

# Études & Recherche

## Rapport 2024-2025



## → 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'État.
- 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 2025, 87 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 Marjorie FOUGÈRE, Directrice des études et recherche de l'INRS .....	4
Introduction .....	6
Présentation des laboratoires de l'INRS .....	15
Entretien avec Marie-Odile SIMONNOT, Directrice du LRGP .....	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 .....	26
Prévention des risques physiques et mécaniques .....	45
Prévention des risques liés à l'organisation et aux situations de travail .....	56

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

Exposition aux aérosols .....	65
Polyexpositions hétérogènes .....	67
Technologies numériques et impacts organisationnels .....	70
Perturbateurs endocriniens .....	72
Limitation de l'émission des gaz à effet de serre et impact en santé sécurité au travail .....	74

■ Composition de la commission scientifique et des groupes de suivi .....	76
---	----

■ Liste des publications 2024 .....	81
-------------------------------------	----



**Marjorie FOUGÈRE**  
Directrice des études  
et recherche de l'INRS

## ➔ Éditorial

Depuis le printemps 2025, j'ai le privilège de piloter les activités d'études et de recherche de l'INRS. J'ai pleinement conscience de l'importance et de la responsabilité qui incombent à cette mission : comprendre, anticiper et accompagner les transformations du monde du travail pour mieux prévenir les risques professionnels.

À l'heure où la société fait face à des mutations rapides – technologiques, organisationnelles, sociales – l'INRS, doit rester un acteur central du progrès scientifique au service de la prévention. La recherche que nous menons n'est pas un îlot isolé. Elle irrigue, et cela est notre singularité à l'INRS, les autres modes d'action de l'Institut - formation, information, assistance - pour créer un continuum cohérent et efficace. Ce lien étroit entre production de connaissances et déploiement opérationnel est un gage de pertinence, d'impact et d'innovation.

Notre ambition est claire : consolider ce qui fait déjà la force de l'INRS tout en ouvrant de nouveaux champs d'exploration. Les équipes sont compétentes, inventives, animées par une vraie curiosité scientifique. Cette énergie collective, nous voulons la cultiver et la projeter vers l'avenir.

Cette ambition se traduit par plusieurs axes structurants qui guideront nos actions dans les années à venir.

Le premier axe concerne l'intelligence artificielle. L'IA avance à un rythme fulgurant : il ne s'agit plus de la regarder passer, mais d'en saisir tout le potentiel. En tant qu'outil, elle ouvre des perspectives inédites pour analyser les données, traiter les images, modéliser les expositions ou anticiper les risques. En tant que sujet d'étude, elle interroge en profondeur nos pratiques, nos organisations et nos repères humains. Travailler sur l'IA aujourd'hui, c'est se donner les moyens de comprendre le travail de demain, et de mieux protéger celles et ceux qui le font.

Nous voulons également renforcer notre animation scientifique. Nous souhaitons encourager encore davantage les échanges entre disciplines de recherche, faire émerger de nouvelles synergies et stimuler les approches interdisciplinaires. C'est en croisant nos expertises que naissent les idées les plus fécondes et les réponses les plus pertinentes aux défis complexes.

## » 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.

Le lien entre recherche et prévention restera au cœur de notre action : les résultats de nos études doivent continuer à nourrir les outils, les formations et les messages à destination des entreprises et des préventeurs. Ce va-et-vient constant entre science et action est la marque de notre efficacité collective. Notre mission : que chaque connaissance produite trouve un écho utile sur le terrain.

Nous poursuivrons une politique de partenariat active, en consolidant nos liens avec les opérateurs nationaux de la santé et sécurité au travail, en accroissant notre participation aux appels à projets, aux comités scientifiques et aux conférences. Porter une parole scientifique forte, crédible et visible, c'est aussi affirmer notre positionnement stratégique dans l'écosystème de la recherche.

Notre quatrième priorité concerne la valorisation et la diffusion des résultats. Une recherche utile est une recherche partagée. Nous poursuivons donc nos efforts pour rendre nos connaissances accessibles, lisibles et mobilisables par l'ensemble des acteurs de la prévention.

Enfin, l'ouverture européenne demeure essentielle. La santé et la sécurité au travail constituent un enjeu global, et les défis rencontrés par nos partenaires européens sont souvent les mêmes que les nôtres. En partageant nos expériences et en nous inspirant les uns des autres, nous renforçons notre capacité d'innovation et la portée de notre action.

C'est ensemble, en conjuguant exigence scientifique, esprit d'innovation et sens du collectif, que nous continuerons à faire de la recherche de l'INRS un pilier de la santé et de la sécurité au travail.

Je suis convaincue que cette dynamique partagée, nourrie par la rigueur et l'engagement de nos équipes, continuera de faire progresser la prévention et répondra aux enjeux de demain.

Je vous invite à découvrir plus en détail nos avancées et nos priorités en matière de travaux visant à prévenir les risques chimiques, biologiques, physiques et mécaniques ou liés aux organisations du travail, dans les pages qui suivent. Une lecture pour mieux comprendre les ambitions renouvelées de la **recherche au service de la santé et de la sécurité au travail**.

## ➔ Introduction

### » La recherche à l'INRS

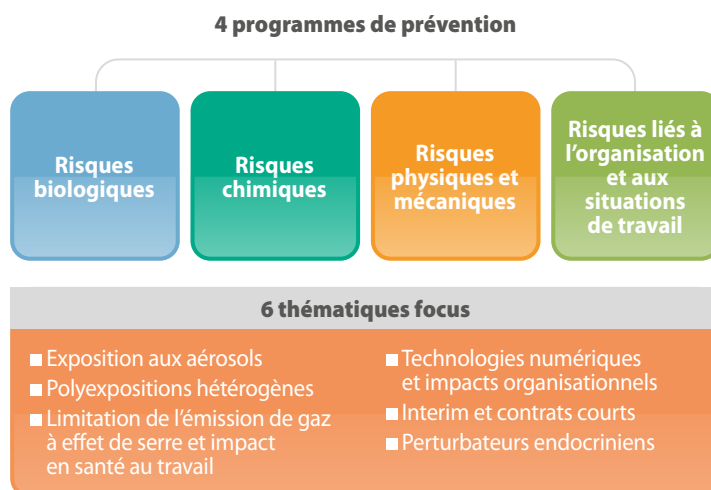
L'INRS développe différentes activités pour contribuer à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles. Il agit selon quatre modalités d'action complémentaires :

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

Les études et la recherche représentent environ 47 % de l'activité de l'INRS. 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 2025, 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 que les personnels de ces départements sont également impliqués dans les actions d'assistance aux entreprises, de formation et d'information de l'INRS.

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, agents biologiques ou nuisances physiques ;
- 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 existe peu de connaissances stabilisées, exemples identifiés il y a quelques années : la robotique collaborative, l'impact de l'économie circulaire sur les travailleurs, l'intelligence artificielle, le management algorithmique, les nouvelles formes d'organisation du travail.

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 et 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 de nombreux 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 :

- 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 ;
- l'étude du danger lié à certains agents physiques ou chimiques ;
- 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, à savoir les entreprises, les préventeurs et les services de prévention et 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 ou de webinaires, participation à des événements ou à des congrès, fiches décrivant des méthodes d'analyse, contribution à la normalisation, mise à disposition de bases de données et d'outils en ligne, connaissances pour la rédaction d'une brochure, de contenus de formation, ou encore par des actions de valorisation technologique...

*Exemple de transfert de connaissances concernant la*  
**prévention des risques liés aux bioaérosols (ci-contre).**

*Dans de nombreux secteurs professionnels, les travailleurs peuvent être exposés à des agents biologiques présents dans l'air et potentiellement pathogènes. L'INRS a conduit des travaux d'études afin de mieux caractériser ces expositions et de prendre en compte leur présence aux postes de travail (milieux de soins, collecte et traitement des déchets, industrie agroalimentaire, traitement des eaux usées). Les résultats de ces travaux ont donné lieu à différentes actions de transfert vers les entreprises (publications, communications, journée technique...).*

## ÉTUDES & RECHERCHE



© INRS / Gaël Kerbaol

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

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



© INRS / G. Kerbaol

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

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

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

Captage des aérosols et ventilation générale dans les cabinets dentaires



© INRS / S. Morillon

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

Dispositif : GENBIO

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



© INRS / G. Kerbaol

Polyexposition par inhalation des travailleurs dans les centres de tri des déchets ménagers et besoins en prévention : étude d'instruction

## TRANSFERT DE CONNAISSANCES

2019

2020

2021

2022

2023

2024

2025



### Actualité Web

- Épurateur d'air intérieur : des performances contrastées
- Résultat d'une étude de l'INRS sur trois types d'appareils



## Publications

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 les 274 articles publiés dans des revues nationales sans comité de lecture, 251 l'ont été dans l'une ou l'autre de ces deux revues sur la période 2020-2024.

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

## 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.

Par ailleurs, l'INRS veille au dépôt de brevets lorsque ce dépôt est utile à la prévention des risques professionnels ou nécessaire aux missions de l'Institut. Depuis une cinquantaine d'années, 66 brevets ont été déposés.

Actuellement, 8 contrats avec des entreprises pour des industrialisations d'innovations sont en cours, dont trois ont donné lieu sur la période 2024-2025 à la commercialisation d'un produit reposant sur des concepts et technologies issus des activités de recherche de l'INRS :

- **un exposimètre de bruit** spécifiquement conçu pour les applications de bureaux ouverts industrialisé et commercialisé par Alliantech. Au-delà de la caractérisation du bruit ambiant en bureau ouvert, il propose également d'évaluer l'intelligibilité de la parole au poste de travail, source de gêne fréquemment ressentie par les salariés,



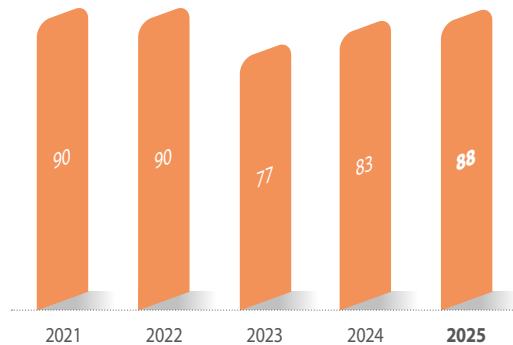
- **une sonde d'échantillonnage de l'air** contenu dans les conteneurs maritimes pour l'évaluation du risque d'exposition des salariés avant ouverture des portes, fabriquée par Idea conception,



- **le dispositif Triko'live** pour la mesure de la concentration en temps réel de la trichloramine présente dans l'air ambiant des halls de centres aquatiques, qui repose sur une technologie brevetée par l'INRS. Il est industrialisé et commercialisé par Syclope Electronique.

## » Une organisation par étude

Les travaux de recherche sont **structurés en études et menés dans les six départements scientifiques de l'INRS**. Sur la période 2020-2024, en moyenne une étude représente 7 200 heures de travail, réparties sur quatre ans, et est suivie par une période de valorisation des résultats. Il existe quelques études de plus grande ampleur associant plusieurs départements. Après un léger ralentissement en 2023, lié aux répercussions différées de la pandémie de Covid-19, la dynamique d'activité se rétablit rapidement, retrouvant en 2025 un niveau proche de celui d'avant crise.



Nombre d'études en cours à l'INRS entre 2021 et 2025

## » La validation des projets et des résultats

Les études sont évaluées selon une procédure rigoureuse, mobilisant d'une part des scientifiques et experts indépendants extérieurs à l'INRS et d'autre part le Conseil d'administration de l'INRS, qui en assure l'approbation finale.

