personal exposure to airborne nano-objects with the DiSCmini. Part 1 — working principle and laboratory performances. (Mesure en temps réel de l'exposition personnelle aux aérosols de nano-objets avec le DiSCmini. Partie 1 — Principe de fonctionnement et performances au laboratoire). 2023, n°83, pp. 83-87.

■ MÖHLMANN C., BAU S., GASSE B., PAYET R., WITSCHGER O., AUDIGNON S., GALEY L. – Real-time measurement of personal exposure to airborne nano-objects with the DiSCmini. Part 2 — Application Examples of the DiSCmini. (Mesure en temps réel de l'exposition personnelle aux aérosols de nano-objets avec le DiSCmini. Partie 2 — Exemples d'applications du DiSCmini). 2023, Vol 83, n° 07-08, pp. 143-148.

MATEC Web of Conferences

■ BAU S., RASTOIX O., DAZON C., BARDIN-MONNIER N. – Prise en compte de la polydispersion dans la détermination du diamètre équivalent des particules constitutives à partir de la surface spécifique en volume. DOI 10.1051/mateconf/202337901008

Base de données ouverte : entrepot.recherche.data.org

■ CHÉDIK L., SHAMKHAL B., MARCOU G., COSNIER F., MOUROT M., JACQUENET S., VARNEK A., BATTAIS F. – Replication data for "Benchmarking of BMDC Assay for Identifying Sensitizing Chemicals". (Données de réplification pour « Analyse comparative de l'essai BMDC pour l'identification des produits chimiques sensibilisants »). DOI 10.57745/PPAMKY

■ CHÉDIK L., BAYBEKOV S., COSNIER F., MARCOU G., VARNEK A., CHAMPMARTIN C. – Updating Skin Permeability Data: A Systematic Review of Recent Research. (Mise à jour des données sur la perméabilité de la peau : Une revue systématique des recherches récentes). DOI 10.57745/7FHQOY

Hygiène et sécurité du travail

■ HABCHI B., RÉMY A. – La métabolomique non ciblée : un nouvel outil pour l'analyse des poly-expositions professionnelles. Juin 2023, n° 271, dc37, pp. 5-11.

■ MATERA V., GAUDEL N., BAU S. – Optimisation des prélèvements par impacteurs en cascade en vue de caractériser les émissions de particules ultrafines métalliques. Décembre 2022, n° 269, nt104, pp.34-41.

■ MATER G., ÉMILI A., SAVARY B., SAUVÉ J.F., HUMBERT A. – Comment utiliser l'outil d'évaluation des niveaux d'exposition aux substances chimiques par situation de travail ? Décembre 2023, n° 273, f36.

Références en santé au travail

■ MATER G., ÉMILI A., SAVARY B., HUMBERT A., SAUVÉ J.F. – Outil d'évaluation des niveaux d'exposition aux substances chimiques par situation de travail. Juin 2023, n°174, TM76, pp. 83-87.

■ PONS R., BOINI S., BOURGKARD E., COLIN R., DEMANGE V., RADAUCEANU A., SAMBA H. – Epidémiologie en Santé et Travail : 20^e colloque de l'ADEREST – Roubaix 20 et 21 octobre 2022. Mars 2023, n° 173, TD299, pp. 71-81.

■ CANCÉROGÈNE OU MUTAGÈNE

International Journal of Molecular Sciences

■ VALENTINO S., SEIDEL C., LORCIN M., SÉBILLAUD S., WOLFF H., GROSSMANN S., VITON S., NUNGE H., ALIISA SAARIMÄKI L., GRECO D., COSNIER F., GATÉ L. – Identification of a gene signature predictive of (nano)material-induced lung adverse outcome in rats. (Identification d'une signature génétique prédictive des effets néfastes sur les poumons induits par les (nano)matériaux chez le rat). 2023, Vol. 24, Issue 13, 23 p.

Nanotoxicology

■ BARTHEL H., SEBILLAUD S., LORCIN M., WOLFF H., VITON S., COSNIER F., GATÉ L., SEIDEL C. – Needle-like, short and thin multi-walled carbon nanotubes: comparison of effects on wild type and p53+/- rat lungs. (Nanotubes de carbone multiparois en forme d'aiguille et court et fin : comparaison des effets sur les poumons de rats de type sauvage et p53+/-). 2023, Vol. 17, n°3, pp. 270–288.

Toxicology Letters

■ LEESE E., BOCCA B., BOUSOUMAH R., CASTANO A., S GALEA K., IAVICOLI I., ESTEBAN LOPEZ M., LESOV., NDAW S., P PORAS S., RUGGIERI F., T J SCHEEPERS P., SANTONENT. – HBM4EU chromates study – The measurement of hexavalent and trivalent chromium in exhaled breath condensate samples from occupationally exposed workers across Europe. (Étude chromates (Projet HBM4EU) – Mesure du chrome hexavalent et trivalent dans des échantillons de condensat d'air exhalé provenant de travailleurs exposés professionnellement en Europe). 15 February 2023, Vol. 375, pp. 59-68.

Toxicology Letters

■ GUICHARD Y., SAVOY C., GATÉ L. – Can a 12-gene expression signature predict the cell transforming potential of tumor promoting agents in Bhas 42 cells? (Une signature d'expression de 12 gènes peut-elle prédire le potentiel transformant des agents promoteurs de tumeurs dans les cellules Bhas 42 ?). Novembre 2023, Vol. 389, n° 1 pp. 11-18.

Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics

■ JAYAKUMARI A., GILLMEIER S., RICCI A., GUICHARD R., BLOCKEN B. – Scaling effects on experimentally obtained pressures on an idealized building: possible implications for a mechanical ventilation system for asbestos removal. (Effets d'échelle sur des pressions mesurées sur un bâtiment idéalisé : influence possible sur la ventilation mécanique d'un chantier de désamiantage). 2023, Vol. 239 105442.