Les scientifiques et experts extérieurs à l'INRS analysent les projets d'études des départements selon des critères définis tels que l'apport de connaissances, la méthode, l'impact des travaux...

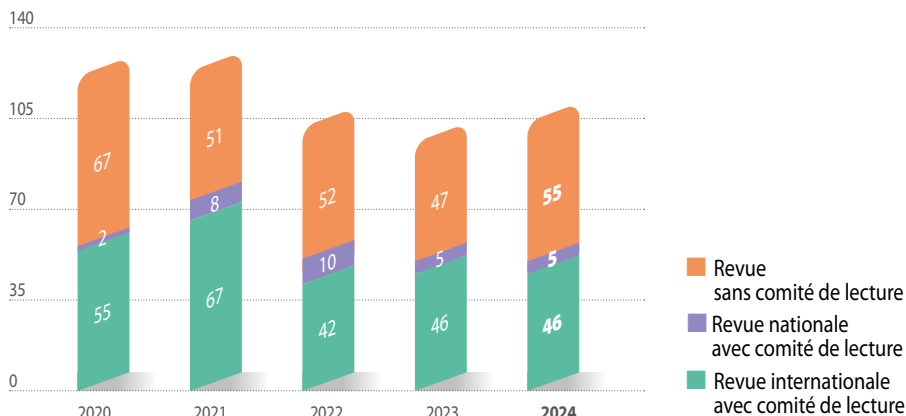
- À chaque département de l'INRS est associé un groupe de suivi, composé de personnalités externes reconnues, qui donne un avis sur les projets d'études, voire propose des améliorations. Il se prononce également sur les rapports finaux des études terminées. L'ensemble des groupes de suivi des six départements mobilise environ 60 experts extérieurs à l'INRS.
- 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 de recherche des laboratoires de l'INRS (voir la composition de la commission et des groupes de suivi page 76).

Ensuite, 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.

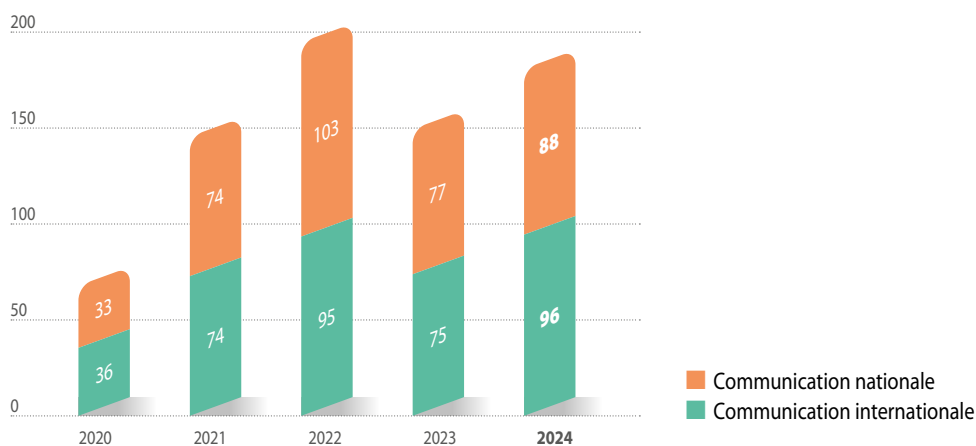
Les laboratoires des six départements de l'INRS conduisant des recherches mènent également des études dites courtes pour des travaux de moins de 500 heures, visant à tester une faisabilité (par exemple, la mise au point d'une méthode de dosage) ou à instruire une étude. La part du temps associé à ces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

Il s'agit pour l'INRS de produire des résultats robustes et non discutables, validés en externe par des publications évaluées par des 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 une centaine de publications.

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



Évolution du nombre d'articles publiés par l'INRS entre 2020 et 2024



Évolution du nombre de communications de l'INRS entre 2020 et 2024

## » L'ouverture vers l'extérieur

Baucoup 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 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 au travail, qui apportent des compétences dans des domaines variés (ingénierie, technologies de l'information, sciences humaines et sociales, physicochimie...).

C'est ainsi que, sur les 101 études présentées dans ce rapport, 49 impliquent des collaborations avec 93 partenaires (potentiellement plusieurs par étude ou un même partenaire présent dans plusieurs études). Certaines études de l'INRS s'inscrivent dans des partenariats européens très larges comme le partenariat PARC (Partenariat pour l'évaluation des risques liés aux substances chimiques).

TYPE DE PARTENAIRE	NOMBRE DE COLLABORATIONS
Partenaires académiques	60
Homologues étrangers de l'INRS	12 (dont 9 du réseau PEROSH)
Carsat-Cramif-CGSS	8
Centres techniques	2
Services de prévention et de santé au travail	5
Entreprises	2
Divers (Sciensano, Atmo-Access, Santé publique France, Dares)	4

*Les 93 collaborations identifiées dans les 101 études évoquées dans ce rapport*

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 indiqué ci-dessus, l'INRS s'associe à des établissements extérieurs qui apportent des compétences particulières. Quelques études sont financées par des agences, telles que l'Union européenne, l'Agence nationale de la recherche (ANR) ou l'Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), sur appel à projets. Ainsi, sur les 101 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).

## » Europe et réseau 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 telles que le partage d'informations et bonnes pratiques, ou le développement des activités de recherche sur des sujets de préoccupation communs.

Parmi les exemples :

- L'atelier pratique autour de l'IA à Rome en mai 2025 ou encore la conférence PEROSH dédiée aux solutions innovantes en SST en septembre. 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.
- Le lancement d'écoles d'été à destination des jeunes chercheurs du réseau, avec sa première édition à l'été 2025 à Berlin.

## » 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 25 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.

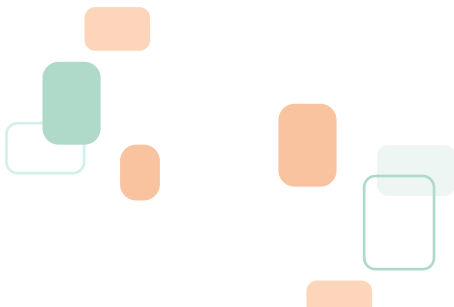
L'ensemble des travaux réalisés en commun a déjà débouché sur plus de cinquante publications internationales et permis le transfert de nombreux outils et documentations visant à améliorer la prévention. Aujourd'hui encore, le périmètre des collaborations s'étend avec l'intégration de la modélisation indispensable dans les études conduites au sein du laboratoire Procep de l'INRS (voir entretien page 18).

- 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.

## » Accueil des doctorants

Actuellement, une vingtaine de doctorants sont impliqués dans des études de l'INRS. Parmi eux, une petite proportion de salariés de l'INRS. Le co-encadrement de doctorants par l'INRS et 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 101 études décrites dans ce document, 25 ont fait ou feront l'objet d'une thèse.



## ➔ Présentation des laboratoires de l'INRS

**En 2024, les actions d'études et de recherche ont représenté environ 47 % 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.**



### » Métrologie des polluants

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

#### Laboratoires

Évaluation  
du risque et  
des expositions

Métrologie  
des aérosols

Métrologie  
des expositions aux  
polluants organiques

Laboratoire d'analyse  
inorganique et  
de caractérisation  
des aérosols



### » Ingénierie des procédés

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

#### Laboratoires

Analyses spatiales  
et temporelles des  
expositions chimiques

Aéraulique,  
ventilation, thermique  
et qualité d'air

Procédé et épuration  
des polluants



© INRS / G. Kerbaol / 2021

## » Toxicologie et biométrie

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

### Laboratoires

Biométrie

Cancérogénèse,  
mutagénèse  
et reprotoxicité

Ototoxicité  
et neurotoxicité

Immunologie, sensibilisation  
et allergie

Toxicocinétique, inhalation  
et passage cutané



© INRS / S. Morillon / 2018

## » Ingénierie des équipements de travail

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

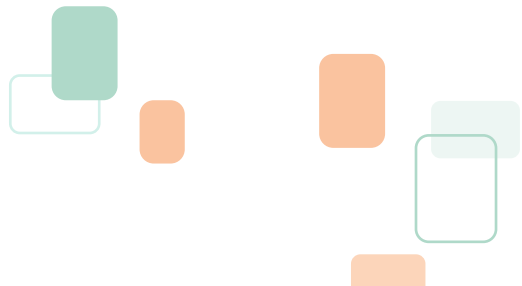
Physiologie –  
mouvement –  
travail



© INRS / G. Kerbael / 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.





**Marie-Odile SIMONNOT**  
Directrice du Laboratoire réactions  
et génie des procédés (LRGP) –  
Unité mixte CNRS-UL

## ➔ Entretien avec Marie-Odile Simonnot

**Le LRGP conduit, entre autres, des études sur les procédés de transformation de la matière et de l'énergie, et leur montée en échelle, en prenant en compte les technologies, les modes opératoires et dans certains cas, les expositions potentielles. Pouvez-vous nous éclairer sur les sujets actuellement traités par votre laboratoire ?**

Nos recherches couvrent effectivement un large spectre d'applications, avec une attention particulière portée aux domaines de l'énergie, de la santé, de l'alimentation et de l'environnement.

En ce moment, nos équipes travaillent sur le traitement et la valorisation des gaz et des liquides, notamment via des techniques de filtration ou d'adsorption. Ces procédés sont essentiels dans la perspective de la décarbonation de l'industrie et du développement de nouveaux carburants plus durables. Nous investissons aussi fortement dans la modélisation multi-échelle des procédés industriels, ce qui permet de mieux comprendre et optimiser leur fonctionnement à différents niveaux, du laboratoire à la production. L'intégration de l'IA dans ces procédés constitue un autre volet de recherche prometteur, qui peut permettre d'améliorer le pilotage, l'efficacité énergétique et la flexibilité des installations industrielles. Par ailleurs, nous développons des projets sur les bioraffineries, notamment à partir de résidus de colza, pour extraire et valoriser des protéines. Dans le domaine de la santé, nous menons des travaux sur la bioproduction de médicaments destinés à différentes thérapies, contribuant ainsi à une médecine plus personnalisée et accessible.

**Vous venez de célébrer avec vos tutelles (le CNRS et l'Université de Lorraine) les 25 ans d'une collaboration étroite avec l'INRS. Les travaux issus de ce partenariat ont été évoqués lors d'une conférence en octobre dernier. Quels sont les éléments marquants et les perspectives de cette entente scientifique au service de la santé et sécurité au travail ?**

Un quart de siècle de coopération cela se fête en effet ! L'INRS nous a accueillis dans ses locaux pour un événement auquel ont assisté 80 représentants du CNRS, de l'Université de Lorraine, de l'INRS et du LRGP. Une occasion de mesurer le chemin parcouru et de mettre en lumière les avancées de ce partenariat : une trentaine d'études communes, 19 thèses de doctorats, 90 publications scientifiques et techniques, 132 communications... sans oublier la conception de modules de formation, d'actions de valorisation, d'enrichissements de la normalisation, de supports d'information disponibles sur le site Internet de l'INRS.

Nous avons réaffirmé notre souhait de poursuivre cette coopération, en explorant de nouvelles thématiques telles que la place de l'intelligence artificielle dans l'ingénierie des procédés appliquée à la prévention, les procédés éco-compatibles, les produits biosourcés, les activités hors ateliers, etc. et en développant des approches innovantes pour répondre aux enjeux émergents.

## Au-delà de vos recherches scientifiques, un laboratoire comme le vôtre joue aussi un rôle dans la diffusion de la culture scientifique et le dialogue avec la société. Comment remplissez-vous cette mission ?

Nous en faisons même une priorité. Notre démarche s'inscrit dans le cadre d'une science ouverte, tournée vers les besoins de la société, les attentes des citoyens, et les préoccupations des décideurs. Il est essentiel que les connaissances produites dans nos laboratoires puissent être partagées, discutées, appropriées par le plus grand nombre.

Cela passe par de nombreuses actions de médiation scientifique : rencontres avec les jeunes publics dans les établissements scolaires, organisation de conférences ou de visites de laboratoire, participation à des événements comme la Fête de la science. Nous nous adressons aussi aux décideurs économiques et politiques, ainsi qu'aux industriels, pour les aider à mieux comprendre les enjeux technologiques et environnementaux à venir.

Ce lien constant avec la société nous permet d'enrichir nos travaux, mais aussi de former les chercheurs et ingénieurs de demain à une science plus connectée au monde qui l'entoure. Car innover, c'est aussi savoir écouter, expliquer et partager.

### » Carte d'identité du LRGP

Créé à Nancy en 2010, par la fusion de quatre laboratoires, le **Laboratoire réactions et génie des procédés** (UMR 7274) est une unité mixte du CNRS et de l'Université de Lorraine. Le LRGP développe des connaissances scientifiques et technologiques nécessaires à la conception, l'étude, la conduite et l'optimisation des procédés complexes de transformation physico-chimiques et biologiques, de la matière et de l'énergie.

L'unité compte **plus de 300 personnes**, dont 110 chercheurs et enseignants-chercheurs, une quarantaine de personnels techniques et administratifs, une centaine de doctorants, environ 20 post-docs et ATERS.

Site : <https://lrgp-nancy.cnrs.fr>



De gauche à droite :

Marjorie FOUGÈRE, directrice des études et recherche (INRS) – Fabien GERARDIN, chef du département ingénierie des procédés (INRS) – Alain HEHN, vice-président du conseil scientifique de l'Université de Lorraine – Marie-Odile SIMONNOT, directrice du Laboratoire réactions et génie des procédés (LRGP) – Edwige HELMER-LAURENT, déléguée régionale Centre-Est du Centre national de la recherche scientifique (CNRS) – Stéphane PIMBERT, directeur général de l'INRS.

# PROGRAMMES DE PRÉVENTION 2023-2028

Les pages qui suivent proposent une présentation des 101 études en cours dans la période 2024-2025, dont les 13 qui se sont achevées fin 2024 qui font 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*

### Exposé des motifs et objectifs

De nombreux secteurs professionnels sont concernés par les risques biologiques et la survenue d'affections respiratoires chez les salariés en lien avec l'inhalation de bioaérosols. Le développement des méthodes de mesure des bioaérosols repose sur une complémentarité entre des essais contrôlés en laboratoire et des travaux sur des bioaérosols complexes dans

diverses atmosphères professionnelles. En laboratoire, l'évaluation des performances de nouvelles méthodes de mesure nécessite des outils et compétences qui ne sont ni harmonisés entre les équipes de recherche, ni suffisamment encadrés par les textes normatifs. L'objectif principal de cette étude visait donc à définir et proposer des préconisations sur le développement et la validation des méthodes de mesure dans un but d'harmoniser des pratiques mais également de renforcer les savoir-faire de l'INRS sur ce thème.

## Démarche

La démarche reposait sur un partenariat avec deux équipes reconnues au niveau international dans le domaine des bioaérosols. L'étude s'est déroulée selon quatre axes principaux :

- un travail préliminaire d'échanges de connaissances et d'harmonisation de protocoles analytiques (choix des microorganismes modèles et des dispositifs de prélèvements, détermination de la séquence d'essai, etc.) ;
- la génération, par chaque équipe, du *pool* de micro-organismes (spores de moisissures, bactériophages et cellules bactériennes) dans chaque banc d'essai spécifique, pour définir des niveaux de concentration communs à atteindre ;
- l'expérimentation principale d'intercomparaison réalisée de manière la plus concomitante possible ;
- la mise en commun et l'analyse des résultats obtenus afin de les comparer et de discuter des biais éventuels.

## Résultats principaux

La crise sanitaire liée à la Covid-19 a entraîné d'importantes perturbations dans le déroulement du projet pour l'ensemble des partenaires, en affectant à la fois le calendrier et la disponibilité des ressources humaines et matérielles. Ces contraintes ont empêché la réalisation simultanée des essais expérimentaux principaux dans les trois instituts. Par conséquent, les résultats des principaux essais expérimentaux n'ont pu être comparés qu'entre deux des partenaires, ce qui a compromis la possibilité de finaliser des préconisations. Des dissimilarités ont été observées notamment pour les spores de moisissures, avec des résultats contradictoires sur les performances des deux biocollecteurs. Un certain nombre de paramètres importants à suivre et/ou contrôler, tels qu'une différence dans les humidités relatives des deux bancs, le temps de résidence dans l'air ou d'attente avant analyse ou le mode de génération, peuvent expliquer les différences de résultats obtenus entre les deux laboratoires.

## Discussion

Cet exercice inédit d'intercomparaison a permis à l'INRS de renforcer ses compétences en matière de génération et d'acquisition de protocoles expérimentaux. Il a également souligné la complexité d'harmoniser des essais et de faire évoluer les pratiques individuelles, y compris entre trois partenaires. Malgré les contraintes rencontrées, l'étude a permis d'établir des orientations solides pour la poursuite des travaux. Des échanges au niveau normatif demeurent toutefois nécessaires afin de définir des protocoles plus détaillés et précis, pour standardiser les méthodes de validation des performances des nouvelles approches de mesure. Pour autant, l'INRS dispose de compétences dans ce domaine et proposera à moyen terme une fiche du guide méthodologique MétroPol intitulée « mise au point des méthodes de prélèvement et d'analyse des bio-aérosols » qui s'appuiera notamment sur le retour d'expérience de cet essai d'intercomparaison.



© INRS / G. Karbaol / 2024

2022-2026

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

■ Pauline LOISON

*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 afin d'évaluer les milieux de culture sélectionnés en utilisant des microorganismes en quantité certifiée, la génération de bioaérosols simples et complexes dans des conditions contrôlées et des prélèvements en entreprise dans plusieurs secteurs professionnels. Ces essais permettront de vérifier si les milieux de culture choisis discriminent correctement les deux grands groupes de microorganismes (bactéries et moisissures) sur des échantillons composés d'espèces microbiennes différentes.

À l'issue de ces travaux, la fiche MétroPol M-147 sera révisée.

2024-2027

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

■ Pauline LOISON

*Département métrologie des polluants*

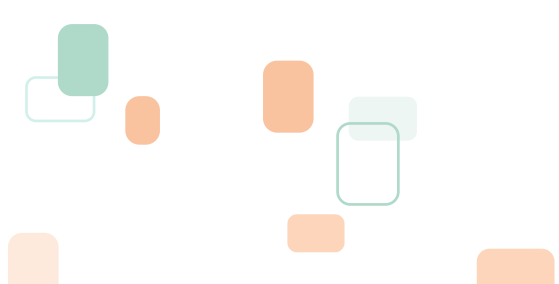
Cette étude vise à mettre au point et transférer une méthodologie simplifiée et optimisée, basée sur l'analyse par PCR (*Polymerase Chain Reaction*) quantitative (qPCR) pour l'évaluation de l'exposition des travailleurs aux bioaérosols dans l'air des lieux de travail.

Pour ce faire, des méthodes basées sur la PCR seront développées et validées au laboratoire puis des essais seront réalisés dans des secteurs professionnels variés pour lesquels la présence de micro-organismes d'intérêts recherchés par qPCR est connue (usage des métaux, méthanisation, compostage, etc.).

À partir de ces données, une fiche MétroPol et un guide méthodologique seront rédigés afin de transférer l'ensemble des méthodes au réseau Prévention.



© INRS / G. Kerbaol / 2024



## »» 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 pour réaliser des mesures d'exposition atmosphérique aux mycotoxines, aux poussières, aux moisissures et aux endotoxines. Des biomarqueurs d'exposition aux mycotoxines seront également dosés dans l'urine et le sang. De plus, des biomarqueurs d'effets seront mesurés de façon non invasive : stress oxydant dans le condensat de l'air exhalé (CAE), cytokines dans le CAE et le sang, anomalies nucléaires et chromosomiques dans les cellules buccales et les lymphocytes, enzymes hépatiques et hormones sexuelles dans le sang, biomarqueurs de dysfonction rénale dans l'urine. Les symptômes respiratoires seront recueillis par questionnaire.

## ► RISQUES INFECTIEUX

2023-2026

### Procédure de construction de méthodologie d'évaluation du risque biologique

■ Sarah BURZONI

*Département métrologie des polluants*

L'étude débutera par la caractérisation des secteurs industriels concernés et l'identification des principaux agents biologiques associés. Ces éléments serviront à concevoir une procédure à destination des employeurs, précisant les étapes et les informations nécessaires à l'élaboration d'une méthodologie d'évaluation du risque biologique propre à chaque secteur. La procédure sera testée et validée sur le terrain dans des entreprises de différents secteurs industriels. Les données compléteront le guide méthodologique MétroPol.

## ► RISQUES ALLERGIQUES

2025-2028

### Évaluation des niveaux d'exposition aux allergènes de rongeurs en animalerie

■ Sandrine JACQUENET et Fabrice BATAIS

*Département toxicologie et biométrie*

■ Patricia BATAIS

*Département ingénierie des procédés*

Les salariés travaillant en contact avec des souris et des rats peuvent développer une maladie appelée « allergie aux animaux de laboratoire », pathologie professionnelle liée à l'exposition respiratoire aux allergènes contenus dans les poils et les urines des animaux. Afin de mieux caractériser ces expositions et d'améliorer la prévention des risques associés, cette étude vise à :

- développer un test immuno-chromatographique sur bandelette pour rendre accessible et facilement réalisable l'évaluation des expositions dans les environnements de travail ;
- valider ce nouveau test dans des animaleries en comparant ses performances à la méthode de dosage de référence ;
- documenter les moyens de prévention mis en place, en les mettant en perspective avec les niveaux d'allergènes qui auront été mesurés, et si besoin préconiser de nouvelles mesures.

## ► PROTECTION COLLECTIVE

2023-2027

### 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

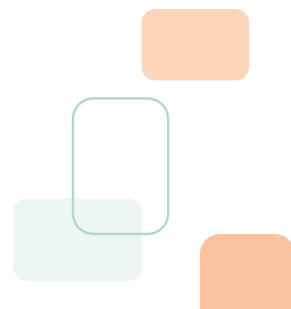
■ Denis BÉMER, Fabien GÉRARDIN et Benjamin SUTTER

*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)

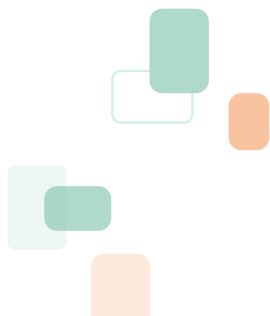
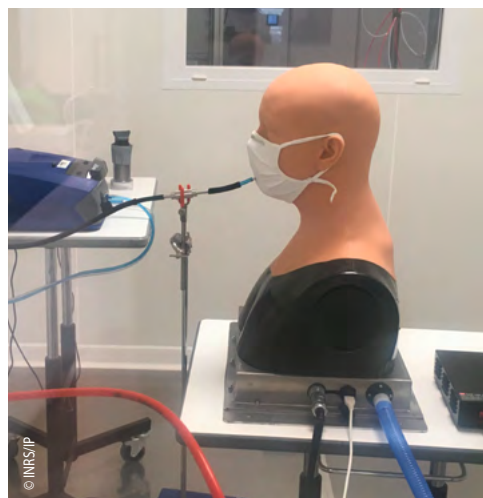
■ Sandrine CHAZELET

*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

2019-2024

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*

### Exposé des motifs et objectifs

Cette étude consiste à développer et évaluer une approche pour l'élaboration d'une stratégie de prélèvement complémentaire aux démarches actuelles, adaptée aux entreprises de petites tailles. Elle vise à construire des groupes d'exposition similaire (GES) qui intègrent plusieurs établissements. Ces GES inter-établissements permettent de définir une démarche commune d'évaluation des expositions professionnelles, suite à laquelle des actions de prévention pourront être réalisées pour réduire le risque aux postes de travail le nécessitant.