International Journal of Environmental Research and Public Health

■ NDAW S., RÉMY A. – Occupational Exposure to antineoplastic drugs in twelve French health care settings. Biological monitoring and Surface Contamination. (Exposition professionnelle aux médicaments anticancéreux dans douze établissements de santé français. Surveillance biologique et mesure de la contamination des surfaces). 2023, Vol. 20, n°6, 4952.

Annals of work Exposures and Health

■ BARTHEL H., SÉBILLAUD S., LORCIN M., WOLFF H., VITON S., COSNIER F., GATÉ L., SEIDEL C. – Effect of multi-walled carbon nanotube exposure on wild type and p53+/- rat lung. (Effet de l'exposition aux nanotubes de carbone multi-parois sur le poumon des rats de type sauvage et p53+/-). May 2023, Vol. 67 S1 – i69 Abstract citation ID: wxac087.164

■ SEIDEL C., SÉBILLAUD S., DARNE C., BARTHEL H., GATÉ L. – Influence of the physicochemical properties of multi-walled carbon nanotubes on their toxicity in lung cells. (Influence des propriétés physico-chimiques de nanotubes de carbone multi-parois sur leur toxicité dans des cellules pulmonaires). May 2023, Vol. 67 S1 – i69 - Abstract citation ID: wxac087.164

■ COSNIER F., SEIDEL C., VALENTINO S., SCHMID O., BAU S., VOGEL U., DEVOY J., GATÉ 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.). *May 2023, Vol. 67 S1 - i92 -Abstract citation ID: wxac087.222*

Annals of Work Exposures and Health

■ BASINASI, LIUKKONEN T., SIGSGAARD T., ANDERSEN N., VESTERGAARD J., GALEA K., VANTONGEREN M., WIGGANS R., SAVARY B., EDUARD W., KOLSTAD H., VESTED A., KROMHOUT H., SCHLUNSEN V. – Development of a Quantitative North and Central European Job Exposure Matrix for Wood Dust. (Développement d'une matrice quantitative d'exposition professionnelle en Europe du Nord et centrale pour la poussière de bois). *Juillet 2023, Vol. 67, n°6, juillet 2023, pp. 758-771.*

International Social Security Association

■ ERMER A., BENDER H., BLOCH M., BROCK T., ENGEL S., FABRIZI G., FRENZEL M., JOHNSON B., KONIGER A., KOLLER M., MARDIROSSIAN A., MATER G., MERCADANTE L., NEUWIRTH N., SANZ ROMERA J.L., SACCHETTI V., SOMMER J., VINCENT R., WEIST, WERNER S. – Management of Hazardous Substances : Practical support based on an overview of European legislation. (Management des substances dangereuses : Support pratique basé sur un aperçu de la législation européenne). *2023, n°1, ISBN 978-92-843-9132-5.*

Références en santé au travail

■ SAVARY B. – Base de données relative à la présence des cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction en milieu professionnel en France en 2020. *Mars 2023, n°173, TM74, pp. 55-59.*

■ BOUSOUMAH R., ANTOINE G., MELCZER M., CARABIN N., RÉMY A. – Évaluation de l'exposition professionnelle au chrome (VI). Approche intégrant biomarqueurs, mesures atmosphériques et cutanées. *Décembre 2023, n°176, TF314, pp. 43-52.*

Hygiène et sécurité du travail

■ SAVARY B. – Substances cancérogènes, mutagènes et reprotoxiques (CMR) en 2020 : évolution de leur utilisation en France depuis 2005. *Juin 2023, n°271, nt108, pp. 64-73.*

■ SAVARY B. – Comment consulter la base « Les CMR dans le milieu professionnel en 2020 – Données sur l'utilisation en France ». *Juin 2023, n°271, fi34, 2 p.*

■ MATER G., SAUVÉ J.F., LAMARE M., HURSTEL J., REBUFFAUD J. – Exposition professionnelle au 1,3-Butadiène : résultats d'une campagne nationale de prélèvement. *Décembre 2022, n°269, bd19, pp. 56-65.*

ICWE 2023 – 16th International Conference on Wind Engineering, 27-31 August 2023, Florence, Italy

■ KRISHNAN A., GILLMEIER S., GUICHARD R., RICCI A., BLOCKEN B. – Wind effects on mechanically ventilated asbestos containment zone. (Effets du vent sur les chantiers de désamiantage sous confinement dynamique). *Proceedings.*

IBPSA2023 – International Building Performance Simulation Association, September 4-6, 2023, Shanghai, China

■ KRISHNAN A., GUICHARD R., RICCI A., GILLMEIER S., BLOCKEN B. – On the reliability of a ventilation network tool for predicting depressurization breach in pollutant containment zones. (Fiabilité d'un outil de simulation de réseau de ventilation pour prédire la rupture de dépressurisation dans les zones de confinement). *Proceedings.*

EUROTOX 2023 – 57th Congress of the European Societies of Toxicology, 10-13 September 2023, Ljubljana, Slovenia

■ DEVOY J., SEIWERT C., NUNGE H., BONFANTI E., LAMBERT XOLIN A.M., DÉCRET M., DOUTEAU L., LORCIN M., SÉBILLAUD S., GROSSMANN S., MICHAUX S., VITON S., SEIDEL C., GATÉ L., COSNIER F. – Quantification of carbon nanotubes in biological matrices for toxicology purposes. (Mesure quantitative des nanotubes de carbone dans le poumon de rat). *Proceedings*.