## Démarche

Cette approche innovante s'appuie sur quatre axes :

- la définition de GES inter-établissements dans les bases de données Colchic et Scola dans le but d'étudier la variabilité des expositions et les critères qui peuvent l'influencer ;
- l'élaboration d'une approche visant à identifier les caractéristiques requises pour qu'un ensemble d'établissements puissent intégrer la démarche de constitution de GES inter-établissements ;
- la mise en application de l'approche à travers des interventions de terrain et des études de cas tirées des bases de données ;
- des méthodes statistiques pour la quantification de la variabilité intra- et inter-établissements et sa classification sur la base d'indicateurs et valeurs guides.



## Résultats principaux

L'étude a montré la faisabilité de la construction des GES inter-établissements et a permis de qualifier les situations de faible variabilité. Elle aboutit à une démarche structurée en deux étapes successives :

- une autoévaluation à réaliser par les établissements candidats à la constitution d'un GES inter-établissements en utilisant un questionnaire qui permet d'estimer la pertinence de la démarche dans un contexte donné et de renforcer la confiance dans son application ;
- une analyse statistique des concentrations mesurées pour les GES lors de campagnes de prélèvement dans les entreprises. La faible variabilité des mesures dans un GES inter-établissements est validée sur la base d'indicateurs statistiques.

## Discussion

Le succès de la démarche repose sur une sélection rigoureuse et appropriée des établissements à regrouper. Pour cela, la comparaison des principales caractéristiques influençant la variabilité d'un établissement à un autre est étudiée : l'organisation du travail, la conformité des installations ou encore le procédé de fabrication. Ainsi, la démarche proposée permet de prendre en compte ces caractéristiques réduisant ainsi le risque d'hétérogénéité des GES inter-établissements constitués. Puis, à partir de critères statistiques définis dans l'étude, la variabilité des GES est quantifiée et les groupes caractérisés par une faible variabilité sont identifiés. Les résultats des interventions terrain effectuées au cours de l'étude confirment le potentiel de la démarche pour les entreprises de petite/moyenne taille qui peuvent ainsi mutualiser leurs efforts d'évaluation des expositions et réduire les coûts associés. Après publication dans une revue à comité de lecture, les résultats pourront être intégrés dans une future révision de la fiche méthodologique MétroPol.

2020-2025

## 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 particuliers dans les atmosphères de travail s'est démocratisée ces dernières années et permet de répondre aux besoins de prévention des risques chimiques. De plus en plus d'acteurs disposent d'instruments qui permettent d'accéder en temps réel à la concentration massique, au cours de campagnes de mesurage sur le terrain. Cette étude a pour objectif d'élaborer des préconisations en matière de mise en œuvre de la MTR pour la mesure de la concentration massique des aérosols au poste de travail.



2021-2024

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

■ Sébastien BAU

*Département métrologie des polluants*

### Exposé des motifs et objectifs

Quelles que soient leur nature, source d'émission, forme ou composition chimique, les aérosols présents dans l'air des lieux de travail comportent une fraction de particules submicroniques. En complément à la concentration massique, la distribution granulométrique de ces particules dispersées dans l'air est de grand intérêt et contribue à mieux caractériser les expositions professionnelles. Il n'existe pas, à l'heure actuelle, d'appareil de mesure en temps réel de la distribution granulométrique en nombre des aérosols submicroniques qui soit adapté au terrain, portable, robuste, accessible à des non spécialistes, et peu coûteux.

Pour répondre à ce besoin, cette étude avait pour objectif de développer une solution innovante basée sur les propriétés diffusionnelles des particules et reposant sur l'utilisation de couples sélecteur (grilles de diffusion) / détecteur (compteur de noyaux de condensation).

### Démarche

Ces travaux s'articulaient autour de trois axes de travail : la méthodologie (sélection des particules, séquence de mesure et optimisation), le traitement des données (élaboration d'un outil mathématique d'inversion de données), et la conception d'une solution technique suivie de l'initiation de démarches visant un transfert aux utilisateurs.

Des partenariats externes existants (Laboratoire réactions et génie des procédés) ou nouveaux (Institut Élie-Cartan de Lorraine) ont été mis à profit pour la réalisation de ces travaux.

### Résultats principaux

En raison du report du début de la thèse, puis de l'abandon de la doctorante, une réorientation importante a dû être opérée. Les aspects mathématiques liés à l'inversion de données, composante fondamentale de l'approche, ont constitué un verrou scientifique, malgré une coopération.

À l'issue de ces travaux, il apparaît possible de mettre en œuvre différentes configurations de médias, disposés dans un porte-médias, et de mesurer séquentiellement différentes « classes » granulométriques en aval à l'aide d'un compteur de particules portable. La détermination de la distribution granulométrique repose sur une procédure d'inversion de données, dont les performances ont été éprouvées sur des cas théoriques.

Des pistes d'optimisation ont été appréhendées, ainsi qu'une première mise en situation de terrain. Une fois l'ensemble des conditions stabilisées, il s'agira de concevoir une solution complète permettant la mise en œuvre du protocole dans les configurations retenues.

### Discussion

Les objectifs initiaux de l'étude ont été largement engagés et plusieurs d'entre eux atteints, malgré un contexte exigeant sur le plan des ressources humaines (suite à l'arrêt de la thèse représentant 50 % du volume horaire) et des défis techniques tant expérimentaux que mathématiques, liés au traitement des données. Un protocole de mesure de la distribution granulométrique en nombre des aérosols submicroniques adapté au terrain reposant sur un couplage sélecteur / détecteur a été proposé.

Les premiers résultats sont encourageants ; toutefois, un certain nombre d'éléments de validation demeurent nécessaires pour qualifier la méthode, définir ses limites d'application et d'utilisation, et statuer quant à l'applicabilité du protocole proposé.

2021-2025

## 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 pulvéulence 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.

2022-2025

## 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.

2022-2025

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

■ Barbara SAVARY et Jean-François SAUVÉ

*Département métrologie des polluants*

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



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.

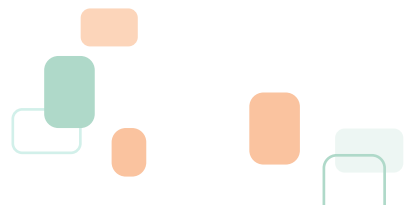
L'objectif de cette étude est de développer puis valider un outil pour prédire la perméabilité cutanée des toxiques industriels chez l'homme : un modèle QSAR pour *Quantitative Structure-Activity Relationship*, assorti d'un indice de confiance. La validation des modèles passera notamment par la production 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.

Cette étude 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 définir la liste des molécules à quantifier afin de mieux prévenir l'exposition des salariés à ces fluides.

ÉTUDE  
TERMINÉE

2023-2024

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

■ Olivier CARRIVAIN

*Département métrologie des polluants*

### Exposé des motifs et objectifs

L'objectif de cette étude était d'instruire et de préparer expérimentalement une étude longue dédiée à l'évaluation des micro-capteurs (LCS) d'aérosols. Ces instruments à bas coût et de faible encombrement sont prometteurs pour être utilisés à des fins de mesure des aérosols dans l'air des lieux. Ces travaux de recherche visaient à établir les performances et les limites de ces technologies, afin d'objectiver les apports en prévention de tels instruments de mesure. L'étude d'instruction consistait en un premier axe dédié à la collecte de données bibliographiques et un second axe expérimental visant à se doter de moyens d'essais.

### Démarche

La recherche bibliographique a permis de réunir une centaine d'articles pertinents, d'effectuer une analyse et une capitalisation de ces éléments. Un travail de conception de deux nouveaux moyens d'essais a été réalisé : d'une part, un banc d'essais permettant d'exposer les LCS à des aérosols de différentes natures, monodispersés en diamètre aérodynamique (disponible fin 2024) et d'autre part, une enceinte permettant d'exposer les LCS à des aérosols pour différentes valeurs de vitesses d'air en air calme (disponible courant 2025). En parallèle, de nombreux essais exploratoires avec des LCS ont été conduits dans une enceinte déjà existante et dans des atmosphères professionnelles. Des recherches de partenariat ont été effectuées.



## Résultats principaux

L'analyse de la littérature éclaire le principe de fonctionnement d'un micro-capteur et répond à des questionnements soulevés initialement. Divers facteurs pouvant influencer la mesure de la concentration massive ont ainsi été détaillés mais il apparaît que d'autres restent insuffisamment étudiés dans les articles scientifiques. Des comparaisons entre des mesures par prélèvements conventionnels et par LCS ont été effectuées en laboratoire et dans différents environnements professionnels. Les performances de divers LCS ont ainsi été analysées et le lien a été fait avec certaines de leurs caractéristiques. Un dispositif expérimental (enceinte 1 m<sup>3</sup>) a été qualifié et est désormais utilisé pour mener des essais. Une enceinte aérosols air calme viendra compléter les moyens d'essais de laboratoire en 2025.

## Discussion

Cette étude d'instruction a permis de réunir des bases théoriques et expérimentales solides pour étudier les LCS et permettra d'élaborer des préconisations d'utilisation de ces capteurs pour la mesure d'aérosols dans l'air des lieux de travail. Elle a permis d'initier des partenariats avec un fabricant.

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

### 2020-2025

#### 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 de 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*

■ Thèse de doctorat : Elouan JEUNOT

*ICPEES, Université de Strasbourg - Stéphane LE CALVET*

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.

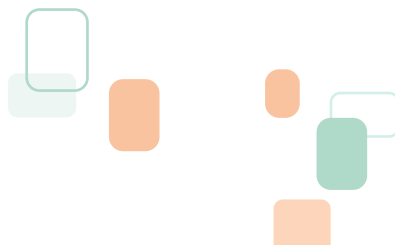
2024-2027

## 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*

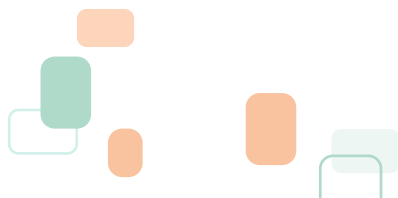
■ Thèse de doctorat : Zeinab ABOUD

*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.

### »» 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 multiparois 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.

ÉTUDE  
TERMINÉE

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

#### Exposé des motifs et objectifs

La diversité des fluides de coupe et la place grandissante des fluides aqueux dans différents process, incitent à s'interroger sur l'opportunité d'utiliser des tests de toxicologie usuels pour évaluer :

- les effets génotoxiques (atteinte de la molécule d'ADN, évocatrice d'un potentiel effet cancérogène) ;
- les effets perturbateurs des fonctions hormonales endocrines.

Par ailleurs, à l'instruction de cette étude, aucune donnée n'était disponible concernant les effets de ces préparations commerciales.

#### Démarche

Quatre échantillons (A3, A5, A8, A9) de fluides de coupe non usagés, miscibles dans l'eau, ont été évalués *in vitro* pour leur cytotoxicité (effet sur la vie et la croissance cellulaire), leurs réponses dans deux tests de génotoxicité (évocatrice d'un potentiel effet cancérogène – test des micronoyaux et test des comètes) et pour leur effet potentiel de perturbation endocrinienne par trois tests (effet sur la stéroïdogénèse, effet sur l'activation du récepteur des androgènes et effet sur l'activation d'un récepteur des œstrogènes).



© H. Bourne pour INRS / 2025

## Résultats principaux

Les quatre échantillons sont cytotoxiques et n'ont pu être utilisés dans nos tests *in vitro* qu'à de fortes dilutions (dilution de 200 à 100 000 fois). Ces échantillons sont faiblement génotoxiques : ils induisent tous une augmentation de la fréquence de micronoyaux mais sans relation avec la concentration utilisée. Seul l'échantillon A3 provoque des cassures de l'ADN (test des comètes) à la dose de 63 ppm.

Tous les échantillons ont des effets de perturbation endocrinienne à des niveaux divers : A3, A5 et A8 entraînent une augmentation de la production d'œstradiol dans les cellules H295R. Le fluide A3 mime l'effet du ligand naturel, la DHT (dihydrotestostérone) en activant le récepteur des androgènes. Les fluides A5 et A8 inhibent l'activation de ce récepteur par la DHT, se comportant comme des antagonistes dudit récepteur. Seul le fluide A5 mime l'effet des œstrogènes dans l'activation de leur récepteur dans les cellules HeLa9903.

## Discussion

L'étude a permis de déterminer des effets génotoxiques modérés pour les fluides testés dans des conditions expérimentales ainsi que des effets de perturbation endocrinienne. Cependant à ce stade, il est impossible d'objectiver les éléments responsables de ces réponses. Afin de renforcer ces résultats des investigations nouvelles vont être conduites en élargissant le panel de substances testées et en recherchant une éventuelle évolution de cette toxicité après usage. En effet, certaines molécules sont susceptibles d'être transformées en cours d'utilisation, notamment du fait de la montée en température du fluide.

2024-2026

## 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.

2025-2028

## Étude *in vitro* des potentiels génotoxiques et de perturbation endocrinienne de fluides d'usinage neufs et usagés

■ Christian DARNE et Dieynaba NDIAYE

*Département toxicologie et biométrie*

Les fluides de coupe sont des produits indissociables d'opérations d'usinage de métaux, qui limitent l'usure, protègent de l'oxydation et facilitent l'élimination des « poussières » produites. Plus d'1 400 000 de salariés français y étaient exposés par contact cutané, ingestion ou inhalation en 2017. Trois catégories sont distinguées : les huiles minérales entières, les huiles synthétiques ou semi-synthétiques et les fluides aqueux. Si le danger que présentent les huiles entières est documenté, celui des deux autres ne l'est pas du fait de leur utilisation plus récente. L'objectif de cette étude est d'étudier les effets génotoxiques potentiels de ces fluides *via* des essais de toxicologie. Ces travaux seront complétés par l'analyse de potentiels effets de perturbation endocrinienne à l'aide de tests *in vitro*. Ils apporteront des informations sur le profil toxicologique des fluides de coupe neufs et l'évolution de leurs propriétés toxicologiques en cours d'utilisation.

2025-2028

## Mesure des diisocyanates totaux dans l'air : méthode indirecte et méthode semi-temps réel

■ Marianne GUILLEMOT

*Département métrologie des polluants*

■ Thèse de doctorat : Nishta RAMKHELAWON

*CERTES, Université Paris Est Créteil - Évelyne GEHIN*

Les diisocyanates sont des sensibilisants cutanés et respiratoires qui peuvent avoir des effets nocifs sur la santé respiratoire et le développement de maladies cutanées. La Directive (UE) 2024/869 du parlement européen et du conseil du 13 mars 2024 établit une valeur limite d'exposition professionnelle contraignante qui rendra obligatoire le contrôle des expositions des salariés aux diisocyanates et nécessite de disposer de méthodes de mesure répondant aux exigences de sensibilité.

L'objectif de cette étude est d'adapter la méthode de prélèvement indirecte existante pour mesurer l'ensemble de la fonction NCO en atteignant la sensibilité requise. La seconde partie de l'étude consistera à développer un dispositif de mesure en temps réel des diisocyanates dans l'air des lieux de travail. Pour mener ces développements, une nouvelle enceinte de génération sera réalisée pour que les méthodes soient validées en termes de sensibilité, temps de réponse, répétabilité et robustesse.

### ▶ 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

2023-2026

## 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.

2023-2026

## Polyexposition entre substances chimiques et biologiques : apport du modèle *in vitro* BMDC pour l'étude des effets sensibilisants de mélanges

■ Fabrice BATAIS et Sandrine JACQUENET  
Département toxicologie et biométrie

■ Thèse de doctorat : Zia SALMON  
INSERM UMR996, Université Paris-Saclay -  
Saadia Kerdine RÔMER

Les travaux sur les allergies professionnelles analysent souvent les déterminants de ces allergies de manière isolée les uns des autres, sans suffisamment prendre en compte la polyexposition, qui est pourtant courante. Ces polyexpositions peuvent entraîner des allergies et augmenter la pénibilité du travail. Le modèle cellulaire *in vitro* basé sur l'utilisation de cellules dendritiques dérivées de moelle osseuse de souris (modèle BMDC) développé à l'INRS sera utilisé au cours de cette étude, qui permettra d'évaluer les effets cumulatifs d'une polyexposition à des atmosphères de travail riches en bioallergènes et contenant des agents chimiques sensibilisants. Elle apportera également des informations sur la capacité du modèle BMDC à évaluer le potentiel sensibilisant de substances biologiques mais également de mélanges.

## ► PROTECTIONS COLLECTIVES ET INDIVIDUELLES

ÉTUDE  
TERMINÉE

2020-2024

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

■ Eddy LANGLOIS  
Département métrologie des polluants

### Exposé des motifs et objectifs

Le Méopa (Mélange équimolaire d'oxygène et de protoxyde d'azote) est un médicament utilisé en administration gazeuse pour la sédation consciente de patients lors de soins invasifs ou non, stressants, impressionnants et légèrement à modérément douloureux. Son efficacité, la simplicité de son utilisation, ses effets rapides et rapidement réversibles le rendent incontournable pour un grand nombre d'exams et de soins médicaux, chirurgicaux ou dentaires notamment. Si le protoxyde d'azote n'est pas toxique pour le patient, il présente des risques pour la santé des soignants qui y sont exposés de manière prolongée et répétée. En effet, l'administration au masque engendre des fuites qui, combinées à une mauvaise gestion de l'évacuation des gaz expirés par le patient pendant et après le soin, conduisent à des expositions très largement supérieures aux seuils recommandés. Il existe cependant des dispositifs de réduction des expositions qui sont souvent méconnus et dont l'efficacité est peu documentée. L'objectif de cette étude était d'améliorer la connaissance des expositions des personnels soignants et des déterminants de ces expositions et d'évaluer l'efficacité des dispositifs permettant de s'en prévenir.

### Démarche

L'étude s'est composée d'une étude en laboratoire dont l'objectif était de déterminer l'efficacité théorique des dispositifs dans des conditions contrôlées et standardisées et d'une étude sur le terrain afin de tenir compte de la variabilité des soins et de leurs conditions de réalisation. Dans les deux cas, la démarche consistait à évaluer les fuites au masque ou les expositions avec des dispositifs classiques d'administration, puis avec les dispositifs commerciaux revendiquant une action de réduction des émissions de Méopa dans l'atmosphère.



© H. Bouret pour l'INRS / 2025

Lors de la phase terrain, une étude ergotoxicologique a été réalisée en couplant la métrologie en temps réel des expositions au protoxyde d'azote et la vidéo. L'objectif était de déterminer le lien entre les pratiques et les expositions et d'évaluer la perception du risque d'exposition des professionnels et leur acceptabilité des solutions de prévention dans les protocoles de soin.

Une dernière partie de l'étude a consisté à évaluer la faisabilité de la récupération du protoxyde d'azote après captage pour éviter un rejet dans l'environnement et d'une éventuelle valorisation de ce protoxyde d'azote.

## Résultats principaux

Les résultats confirment les expositions importantes des personnels de soins au protoxyde d'azote lors de l'utilisation du Méopa, avec des disparités importantes selon la typologie des soins et des environnements de travail. Ils ont permis d'exclure certains dispositifs en raison de leur efficacité réduite et ils mettent également en évidence que si l'utilisation de ces solutions techniques est nécessaire pour réduire les expositions, elle n'est pas suffisante pour garantir le respect des valeurs limites d'exposition professionnelle dans tous les cas.

## Discussion

L'approche pluridisciplinaire de l'étude a permis de montrer que les solutions techniques ne pouvaient être totalement efficaces seules pour garantir un travail en toute innocuité et qu'elles devaient être accompagnées de formation et de mesures organisationnelles pour améliorer la perception du risque et intégrer dans les protocoles de soins des pratiques réduisant l'impact des gestes professionnels sur l'exposition. L'ensemble des conclusions de cette étude va alimenter les préconisations de prévention pour réaliser des soins sous Méopa tout en préservant la santé des personnels soignants.

2021-2025

## 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.

2021-2025

## 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.

2025-2026

## Identification des dysfonctionnements des appareils d'anesthésie dans les salles de soins des vétérinaires

■ Hubert MONNIER et Stéphanie MARSTEAU

*Département ingénierie des procédés*

L'isoflurane et le sévoflurane sont des produits anesthésiques utilisés dans les cabinets vétérinaires. De précédentes études ont montré que leurs concentrations mesurées dans certaines atmosphères de travail se situaient au-dessus de la valeur limite d'exposition professionnelle.

Ce travail consistera à :

- vérifier que les concentrations en produits anesthésiques au sein des salles de soins ne sont pas trop élevées ;
- proposer des solutions techniques afin d'améliorer le procédé ainsi que ses conditions d'utilisation ;
- s'intéresser aux pratiques d'utilisation mises en œuvre dans les salles de soin.

Les résultats permettront de préconiser si besoin des améliorations dans l'utilisation des appareils existants pour mieux prévenir le risque chimique.



## ► SUJETS ÉMERGENTS

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, Laurent GATÉ et Nathalie GROVA

*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, cancérigènes ou perturbateurs endocriniens des substances chimiques.

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

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

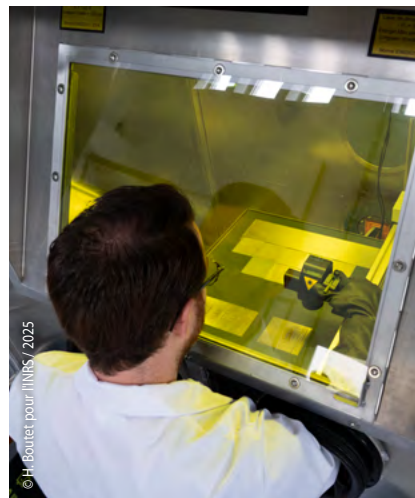
## Évaluation des émissions particulaires et gazeuses lors des opérations mobiles de décapage laser

■ 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.



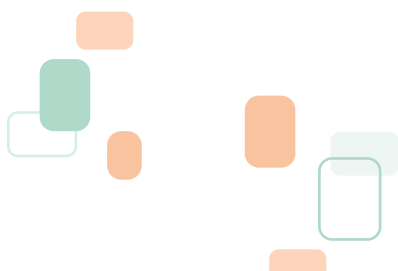
2025-2028

## Étude des performances de dispositifs optiques de mesures en temps réel de la granulométrie et de la concentration massiques d'aérosols selon les métriques santé travail

■ Olivier CARRIVAIN

*Département métrologie des polluants*

Les travaux de recherche proposés visent à établir les performances et les limites de certains modèles de compteurs de particules et de certaines technologies de micro-capteurs d'aérosols, afin de mieux objectiver, à terme, les apports de ces instruments de mesure en temps réel, pour la prévention des risques chimiques. Il s'agira d'améliorer l'état des connaissances en vue de tenter de répondre à la question d'intérêt et de plus-value des technologies étudiées (mesure de concentration massique en temps réel sur un opérateur) et de répondre aux enjeux de la prévention (identification de situations potentiellement exposantes, mises en place d'alarme...).