■ SENSIBILISANTS / ALLERGISANTS

Contact Dermatitis

■ BATAIS F., LANGONNE I., MULLER S., MATHIOT J., COISCAUD A., AUDRY A., RÉMY A., SPONNE I., MOUROT M. – The BMDC model, a performant cell-based test to assess the sensitising potential and potency of chemicals including pre/pro-haptens. (Le modèle BMDC, un test cellulaire performant permettant d'évaluer le potentiel et la puissance de sensibilisation des substances chimiques, y compris pour les pré/pro-haptènes.). *2023 1-24*.

■ MOUROT M., LANGONNE I., BUCHHEIT M., MULLER S., COISCAUD A., MATHIOT J., JACQUENET S., BATAIS F. – Identification of the allergenic sensitizing potential of Bisphenol A substitutes used in the industry. (Identification du potentiel sensibilisant allergénique des substituts du bisphénol A utilisés dans l'industrie). *Novembre 2023, Tome 90, n° 2, pp. 169-181*.

■ PROTECTIONS INDIVIDUELLES ET COLLECTIVES

Separation and Purification Technology

■ CARDENAS C., SIGOT L., VALLIÈRES C., MARSTEAU S., MARCHAL M., LATIFI A. – Ammonia capture by adsorption on doped and undoped activated carbon: isotherm and breakthrough curve measurements. (Capture de l'ammoniac par adsorption sur du charbon actif dopé et non dopé : mesures d'isothermes et de courbes de percée). *Mai 2023, n° 313*.

■ CARDENAS C., LATIFI A., VALLIÈRES C., MARSTEAU S. – Multiscale modeling of ammonia adsorption on zinc sulfate-doped activated carbon: sensitivity analysis, parameter identification, and model validation. (Modélisation multi-échelle de l'adsorption d'ammoniac sur charbon actif dopé au sulfate de zinc : analyse de sensibilité, identification des paramètres et validation du modèle). *Juin 2023, n° 322*.

Building and Environment

■ BÉLUT E., LECHÈNE S., TROUETTE B., VINCENT S., ATALLAH G.H. – Flow and contaminant transfer at the interface of an aerodynamic containment barrier subjected to the wake of a moving obstacle. (Ecoulement et transfert de polluant à l'interface d'une barrière de confinement aérodynamique soumise au sillage d'un obstacle mobile). *2023, n° 241*.

Analyst

■ TRAD P., BLIN-SIMIAND N., JEANNEY P., PASQUIERS S., LEMAIRE J., LOUARN E., MESTDAGH H., HENINGER M. – Monitoring of n-hexane degradation in a plasma reactor by Chemical Ionization Mass Spectrometry. (Suivi de la dégradation du n-hexane dans un réacteur à plasma par spectrométrie de masse à ionisation chimique). *2023, Vol. 148, pp. 6050-6060*.

Advanced Powder Technology

■ JIMENEZ M., CARES PACHECO M., WITSCHGER O., BAU S., GÉRARDIN F., FALK V. – The effect of silica nanoparticles on the dustiness of industrial powders. (L'effet des nanoparticules de silice sur la pulvéulence des poudres industrielles). *2023, Vol. 34*.

Molecular Systems Design & Engineering

■ KARAMANIS I., DAOULI A., MONNIER H., DZIURLA M.A., MAURIN G., BADAWI M. – A systematic DFT screening of cationic faujasite-type zeolites for the adsorption of NO, NO₂ and H₂O. (Un criblage DFT systématique de zéolithes cationiques de type faujasite pour l'adsorption de NO, NO₂ et H₂O). *Mai 2023*, DOI 10.1039/d3me00044c

Journal of Occupational and Environmental Hygiene

■ SANTANDRÉA A., CHAZELET S. – Respiratory protective device: one size to fit them all? (Appareils de protection respiratoire : une taille unique pour tous ?). *2023, Vol. 20, NOS. 5–6, pp. 226–239.*

Hygiène et sécurité du travail

■ GALLAND B. – Exposition chimique à l'ouverture de conteneurs maritimes : retour sur des campagnes de mesures. *Septembre 2023, n°272, ec37, pp. 61-68.*

■ BÉLUT E., BÉMER D., GÉRARDIN F., GAUDEL N. – Abattage humide : des gouttes pour la prévention de l'exposition aux poussières. *Septembre 2023, n°272, doc41, pp. 52-58.*

■ JIMENEZ M., GÉRARDIN F., FALK V., CARES M.G. – Améliorer les propriétés d'écoulement et limiter l'empoussièrement. *Septembre 2023, n°272, doc41, pp. 37-46.*

■ LECLERC J.P., FALK V., CARES M.G. – Poudres et poussières : un large éventail de procédés et de secteurs d'activité concernés. *Septembre 2023, n°272, doc41, pp. 18-23.*

■ BAU S., FALK V., CARES M.G., MARCHAL P. – Caractérisation des propriétés comportementales des poudres : l'écoulement et la pulvéulence. *Septembre 2023, n°272, doc41, pp. 29-36.*

■ BÉMER D., BONTHOUX F., LECHÈNE S., ROUSSET D. – Réduire l'empoussièrement généré par les machines mobiles – Exemple de solutions apportées à des raboteuses de routes. *Mars 2023, n°270, nt106, pp. 66-74.*

ICMF 2023 – 11th International Conference on Multiphase Flow, 2-7 April 2023, Kobe, Japan

■ REYES E., MÉNARDT, LEMAITRE P., BÉLUT E. – Numerical study of aerosol particles collection by falling drops. (Etude numérique de la collecte des aérosols par des gouttes en chute libre). *Proceedings.*