## ▶ AUTRES RISQUES CHIMIQUES

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 thermo-dégradation 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.

2025-2027

### Développement d'un système d'exposition cutanée sans véhicule pour l'évaluation du passage percutané de substances solides organiques

■ Fabrice MARQUET

*Département toxicologie et biométrie*

L'étude vise à développer un système novateur d'exposition cutanée sans véhicule (« dépôt à sec ») afin d'évaluer le passage percutané de substances solides. Actuellement, l'étude du passage percutané de substances solides requiert leur solubilisation dans un véhicule, ce qui peut avoir un impact sur les résultats. Ce nouveau système d'exposition par aérosol, basé sur des technologies ALI (*Air Liquid Interface*), offrirait une approche plus réaliste de certaines conditions d'exposition professionnelle.

En ouvrant de nouvelles perspectives de recherche dans le domaine de la toxicologie cutanée, ce système pourrait permettre l'étude du passage percutané de nouvelles familles de substances solides, telles des bisphénols ou PFAS, conduisant ainsi à l'établissement de nouvelles mentions « peau ».

2025-2028

## Étude sur les opérations de nettoyage/dépoudrage de pièces produites par fabrication additive

■ François-Xavier KELLER

*Département ingénierie des procédés*

Les conclusions de travaux antérieurs sur la caractérisation des émissions de différents procédés de fabrication additive métallique et non-métallique, avaient précisé que les phases annexes à celle de la fabrication présentaient des risques pour les opérateurs (nettoyage notamment). Cette nouvelle étude vise d'approfondir l'évaluation de différents procédés de nettoyage/dépoudrage des pièces. Elle permettra de caractériser le procédé de fabrication de pièces de grandes dimensions par la technique de fusion de fil métallique. Les problématiques liées aux phases transitoires que sont les phases de nettoyage/dépoudrage seront évaluées lors de mesures sur le terrain. À l'issue de cette étude, des moyens de transfert de bonnes pratiques de prévention seront proposés aux entreprises.

2025-2028

## Effets aigus de divers composés volatils industriels sur l'activité cérébrale : criblage électrophysiologique et recherche de seuil d'effet

■ Estefania BERNAL

*Département toxicologie et biométrie*

Certains composés organiques volatils (COV) peuvent provoquer une dépression du système nerveux central, caractérisée par de la somnolence, des états d'ébriété, ou des baisses de concentration et de coordination, qui peuvent augmenter les risques d'accidents du travail. Les données de la littérature sont parcellaires, en particulier sur les seuils d'effets. Cette étude vise à apporter de nouvelles connaissances sur la neurotoxicité aiguë des COV industriels. Le test systématique de différentes concentrations, dans des conditions expérimentales similaires, permettra de déterminer les seuils au-delà desquels les COV perturbent la fonction cérébrale et de comparer la toxicité des substances appartenant à une même famille chimique. Les seuils d'effet seront confrontés aux valeurs limites, si elles existent, afin d'estimer le risque pour les salariés exposés, et d'alerter si des substances se révélaient problématiques à des concentrations proches de celles mesurées dans les entreprises.

2025-2028

## Approche métabolomique non ciblée : traitement de données et applications en santé au travail

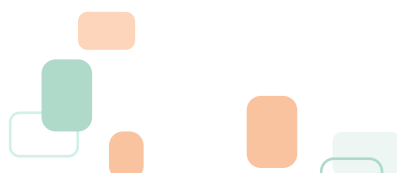
■ Baninia HABCHI et Aurélie REMY

*Département toxicologie et biométrie*

■ Thèse de doctorat : Kouater MTITOU

*Laboratoire N-GERE, Université de Lorraine -  
Nathalie GROVA*

Les travailleurs sont souvent exposés simultanément à plusieurs substances chimiques. Cette polyexposition peut augmenter le risque d'effet néfaste sur la santé, certaines substances en mélange pouvant s'avérer plus toxiques qu'individuellement. L'approche métabolomique non ciblée semble particulièrement appropriée pour évaluer et prendre en compte ces polyexpositions. L'objectif de cette étude sera d'appliquer cette méthode en milieux professionnels présentant un contexte de polyexpositions. Une surveillance biologique sera réalisée auprès de travailleurs du secteur du recyclage, du traitement des déchets d'équipements électriques et électroniques, du chromage, du soudage et de la peinture pour identifier les biomarqueurs d'exposition et/ou d'effets caractéristiques des polyexpositions, comprendre les scénarios d'exposition (par la séparation des travailleurs par les groupes d'exposition similaires) et identifier de potentielles nouvelles molécules.



## ➔ 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.**

## ► BRUIT

ÉTUDE  
TERMINÉE

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 GRIMAULT  
LORIA Université de Lorraine – Romain SERIZEL*

### Exposé des motifs et objectifs

La perception 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. Cette problématique est présente dans de nombreux secteurs d'activité bruyants, notamment les transports (route, ferroviaire et aérien), les industries lourdes (métallurgie, cimenterie, carrières...), la logistique, le BTP, la collecte et le traitement des déchets. La norme NF EN ISO 7731 (2008) définit un critère pour que les alarmes soient jugées « clairement audibles » : le niveau global en dB(A) de l'alarme doit dépasser d'au moins 15 dB celui du bruit ambiant ( $SNR > 15$  dB). Cependant, ce critère semble conduire à des alarmes ressenties par les salariés comme trop fortes lorsque les niveaux de bruit ambiants sont élevés. L'objectif de cette étude était de concevoir et de mettre en œuvre des méthodes d'évaluation de l'audibilité des alarmes pour qu'elles soient considérées comme « clairement audibles », sans toutefois être jugées excessivement fortes.

## Démarche

Le travail réalisé s'est réparti suivant trois axes de recherche complémentaires :

- l'amélioration d'un modèle de détection des alarmes, mis au point dans le cadre d'une précédente étude, dans le but de prédire les seuils de détection (c'est-à-dire les niveaux minimaux des alarmes pour qu'elles commencent à être entendues) ;
- l'étude expérimentale de l'audibilité des alarmes, visant à caractériser à la fois les seuils de détection et l'audibilité supraliminaires, sous forme de notes d'audibilité et du caractère « clairement audible » des alarmes ;
- le développement d'un système, basé sur un réseau de neurones convolutif, dans le but de prédire le caractère « clairement audible » des alarmes.

## Résultats principaux

Concernant le modèle de détection des alarmes, la comparaison de ses prédictions à des données expérimentales montre que les modifications apportées au modèle initial permettent une nette amélioration de la performance : 3,3 dB d'erreur quadratique moyenne, contre 6,1 dB pour la version initiale.

Concernant l'étude expérimentale de l'audibilité, elle a été menée avec vingt auditeurs normo-entendants auxquels il a été demandé d'évaluer trente associations alarme-bruit, dans des niveaux de bruit ambiant de 60 et 80 dB(A). Si les analyses montrent que la valeur du seuil de détection ne permet pas de prédire avec précision le caractère « clairement audible » d'une alarme, elles ont en revanche mis à jour un lien direct entre les notes d'audibilité et le pourcentage de réponses « clairement audibles ». En exploitant ce lien, un critère d'audibilité simple a été proposé, qui consiste à définir un SNR (rapport signal sur bruit entre le niveau sonore de l'alarme et le niveau sonore du bruit) qui décroît quand le niveau de bruit ambiant  $L_b$  (en dB(A)) augmente :  $SNR_{cible} = -0.5 L_b + 45$ . Ce critère garantit une bonne audibilité pour une grande variété d'alarmes et d'environnements sonores.

Concernant l'approche par réseau de neurones, un classifieur binaire a été développé dans le but de prédire le caractère « clairement audible (oui/non) » des alarmes. Pour cela, un jeu de données a été spécifiquement collecté pour permettre l'apprentissage du système. Les résultats montrent que les performances de classification du système sont proches de celles d'un humain émettant une réponse binaire à l'issue d'une présentation unique. Pour aller plus loin, la sortie continue du classifieur a été comparée à la fonction psychométrique moyenne obtenue avec les participants. Le réseau de neurones a permis de reproduire la dépendance au niveau de bruit observée expérimentalement avec les auditeurs.

## Discussion

Les travaux réalisés ont fait l'objet de deux articles dans des revues scientifiques internationales et de trois communications internationales avec actes. Par ailleurs les données et le modèle de réseau de neurones ont été mis à disposition de manière libre à la communauté scientifique. L'ensemble de ces valorisations devrait permettre de faire évoluer la norme ISO 7731 en proposant de remplacer le critère actuel par le critère  $SNR_{cible}$  présenté précédemment.



© H. Boulet pour l'INRS / 2025

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.

2023-2027

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

■ 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

2021-2025

### Modélisation du comportement vibratoire de la main : influence des forces de poussée/préhension et réponse aux ultra-vibrations

■ Christophe NOËL

*Département ingénierie  
des équipements de travail*

■ Thèse de doctorat : Simon VAUTHIER

*Institut FEMTO-ST – Université de Besançon -  
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.

2024-2028

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

■ Quentin PIERRON

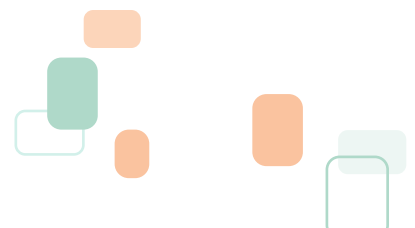
*Département ingénierie  
des équipements de travail*

■ Thèse de doctorat : Léo MICHEL

*Institut FEMTO-ST - Université de Besançon -  
Émeline SADOULET-REBOUL*

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

2022-2026

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

■ Baptiste RISTAGNO et Lucien HAMME

*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

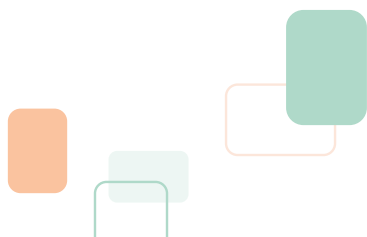
2020-2025

### 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

### Exposé des motifs et objectifs

Les accidents de la route lors du transport routier de marchandises (TRM) impliquant un poids-lourd (PL) peuvent provenir d'un mauvais arrimage du chargement, voire de son absence. L'arrimage consiste à éviter toutes instabilités du chargement : perte sur la route, mouvement vers la cabine ou chute à la livraison. Une norme de référence existe pour le calcul d'un d'arrimage sûr (EN 12195-1), pourtant les accidents d'arrimage restent fréquents. De plus les statistiques de ces accidents sont anciennes.



Cette étude avait donc pour but d'actualiser les données de sinistralité en lien avec un arrimage non conforme et de mieux comprendre les circonstances de ces événements. Il s'agissait aussi d'étudier en détail le contenu de la norme, les contraintes et les difficultés liées à sa mise en œuvre, ainsi que d'évaluer l'effet des hypothèses « mécaniques » simplificatrices introduites. *In fine*, l'objectif principal était de venir enrichir les connaissances pouvant être transférées dans l'offre des documents et outils de prévention pour promouvoir un arrimage plus sûr.