CFA2023 – 36^e Congrès français sur les aérosols, 9-10 mai 2022, Paris, France

■ REYES E., MÉNARDT, RÉVEILLON J., LEMAITRE P., BÉLUT E. – Étude numérique de la collecte de particules d'aérosol par des gouttes en chute. Acte de congrès, DOI 10.25576/ASFERA-CFA2023-32900

■ OUF F., GAIE-LEVREL F., CHAZELET S., FAVRE G., FELTIN N., FERRÉ V., GODEFERT V., LAMBENG N., MAST J., NOIREAUX J., PACAULT S., POISSON X., WOUTERS C. – Relargage de nano-objets, leurs agrégats et agglomérats depuis les masques: ambitions et objectifs scientifiques du projet RENAAME. Présentations orale et poster. DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2023-33869

Thèse de doctorat en génie des procédés, des produits et des molécules, 16 juin 2023, Université de Lorraine, Nancy

■ JIMENEZ M. – Influence of flowability improvement of powders on its dust generation capacity. (Incidence de l'amélioration de l'écoulement d'une poudre sur sa capacité à générer un empoussièrement). *Mémoire de thèse, 201 p.*

Thèse de doctorat en chimie mécanique, matériaux physique, 20 juillet 2023, Université le Lorraine, Nancy

■ KARAMANIS I. – Optimization of nanoporous materials formulations for NOX capture by ab initio molecular modeling. (Optimisation des formulations de matériaux nanoporeux pour la capture des oxydes d'azote par modélisation moléculaire ab initio). *Mémoire de thèse*, 188 p.

Thèse de doctorat en génie des procédés « physique des plasmas », 13 décembre 2023, Université Paris-Saclay, Orsay

■ TRAD P. – Procédé de séparation membranaire et procédé d'oxydation : une association pertinente pour le traitement des COV dans l'atmosphère de travail ? *Mémoire de thèse*, 245 p.

■ SUJETS ÉMERGENTS RISQUE CHIMIQUE

Chemosphere

■ GOENT., ABBALLE A., BOUSOUMAH R., GODDERIS L., IAVISOLI I., MARIA INGELIDO A., LESOV., MULLER J., NDAW S., P PORRAS S., VERDONCK J., SANTONEN T. – HBM4EU chromates study – PFAS exposure in electroplaters and bystanders. (Étude chromates (Projet HBM4EU) – Exposition aux PFAS chez les électroplastes et les salariés à proximité). 2024, Vol. 346.

Matériaux & techniques

■ BEAL M., AZZOUAGH M.N., POURCHEZ J., BERTRAND P., CABROL E., SI-MOHAND H., KELLER F.X. – Effect of powder reuse on physical, chemical and toxicological properties of 6061-Zr aluminum alloy processed by Laser Powder Bed Fusion (L-PBF). (Effet de la réutilisation de la poudre sur les propriétés physiques, chimiques et toxicologiques de l'alliage d'aluminium 6061-Zr produit par fusion laser sur lit de poudre (L-PBF)). 2023, Vol.111, n° 1, 16 p.

Hygiène et sécurité du travail

■ KELLER F.X. – Fabrication additive: État des lieux de la prévention et perspectives. *Mars 2023*, n°270, cc39, pp. 77-80.

HDR, Sciences et ingénierie des molécules, des produits, des procédés et de l'énergie, octobre 2023, Université de Lorraine

■ GÉRARDIN F. – Prévention du risque chimique et préoccupations environnementales : un couplage entre génie des procédés, recherche socialement responsable et créativité. *Mémoire d'habilitation à diriger des recherches*, 185 p.

■ AUTRES RISQUES CHIMIQUES

Toxicology

■ TALLANDIER V., CHALANSONNET M., POUYATOS B. – Three-dimensional cultured ampullae from rats as a screening tool for vestibulotoxicity: proof of concept using styrene. (Culture en tridimensionnelle de crêtes ampullaires de rat comme outil de criblage de la vestibulotoxicité : une preuve de concept avec le styrène). 15 août 2023, Tome 495.

➔ Risques liés à l'organisation et aux situations de travail

■ CONCEPTION DES LIEUX ET SITUATIONS DE TRAVAIL

Références en santé au travail

■ GASQUERES L., GILLE S., FÉNO M., SAVESCU A. – Intervention ergonomique en prévention des risques professionnels à l'aide l'outil Mavimplant. *Juin 2023, n°174, TF307, p. 37-44.*

IFIP 2022 – 19th International Federation for Information, 10-13 July 2022, Grenoble, France

■ BEN CHAABANE A., FÉNO M., HALIN G., MOALLA F. – Building Information Model of safety requirements for spatial program validation. (Modélisation d'exigences de sécurité du bâtiment pour la validation des programmes architecturaux). *Proceedings, IFIPAICT, Vol. 667, pp. 484-494.*

ISM 2023 – 5th International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing, 22-24 november 2023, Iscte, University Institute of Lisbon, Portugal

■ FÉNO M., SAVESCU A. – Safe workplace layout design by joint analysis of workers and material flows. (Conception sûre des locaux de travail par une analyse conjointe des flux de produits et des opérateurs). *Proceedings, 9 p.*

■ SUJETS ÉMERGENTS : ORGANISATIONS DE TRAVAIL ET FORMES D'EMPLOI

Epique 2023 – 12^e colloque de psychologie ergonomique Epique, 5-7 juillet 2023, Paris, France

■ VAN DE WEERDT C., HALLER R. – Équipes autonomes et RPS : l'apport de la psycho-ergonomie pour la prévention. *Actes, pp. 483-491.*

■ HALLER R., VAN DE WEERDT C. – L'autonomisation des équipes de travail dans l'aide à domicile : enjeux psychosociaux d'une transformation de l'organisation. *Actes pp. 492-500.*