### Démarche

La collecte et l'analyse de données pour actualiser la sinistralité a impliqué la création d'un réseau de partenaires. Ensuite, deux outils sont venus compléter notre démarche : une application smartphone/web et un sondage. Des essais pratiques ont été menés sur pistes d'essai avec un camion, positionné dans des situations de conduite sévères (freinage, virage serré) et chargé de deux palettes, l'une arrimée de manière conforme et l'autre non. En parallèle, un système mécanique simplifié, sollicité comme lors des essais, a été modélisé à l'aide d'un logiciel tenant compte des déformations des dispositifs ainsi que des éléments constitutifs du chargement.

### Résultats principaux

Le nombre des accidents corporels et des incidents matériels a pu être réévalué dans le cadre d'un partenariat entre l'UGE/LMA<sup>1</sup> et l'INRS, co-financé par l'ONISR<sup>2</sup> qui a notamment permis l'accès au 1/50<sup>e</sup> du fichier TRANS-PV<sup>3</sup>. Cette analyse a été complétée par l'exploitation des données issues des bases de la Cnam et d'Epicea ainsi que des statistiques de certaines Dreal et sociétés d'autoroutes. Une application web/smartphone a été conçue ainsi que deux sondages (diffusés à partir d'octobre 2024). Les résultats obtenus suite aux essais et ayant des débouchés en prévention ont été synthétisés dans une offre de sensibilisation qui inclut des messages clairs et des solutions pratiques.

### Discussion

Cette étude a permis de faire un nouvel état des lieux de l'enjeu des accidents en lien avec un manque d'arrimage dans le TRM. Plusieurs valorisations ont été réalisées et d'autres sont en cours, en particulier le montage d'une formation « pilote » avec la Carsat Bretagne. Les travaux de modélisation seront poursuivis dans le cadre d'une nouvelle étude longue qui pourrait démarrer en janvier 2026.

<sup>1</sup> Laboratoire des mécanismes d'accidents de l'Université Gustave Eiffel.

<sup>2</sup> Observatoire national interministériel de la sécurité routière.

<sup>3</sup> Procès-verbaux d'accidents corporels établis par les forces de l'ordre et déposés dans la base gérée par l'Association pour la gestion des informations sur le risque en assurance (AGIRA).

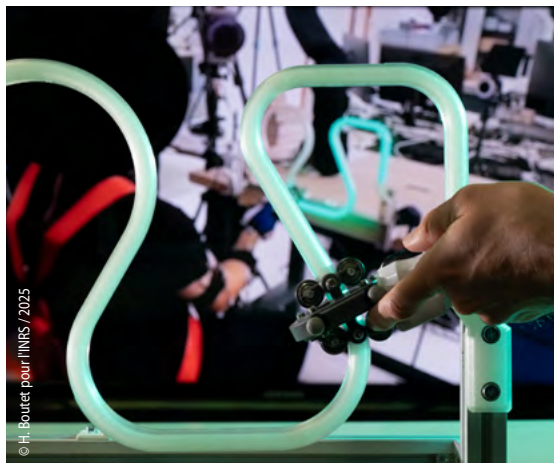
2023-2026

## 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 réelle ;
- élaboration d'un modèle dynamique de robot collaboratif permettant, dès les étapes de conception, de choisir et positionner les dispositifs de sécurité ;
- 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.



© H. Boulet pour l'INRS / 2025

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 : Mengyang JIANG  
 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 une démarche pour concevoir des ateliers de démantèlement en intégrant les aspects de santé et de sécurité. Elle 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 des 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 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.

2025-2028

## Évaluation et réduction du risque de collision des robots mobiles avec des personnes

■ Michaël SARREY

*Département ingénierie des équipements de travail*

L’émergence de l’intelligence artificielle dans les robots mobiles en démocratise les usages. Plus autonomes et aptes à évoluer dans des environnements complexes, ces robots, déjà utilisés dans la logistique et le nettoyage, devraient intégrer des sites industriels et des chantiers. Ces usages font émerger le risque de collision.

Cette étude a pour objectif d’identifier les facteurs intervenant dans le risque de collision robot/personne, de dresser un état de l’art des mesures de réduction de ce risque et d’étudier l’adéquation de ces mesures, en vue d’alimenter les travaux normatifs sur le sujet, d’informer les préventeurs, intégrateurs et concepteurs d’applications de robotiques mobiles.



2025-2028

## Détermination de profils d’accélération type lors des activités de tirer-pousser de chariots de manutention manuels – application à l’automatisation des essais normatifs

■ Stéphane GILLE

*Département ingénierie des équipements de travail*

Malgré l’automatisation croissante, la manutention manuelle reste courante dans de nombreux secteurs, tels que la logistique, le secteur médico-social, notamment pour tirer et pousser du matériel roulant. Ces tâches peuvent engendrer des efforts importants et participer à la survenue de troubles musculosquelettiques. Cette étude vise à déterminer des profils d’accélération représentatifs des mouvements réalisés pour mettre en mouvement des équipements roulants. Ils pourront ensuite être intégrés aux protocoles d’essais des normes de conception, permettant ainsi de définir, de manière précise, la charge nominale des dispositifs en tenant compte des efforts maximaux et des conditions réelles d’utilisation. Un banc d’essai sera développé ainsi qu’un estimateur d’effort qui pourra être mis à disposition des entreprises.

ÉTUDE  
TERMINÉE

## ▶ 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***Exposé des motifs et objectifs**

En France, 25 000 salariés dépendant du régime général de la Sécurité sociale exercent la fonction de professionnels navigants commerciaux. Le secteur emploie autant de femmes que d'hommes. Tous partagent des conditions de travail propres dont l'une des spécificités notables est l'exposition à des mouvements parasites combinée à la marche ou la station debout. Ces mouvements sont induits selon les secteurs par la houle, par des turbulences ou par des secousses. Les statistiques d'accidents de travail démontrent la prévalence des risques de chute liés à ces conditions de travail particulières. Ainsi, le risque de chutes de plain-pied demeure un risque professionnel majeur à l'origine de 16 % des accidents du travail. Cette étude visait à proposer une approche de modélisation biomécanique dans le cadre d'une collaboration avec l'INAIL, institut homologue italien et l'école polytechnique de Milan (POLIMI). Dans ce projet de collaboration, les partenaires de l'INRS avaient prévu de conduire des essais de caractérisation des effets de mouvements parasites du sol, de type roulis tangage ou vertical sur la marche humaine. L'INRS avait quant à lui prévu de modéliser la marche humaine, dans ces mêmes conditions, dans une approche de simulation biomécanique, et de confronter les résultats d'essais et la modélisation, dans le but de valider le modèle d'humanoïde marcheur.

**Démarche**

L'INRS a conçu et fabriqué un banc d'essai permettant de capturer le mouvement d'ensemble du corps de sujets humains marchant sur un tapis roulant soumis à diverses excitations de type harmonique ou aléatoire, contrôlées en amplitude et fréquence, selon des axes de roulis, de tangage ou vertical ou combinant roulis et tangage. 40 sujets ont réalisé 69 essais chacun, correspondants à des combinaisons différentes de paramètres d'excitation. Au total, 2 800 essais ont été réalisés, ce qui correspond à plus de 250 km de marche. Le doctorant financé par POLIMI a été accueilli pour une durée de 6 mois au sein de l'INRS. Pendant cette période il a été formé à la modélisation mécanique et a pu implémenter un modèle d'humanoïde marcheur issu de la littérature scientifique.

**Résultats principaux**

Les données issues des essais réalisés par l'INRS ont été capitalisées sous forme de banque de données de mouvement. Une analyse descriptive a permis d'analyser les différentes stratégies observées dans le groupe de sujets volontaires, comme l'écartement des pieds, l'inclinaison de la colonne, l'orientation de la tête, la rotation des chevilles, l'usage des membres supérieurs. Ces essais ont également mis en évidence l'effet des mouvements parasites du sol sur la cadence et la régularité de la marche et des difficultés de synchronisation des mouvements chez certains sujets. Le modèle numérique d'humanoïde marcheur n'a pas franchi l'étape de validation, nécessaire à son utilisation comme outil d'aide à la compréhension des mécanismes biomécaniques de la marche en environnement perturbé et encore moins comme outil d'aide à la conception des environnements de travail mobiles.

**Discussion**

Les données expérimentales acquises lors de cette étude pourront faire l'objet d'analyses approfondies en appui aux travaux de normalisation engagés au niveau international sur la marche en environnement perturbé. Le modèle numérique d'humanoïde marcheur a été entièrement redéveloppé en interne. Il est prévu de le valider et de l'utiliser dans le cadre des travaux de normalisation.

## ▶ AMBIANCES THERMIQUES

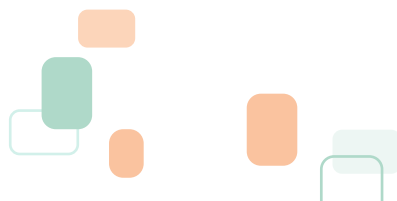
2024-2027

### 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.



## ➔ 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'entreprise, 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 focalisera 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'appuieront 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, branches professionnelles, services de santé au travail, etc.).

## ► CONCEPTION DES LIEUX ET DES SITUATIONS DE TRAVAIL

2022-2025

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

■ Mahenina Remiel FENO

Département ingénierie  
des équipements de travail

■ Thèse de doctorat : Ferial MOALLA

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

L'émergence d'outils numériques liés au BIM (modélisation des informations du bâtiment) a mis en lumière des opportunités pour intégrer efficacement les exigences de santé et de sécurité dès la conception d'un bâtiment recevant des travailleurs. L'objectif de cette étude est d'aider à mettre en œuvre cette démarche. Il s'agit plus particulièrement de proposer un modèle pour formaliser les exigences d'exploitation issues de l'analyse des usages. Le travail 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 consistera en un modèle de données des exigences de sécurité et des scénarios de conception associés.

## ► ORGANISATION DE LA PRÉVENTION ET PERCEPTION DU RISQUE

ÉTUDE  
TERMINÉE

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

#### Exposé des motifs et objectifs

La perception des risques renvoie aux organes des sens et au jugement subjectif que les individus portent sur les caractéristiques et la gravité d'un risque. La représentation des risques renvoie à l'image que l'individu s'en fait. En étudiant l'activité des préventeurs dans deux domaines du risque, l'un *a priori* ancien – le risque lié au bruit dans le milieu industriel –, l'autre *a priori* émergent – le risque chimique dans les entreprises de traitement des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) –, l'objectif était de comprendre comment les préventeurs saisissent les perceptions et les représentations des risques de leurs interlocuteurs pour agir, ce qu'ils en font et à quelles conditions ils parviennent à engager une action.

#### Démarche

Après une pré-enquête avec les experts INRS et des entretiens avec 22 préventeurs sur les dispositifs d'action en prévention et les pratiques répandues dans le domaine, l'activité des préventeurs et le travail de prévention ont été analysés dans cinq entreprises (deux industrielles pour le risque lié au bruit, trois D3E), de manière processuelle et systémique. Pour reconstituer les systèmes d'actions concrets dans leur dynamique processuelle, les entretiens réalisés avec les préventeurs ont été complétés par l'analyse d'archives. Pour reconstituer les systèmes d'actions dans leur dynamique récente, toutes les parties ont été interrogées et observées – salariés de l'entreprise, chefs d'équipe, employeur et préventeurs. L'analyse séquentielle a ensuite permis de déterminer les éléments structurants dont la comparaison a fait émerger des enseignements plus généraux.