Références en santé au travail

■ DEMANGE J., GOVAERE V., AUBLET-CUVELIER A. – Retour d'expérience des services de prévention et de santé au travail dans les secteurs du transport routier de marchandises et de la logistique pendant la crise sanitaire Covid-19. *Mars 2023, n°173, TF305, pp. 17-30.*

■ MALENFER M., CLERTÉ J., DELECROIX B., AUBLET-CUVELIER A., PLANCHARD M., MARTI P., CANIVENC S., COUTROTT. – Le travail en 2040, modalités de pilotage et enjeux de santé et sécurité. *Décembre 2023, n° 176, TM78, pp.53-66.*

Hygiène et sécurité du travail

■ CLERTÉ J., MALENFER M., DELECROIX B. – État de la veille et de la prospective 2022. *Mars 2023, n° 270, vp37, pp. 91-99.*

Note scientifique et technique

■ AUNIS E. – Nouvelles formes d'emploi et d'organisation. Quels enjeux en matière de prévention des risques professionnels ? *NS 382, Mars 2023, 80 p.*

Thèse de doctorat en Médecine, 10 mai 2023, Université de Lorraine, Faculté de Médecine de Nancy

■ DEMANGE J. – Les entreprises de logistique et transport routier de marchandises face à la crise sanitaire Covid-19 : enquête sur le rôle des services de prévention et de santé au travail. *Mémoire de thèse, 68 p.*

RISQUES PSYCHOSOCIAUX

Références en santé au travail

■ DELEPINE A., PECLLET S., BOINI S., COLIN R., CUNY A., VAN DE WEERDT C. – Organisation du travail et risques psychosociaux. Les apports de la recherche. *Septembre 2023, n° 175, TD306, pp. 79-85.*

TROUBLES MUSCULOSQUELETTIQUES

Applied Ergonomics

■ SCHRØDER JAKOBSEN L., DE ZEE M., SAMANI A., DESBROSSES K., MADELEINE P. – Biomechanical changes, acceptance, and usability of a passive shoulder-exoskeleton in manual materials handling. A field study. (Changements biomécaniques, acceptation et facilité d'utilisation d'un exosquelette passif d'assistance des épaules lors de tâches de manutention manuelle. Une étude de terrain). *Juillet 2023, 10 p.*

International Journal of Environmental Research and Public Health

■ RADAUCEANU A., GRZÉBYK M., BOINI S., DZIURLA M., ATAIN-KOUADIO J.J., AUBLET-CUVELIER A. – Low back pain and upper-extremity musculoskeletal disorders in French postal workers driving light-duty vehicle for mail and parcel delivery. (Risques de lombalgies et de troubles musculo-squelettiques chez les postiers qui conduisent des véhicules légers pour les activités de messagerie). *2023, Tome 20, 2509.*

■ SCHWARTZ M., DESBROSSES K., THEUREL J., MORNIEUX G. – Biomechanical consequences of using passive and active back-support exoskeletons during different manual handling tasks. (Conséquences biomécaniques de l'utilisation de divers exosquelettes d'assistance du dos lors de différentes tâches de manutention manuelle). *July 2023, 15 p.*

Références en santé au travail

■ AUBLET-CUVELIER A., BUCHMANN W., CAROLY S., CLABAULT H., COUTAREL F., MAJOR M., PIETTE A., ROUX N., SAVESCU A., VEZINA N. – 4^e Congrès francophone sur les troubles musculosquelettiques (TMS) – Monastir, Tunisie, 8-10 novembre 2022. *Juin 2023, n°174, TD303, p. 97-111.*

Hygiène et sécurité du travail

■ CUNY A., CLAUDON L., AUBLET-CUVELIER A. – La marge de manœuvre dans la démarche de prévention des TMS : de quoi s'agit-il ? Comment l'intégrer ? *Mars 2023, n° 270, dc36, pp. 5-10.*

Thèse de doctorat en psychologie du travail et ergonomie, octobre 2022, Université Grenoble Alpes

■ SCHOOSE C. – De l'ébarbage traditionnel à l'usage d'un cobot : analyse du geste professionnel dans un objectif de prévention des troubles musculosquelettiques. *Mémoire de thèse, 230 p.*

■ PRÉVENTION DE LA DÉINSERTION PROFESSIONNELLE

American Journal of Industrial Medicine

■ PICHENÉ-HOUARD A., SIRVEAUX F., URMES I., PARIS N., BLAISE M., JACQUOT A., MARTINET N., CLAUDON L., PAYSANT J., WILD P. – Predictive factors of return to work trajectory after work-related rotator cuff syndrome: A prospective study on 96 workers. (Facteurs prédictifs de la trajectoire de retour au travail après un syndrome de la coiffe des rotateurs survenu dans un contexte professionnel : une étude prospective sur 96 travailleurs). *Juillet 2023, Vol. 64, issue 12, pp. 1028-1039.*

Retraite et société

■ VOLKOFF S., GUYOT S., BERNARD A., BOSSI P., CABANAT F., GARCIA S. – Devenir un « vieux travailleur » : une enquête statistique chez les 45-55 ans dans un service de santé au travail. *Août 2023, pp. 95-116.*

Références en santé au travail

■ GUYOT S., WILD P., APTEL A., MARTINET C., DUMAS L., STEIB S., CLAUDON L., PICHENÉ-HOUARD A., URMES I. – Aspects prédictifs d'un questionnaire de repérage de salariés à risque de désinsertion professionnelle. *Septembre 2023, n°175, TF311, pp. 31-43.*

■ ACCIDENTS

Santé & travail

■ COLIN R., BOINI S. – «Les risques psychosociaux sont particulièrement accidentogènes». Octobre 2023, *online <https://www.sante-et-travail.fr/risques-psychosociaux-particulierement-accidentogenes>*

Travail & sécurité

■ COLIN R., BOINI S., SOULAY C. – Santé et aide à la personne : avec la polyexposition, le risque d'accident est jusqu'à quatre fois plus grand. *Mai 2023, n° 848, TS 848, p. 4.*

■ ORGANISATION DE LA PRÉVENTION

Production maintenance

■ GRUSENMEYER C. – La prévention des risques liés à la maintenance passe aussi par l'organisation. *Février-mars-avril 2023, n° 80, p. 62-63.*

Hygiène et sécurité du travail

■ GRUSENMEYER C. – Prévenir les risques liés à l'organisation de la maintenance. *Octobre 2023, n° 272, cc41, pp.75-79.*

■ DRAIS E. – La culture de prévention : un objet d'attention pour les organisations. *Septembre 2023, n° 272, dc38, pp. 5-9.*

Thèse de doctorat en sciences économiques, 14 avril 2023, Université de Lorraine, Ecole doctorale sciences juridiques, politiques, économiques et de gestion, Nancy

■ KHOUMA B. – Quel lien entre efforts de prévention des risques professionnels et performance économique des entreprises – Une étude économétrique. *Mémoire de thèse, 250 p.*

Note scientifique et technique

■ KHOUMA B., DELECROIX B., TRONTIN C. – Sinistralité et performance économique des entreprises. *NS 384, Septembre 2023, 25 p.*

■ AUTRES EFFETS SUR LA SANTÉ

Temporalités

■ MORVAN E., PRIMÉRANO J. – La « micro-sieste » à l'épreuve de la nuit : le cas de soignants en 12 h. *Novembre 2023, n°37-38, pp. 172-192.*

Références en santé au travail

■ RADAUCEANU A., DEMANGE V., GRZÉBYK M., BOINI S., LAFON D., GOUJON E., RALISON F., GROS A., HUYGHE L., PRADEAU P., BRETON C. – Grossesse au travail : le retour au travail après congé de maternité. *Mars 2023, n° 173, TF306, pp. 31-53.*

Hygiène et sécurité du travail

■ BOINI S., BOURGKARDE E. – Comprendre l'effet du travail de nuit dans la survenue de maladies cardiovasculaires ischémiques pour mieux les prévenir. *Mars 2023, n° 270, do39, pp. 53-55.*

■ MORVAN E., GARNIER-FALANGA V., PRIMÉRANO J. – Stratégies de récupération au travail et enjeux de prévention : perspectives de recherches. *Mars 2023, n° 270, do39, pp. 56-58.*

➔ Risques physiques et mécaniques

■ BRUIT

Applied Acoustics

■ TROMPETTE N., BONZOM T., MARCHAND J., CHEVRET P. – Noise attenuation provided by a combination of earplugs and earmuffs: revised assessment. (Évaluation de l'atténuation acoustique apportée par la combinaison d'un bouchon d'oreille et d'un casque anti-bruit). *Janvier 2023, Vol.202, 10 p.*

International Journal of Audiology

■ VENETT., THOMAS A., MERLEN L., BOUCARD S., WATHIER L., RÉMY A., POUYATOS B. – Parameters influencing auditory fatigue among professionals working in the amplified music sector: noise exposure and individual factors. (Paramètres influençant la fatigue auditive chez les professionnels du secteur de la musique amplifiée : exposition au bruit et facteurs individuels). DOI 10.1080/14992027.2023.2240012

Noise & Health

■ MALRIN A., DUCOURNEAU J., CHEVRET P. – Characterisation and prediction of speech intelligibility at the output of hearing aids in a noisy working environment. (Caractérisation et prédiction de l'intelligibilité de la parole à la sortie des appareils auditifs dans un environnement de travail bruyant). *Septembre 2023, Vol. 25, Issue 118, pp. 183-194.*

Newsletter Thalie santé

■ VENETT., BOULANGERT. – L'INRS et Thalie santé s'intéressent à la santé auditive des salariés. <https://thalie-sante.org/actualites/liins-et-thalie-sante-sinteressent-la-sante-auditive-des-salaries>

ICASSP 2023, 48th IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, June 4-10, Rhodes, Greece

■ EFFA F., SERIZEL R., ARZ J.P., GRIMAULT N. – Lightweight Annotation and Class Weight Training for Automatic Estimation of Alarm Audibility in Noise. (Annotation légère et poids de classe à l'apprentissage pour l'estimation automatique de l'audibilité des alarmes dans le bruit). *Proceedings, 5 p.*

Forum Acusticum 2023, 10th Convention of the European Acoustics Association, 11-15 September 2023, Torino, Italy

■ EFFA F., ARZ J.P., GRIMAULT N., SERIZEL R. – Evaluating Acoustic Alarm Audibility in Noisy Environments: an Automatic Approach Using Deep Learning. (Évaluation de l'Audibilité des Alarmes Sonores dans le Bruit : une Approche Automatique Utilisant l'Apprentissage Profond). *Proceedings, 4 p.*

■ BROCOLINI L., VOLPE M., CHEVRET P., GALY E., PEYTCHEVA V., PARIZET E., PONCETTIN. – Wearing hearing aids in an open plan office environment: effects during a cognitive task. (Port d'aides auditives dans un environnement de bureau ouvert : effets lors de l'exécution d'une tâche cognitive). *Proceedings, 4 p.*

Thèse de doctorat en énergie et mécanique « spécialité acoustique », 11 juillet 2023, Université de Lorraine, Ecole doctorale SIMPPE, Nancy

■ MALRIN A. – Utilisation de prothèses auditives en milieu de travail : évaluation de la perception des signaux utiles ou de danger pour les personnes appareillées. *Mémoire de thèse, 140 p.*

Notes scientifiques et techniques

- TERROIR J., PERRIN N., TROMPETTE N., JEANJEAN G. – Développement d'un protocole d'évaluation du confort des bouchons d'oreille en entreprise. *NS 383, Juin 2023, 40 p.*
- TROMPETTE N., BONZOM T., MARCHAND J., CHEVRET P. – Atténuation acoustique apportée par la combinaison d'un bouchon d'oreille et d'un casque anti-bruit (double protection). *NS 381, janvier 2023, 20 p.*

ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL ET MACHINES DANGEREUSES

Frontiers in Virtual Reality

- PERSONENI G., SAVESCU A. – Ecological Validity of Virtual Reality Simulations in Workstation Health and Safety Assessment. (Validité Ecologique de la Réalité Virtuelle pour la Conception Sûre de postes de travail). *Février 2023, vol.4, pp.1-12.*

Hygiène et sécurité du travail

- BORGEOT C. – Robots mobiles autonomes (AMR) dans les usines et entrepôts logistiques : enjeux pour la prévention. *Décembre 2023, n°273, do42, pp. 37-41.*
- BORGEOT C., BALSIERE A. – Machines mobiles autonomes : apports indispensables de l'intégrateur et de l'utilisateur pour une intégration réussie. *Décembre 2023, n°273, do42, pp. 32-36.*
- SARREY M. – Intelligence artificielle dans une machine : quel impact sur son fonctionnement ? *Décembre 2023, n°273, dc39, pp. 5-10.*

31st EVU Annual Congress, October 5-7, 2023, Limassol, Cyprus

- RIAHI E., LECHNER D., REBELLE J., SERRE T. – Truck emergency braking and role of load restraining in road transport safety. (Freinage d'urgence d'un poids lourd et rôle de l'arrimage pour un transport routier de marchandises sûr). *Proceedings, 12 p.*

ISM 2023 – 5th International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing, 22-24 november 2023, Iscte, University Institute of Lisbon, Portugal

- HOLGUIN JIMENEZ S., GODOT X., PETRONIJEVIC J., LASSAGNE M., DAILLE-LEFÈVRE B. – Considering cognitive biases in design: an integrated approach. (Tenir compte des biais cognitifs dans la conception : une approche intégrée). *Proceedings, 10 p.*

48^e Congrès de la société de biomécanique, 25-27 Octobre 2023, Grenoble, France

- SAVIN J., HAERING D., REZZOUG N., PONTONNIER C. – Simulation of maximum isometric and isokinetic elbow actuation torques based on zonotopes. (Simulation des couples d'actionnement maximaux de flexion et d'extension du coude en conditions isométriques et isocinétiques à l'aide de zonotopes). *Actes, 2 p.*

Smart 2023 – 18^e colloque national « Systems Manufacturing Academics Ressources Technologies », 4-6 Avril 2023, Carry le Rouet, France

■ DAILLE-LEFÈVRE B., GUERROUM N., GODOT X. – Industrie du Futur et santé-sécurité : l'Ingénierie Système apporte-elle une réponse. *Actes*, 6 p.

VIBRATIONS

Computers in Biology and Medicine

■ NOËL C., SETTEMBRE N. – Near-wall hemodynamic parameters of finger arteries altered by hand-transmitted vibration. (Paramètres hémodynamiques locaux dans les artères de doigts lors d'une exposition aux vibrations). En ligne novembre 2023, vol. 168, 18 p.

56th UK Human Responses to Vibration Conference, August 29-30, 2023, Gosport, Hampshire, United Kingdom

■ PIERRON Q. – Evaluation of the effect of rotational vibrations through a model of seated human body. (Évaluation de l'effet des mouvements vibratoires de rotation à l'aide d'un modèle de corps humain assis). *Proceedings*, 7 p.

ICHAV 2023 – 15th International Conference on Hand-Arm Vibration, June 6-9, 2023, Nancy, France

■ NOËL C., RÉDA M., SETTEMBRE N., JAQUET E. – Arterial stenosis stemming from vibration-altered wall shear stress: a way to prevent vibration-induced vascular risk? (Sténose artérielle induite par une modification due aux vibrations des contraintes de cisaillement exercées par le sang sur l'endothélium : une piste pour prévenir le risque vasculaire vibratoire ?). *Proceedings*, ISBN 978-3-0365-7807-1, pp. 37-41.

■ PIERRON Q. – Vibration emission of grinders: experiments and model. (Emission vibratoire de meuleuses : expériences et modèle). *Proceedings*, ISBN 978-3-0365-7807-1, pp. 113-116.

■ VAUTHIER S., NOËL C., NGO H., GENNISSON J.L., CHAMBERT J., FOLTÈTE E., JACQUET E. – Factoring muscle activation and anisotropy in modelling hand-transmitted vibrations: a preliminary study. (Intégration de l'activation musculaire et de l'anisotropie à la modélisation des vibrations transmises dans la main). *Proceedings*, ISBN 978-3-0365-7807-1, pp. 107-111.

AUTRES RISQUES PHYSIQUES ET MÉCANIQUES

Hygiène et sécurité du travail

■ BONTHOUX F., SCHMITT N. – Colphy – Base de données dédiée aux nuisances physiques. *Mars 2023*, n°270, nt107, pp. 61-65.

Références en santé au travail

■ PIERRET B., TURPIN-LEGENDRE E., CLAUDON L., ADAM B., AUBLET-CUVELIER A. – Efficacité d'un gilet rafraîchissant sur les astreintes cardiaque et thermique lors du travail à la chaleur. *Juin 2023*, n° 174, TF309, pp.55-66.

➔ Thématiques focus

■ LIMITATION DE L'ÉMISSION DES GAZ À EFFET DE SERRE ET IMPACT EN SST

Hygiène et sécurité du travail

- LAURENT L. – Quel lien entre climat et risque professionnel ? *Juin 2023, n°271, pp 97-104.*

Références en santé au travail

- LAURENT L., DUQUENNE P. – Quand le changement climatique et la santé au travail se rencontrent. *Juin 2023, n°174, td302, pp. 89-95.*

■ PERTURBATEURS ENDOCRINIENS

Hygiène et sécurité du travail

- MATER G., SAVARY B., ÉMILI A., BURZONI S., COLLIN M., SAUVÉ J.F. – La prise en compte du caractère «perturbateur endocrinien» dans le cadre d'une démarche d'évaluation du risque chimique. *Juin 2023, n°271, pp. 26-33.*
- PONS R., RADAUCEANU A., ERB A. – L'exposition professionnelle aux perturbateurs endocriniens dans les salons de coiffure. *Juin 2023, n° 271, do40, pp. 36-41.*

Références en santé au travail

- PONS R., BOURGKARDE E., SAMBA H. – Journée thématique de l'ADEREST : « Perturbateurs endocriniens : État des connaissances et enjeux pour la prévention en santé au travail ». *Décembre 2023, n°176, TD308, pp. 87-95.*

■ POLYEXPOSITIONS HÉTÉROGÈNES

Hygiène et sécurité du travail

- LAROCCA B., MARC F. – Comment identifier les dangers d'une polyexposition chimique sur la santé des salariés à l'aide de Seirich et Mixie France ? *Mars 2023, n°270, f33.*

Thèse de doctorat en « médecine et santé au travail », 5 mai 2023, Université de Lorraine, Faculté de médecine, Nancy

- PIERRET B. – Efficacité d'un gilet rafraîchissant sur les astreintes cardiaque et thermique lors du travail à la chaleur. *Mémoire de thèse, 62 p.*

Note scientifique et technique

- LAROCCA B., CLERC F., COATES L., HÉDELIN G., MALARD S., SPONNE I. – Guide d'utilisation de MiXie France – Mise à jour 2023. *NS 358, juillet 2023, 20 p.*

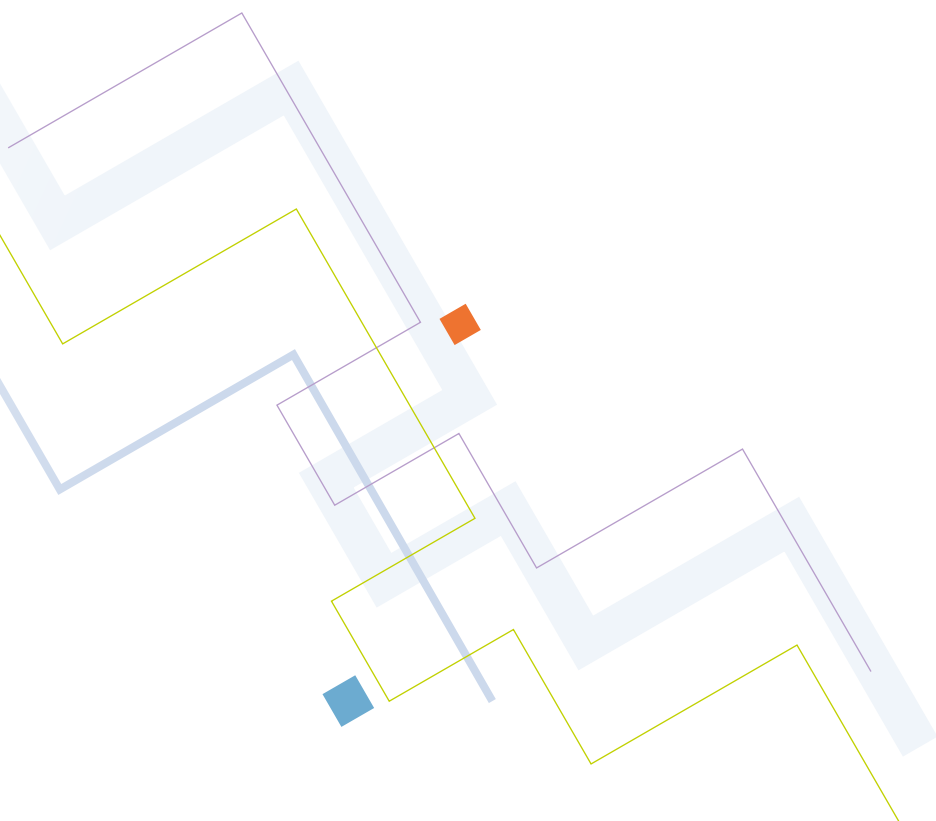
■ TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES ET ORGANISATIONS

Le travail humain

■ MORAND O., CAHOUR B., GROSJEAN V., BOBILLIER-CHAUMON M.E. – Digital overconnectivity at work : a qualitative and quantitative study. (Hyperconnexion numérique au travail : une étude qualitative et quantitative). *Octobre 2023, n°86, pp.93-128.*

Archives des maladies professionnelles et de l'environnement

■ CUNY A., PIERRETTE M. – Les logiciels de soins en Ehpad : analyse qualitative des conditions d'usage et effets pour l'activité des soignants. *2023, Vol. 84, 11 p.*



■ 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/2024

■ Ont également contribué à la publication

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

■ Conception graphique

Trait d'Union

■ Mise en page

Valérie LATCHAGUE CAUSSE



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