## Résultats principaux

Il est ainsi apparu que dans les entreprises étudiées, toutes les parties abordent ces risques en posant trois questions. Dans les D3E, les risques chimiques sont appréhendés à travers la question du plomb, celle de la poussière et celle de la spatialisation et territorialisation des risques. Dans les établissements industriels, le risque bruit est appréhendé à travers la question de la perte auditive, celle de la fatigue et de la gêne auditive et celle de la spatialisation et territorialisation des risques. Domaine par domaine, ces questions correspondent à des moyens de qualification de ces risques, institués depuis longtemps : analyser le danger, le risque ou l'atteinte et la situation d'exposition. Pour chacun de ces risques, lorsque les préventeurs ne parvenaient pas à poser ces questions dans les échanges, cela pouvait induire des effets de myopie, contribuer à occulter d'autres dimensions du problème, susciter l'expression de déni, voire de ne pas poursuivre leur démarche jusqu'à terme. Quand, après que le danger et le risque eurent été analysés, les préventeurs prenaient appui sur ces analyses pour négocier l'étude des situations d'exposition avec les travailleurs, ils arrivaient alors au terme du travail de prévention initié. Les travailleurs associés avaient ainsi acquis de nouvelles connaissances. Ils prenaient à leur tour des initiatives et développaient un autre rapport au risque. Les choix techniques et organisationnels élaborés étaient mieux acceptés. Le travail de prévention lui-même en était enrichi.



© F. Dimier pour l'INRS / 2017

## Discussion

L'analyse des conditions dans lesquelles ces démarches ont pu être négociées démontre l'intérêt d'articuler analyse du danger, analyse du risque et analyse des situations de travail, dans le travail de prévention. Or la documentation de chacune de ces questions est inégale. La première est mieux renseignée que la seconde qui, elle-même, est mieux renseignée que la troisième, et peu de documentation technique porte sur les moyens d'articuler les trois.

À l'éclairage de cette nécessaire articulation, des discussions seront engagées avec les experts de l'INRS pour repenser la documentation et les produits de transfert dans les deux domaines de risque.

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 ;
- une enquête sur le terrain auprès d'entreprises entre 50 et 500 salariés, dans trois domaines d'activités différents (bâtiment, activités industrielles, et de services).

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

2023-2028

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

■ Stéphanie BOINI-HERRMANN, Régis COLIN et Michel GRZEBYK

*Département épidémiologie en entreprise*

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

## ► PRÉVENTION DE LA DÉINSERTION PROFESSIONNELLE

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 HOUAR

*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 et de 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)

2021-2024

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

■ Liën 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 CEGARR*

## Exposé des motifs et objectifs

Dans le cadre de la prévention des troubles musculosquelettiques (TMS), lorsque toutes les solutions d'amélioration des conditions de travail ont été testées, les exosquelettes professionnels peuvent être envisagés comme une option susceptible de contribuer à cette amélioration. Leur rôle potentiel en termes de prévention rend cruciale la question de leur adoption par les salariés, en particulier dans le contexte actuel de modernisation des entreprises. Traiter de l'adoption à l'aune de la prévention des risques professionnels, conduit à se centrer sur la qualité de l'interaction homme-exosquelette (IHE) dont la dégradation peut constituer un facteur de risque psychosocial, de TMS, voire d'accident. L'objectif de ces travaux était de formaliser les mécanismes d'adoption d'un exosquelette professionnel.

## Démarche

Une série de quatre études auprès d'une vingtaine d'entreprises a été menée, mettant en œuvre plusieurs méthodes : un questionnaire sur l'adoption des exosquelettes élaboré par l'INRS, des entretiens individuels et collectifs, ainsi qu'une approche longitudinale.

## Résultats principaux

L'adoption d'un exosquelette est un processus jalonné d'étapes lors desquelles plusieurs déterminants interagissent (facilité d'utilisation, performance en termes de santé et sécurité...). Elle résulte de la qualité de l'IHE et des transformations de l'activité liées à l'usage de l'exosquelette. Ainsi, lors de la première étape de familiarisation, l'utilisateur apprend à interagir avec l'exosquelette, ajuste ses stratégies gestuelles et gère les effets secondaires du dispositif. Cette étape est marquée par une instabilité des évaluations de l'utilisateur à l'égard du dispositif. Si l'utilisateur parvient à maîtriser le dispositif, une phase de stabilisation s'ensuit, menant à une utilisation pérenne. Cette dernière est caractérisée par une qualité d'IHE satisfaisante pour l'utilisateur, par une incorporation de l'exosquelette dans son schéma corporel, un usage routinier du dispositif dans la tâche initialement prévue et dans de nouvelles tâches pour lesquelles l'utilisateur a exploré l'intérêt du dispositif en termes de santé et sécurité. Par ailleurs, lors de l'intégration d'un exosquelette au sein d'un collectif, des dynamiques positives ou négatives émergent et influencent son adoption ou son rejet.

## Discussion

La formalisation du processus d'adoption a permis de définir de nouveaux repères en définissant les caractéristiques de la familiarisation individuelle. Des pistes de prévention ont été définies, comme la nécessaire instauration d'une familiarisation collective ainsi que l'identification de nouveaux indicateurs de suivi et d'évaluation de la qualité d'IHE. Des outils sont en cours d'élaboration ; une version révisée du questionnaire INRS sur l'adoption des exosquelettes et un support opérationnel d'intervention et d'accompagnement à destination des préventeurs engagés dans des projets exosquelette. Par ailleurs, les enseignements de cette recherche peuvent être également appliqués à d'autres systèmes (EPI, cobot...). Cette recherche a fait l'objet d'un produit de transfert (ED 6531), de publications dans des revues internationales à comité de lecture, des revues nationales en prévention, des congrès internationaux et nationaux à destination des préventeurs.



© H. Boutelet pour l'INRS / 2025

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.

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.

## ► RISQUES PSYCHOSOCIAUX (RPS)

ÉTUDE  
TERMINÉE

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*

### Exposé des motifs et objectifs

Le monde du travail actuel manifeste un intérêt grandissant pour les formes d'organisation participatives qui favorisent l'autonomie et l'implication des salariés. Basées sur un système d'auto-gestion du travail par équipes, elles apparaissent comme une alternative aux modes de management classiques. Dans le secteur des services à la personne, l'engouement

pour ces nouvelles formes d'organisation est incontestable. Les difficultés rencontrées dans ces services sont principalement liées à la pénurie de personnel, et aux taux de turn-over, d'absentéisme et de sinistralité élevés. Ces nouvelles formes d'organisation apparaissent comme une option managériale pertinente pour contrer ces difficultés. Si des mesures de prévention adaptées au secteur existent et sont diffusées, elles concernent très largement des structures organisées en management traditionnel. Le mode d'organisation en équipes autonomes est encore mal connu, et la prévention dans ce champ en est à ses balbutiements. Le but de l'étude était de savoir si ce système d'équipes autogérées facilite l'activité des travailleurs et accroît l'épanouissement au travail, ou au contraire, s'il accentue les risques psychosociaux, afin d'identifier les enjeux et leviers de prévention.



## Démarche

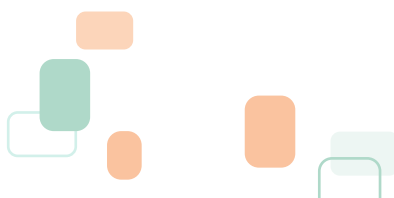
Deux recherches longitudinales ont été menées dans deux entreprises d'aide à domicile ayant appliqué le principe d'équipes autonomes appelé « Buurtzorg ». La méthodologie a reposé sur la mise en œuvre d'une recherche psychosociologique dans une entreprise et d'une recherche-intervention psycho-ergonomique dans l'autre. Des analyses qualitatives du travail et de l'organisation en transformation ont été réalisées, à partir d'entretiens, d'observations de l'activité à domicile et de réunions d'équipe, d'auto-confrontations collectives et de débriefing de ces auto-confrontations.

## Résultats principaux

L'étude a conduit à analyser les situations de travail réel auxquelles les salariés étaient confrontés. Le nouveau mode d'organisation a favorisé l'activité, grâce notamment à des prises de décision plus directes, et une gestion individuelle et collective des risques mieux maîtrisée. Puis sont apparus progressivement des craintes et du stress, dus à une surcharge de travail pour acquérir les nouvelles compétences et assurer les nouveaux rôles, à une sur-responsabilisation et à une surcharge de travail collaboratif. Des frustrations sont nées avec l'insatisfaction des attentes de reconnaissance en lien avec l'accroissement des efforts fournis. Si l'autonomisation motive les salariés, elle nécessite du temps et de l'investissement, une reconnaissance accrue, une confiance intra-équipe et des responsabilités partagées.

## Discussion

L'étude a permis de dégager les apports de cette nouvelle forme d'organisation, mais aussi les risques professionnels associés, et à mettre en place des mesures de prévention co-construites avec les acteurs de terrain. En étudiant les facteurs de risques psychosociaux préexistants, les risques professionnels émergeant, et les risques futurs probables, et en développant un plan d'action de prévention, qui a été appliqué sur le terrain, l'étude a amené de nouvelles connaissances théoriques, méthodologiques et pratiques de prévention. Des perspectives sont envisagées comme l'évaluation des mesures appliquées ou encore l'exploration de cette forme d'organisation appliquée à un autre secteur d'activité afin de tester sa reproductibilité.



2020-2025

## 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 : Émilie DUFOUR

*Université Grenoble Alpes – LIP/PC2S –  
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 d'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. Trois entreprises de service ayant adopté ce modèle seront 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 sera conduite.

2025-2028

## La force des indicateurs de santé-sécurité pour coordonner la prévention. Étude conjointe de la construction d'indicateurs RPS dans le champ médico-social et de filières professionnelles en transformation

■ Éric DRAIS

*Département sciences appliquées au travail et aux organisations*

La mesure et la surveillance des expositions professionnelles sont des conditions essentielles de la prévention des risques, y compris pour les risques psychosociaux (RPS) qui ont la particularité de concerner toutes les activités de travail. Pour améliorer le dépistage, l'évaluation et le pilotage des actions de prévention des RPS, l'étude propose une analyse conjointe de pratiques de caractérisation et de suivi des expositions aux RPS, dans deux champs de prévention à forts enjeux. Le premier concerne les violences dans le secteur médico-social et le second, les conséquences en termes de RPS des transformations du travail liées à la transition écologique. Basée sur une méthode d'enquête qualitative à partir d'entretiens, d'observations et d'accompagnement d'actions de prévention, cette étude vise à analyser la construction et l'usage d'indicateurs de prévention des RPS et de développer des préconisations sur l'identification et la caractérisation des RPS, avec des indicateurs multidimensionnels, susceptibles de favoriser une coordination entre les acteurs concernés.

## ► 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.

2025-2028

### Évaluation de la charge mentale lors de l'interaction avec de la réalité virtuelle dans le cadre des processus de formation

■ Moussa DIARRA

*Département sciences appliquées au travail et aux organisations*

Des technologies numériques telles que la réalité virtuelle (RV) sont de plus en plus intégrées dans les environnements de travail pour faciliter l'interaction entre le monde physique et numérique. Cependant, leurs effets sur la santé et la sécurité des utilisateurs restent peu documentés ou controversés. Cette étude a pour objectifs d'évaluer l'impact de la RV sur le niveau d'effort cognitif requis lors de l'exécution de tâches professionnelles et de mesurer l'efficacité de formations techniques réalisées en RV.

Pour explorer ces questions, une étude expérimentale sera mise en place en laboratoire, afin d'analyser l'effet de l'immersion en RV. Les résultats visent à fournir aux utilisateurs, entreprises et formateurs, des données tant pour la santé mentale (charge cognitive) que pour la qualité de la formation (apprentissage procédural). En complément, elle permettra de disposer de méthodes de mesure fiables pour une évaluation objective de la charge mentale au travail.

## ► AUTRES EFFETS SUR LA SANTÉ

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 14 études conduites en 2025 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.

2025-2028

## Modélisation de la dispersion et du dépôt des fibres pour la ventilation prévisionnelle

■ Emmanuel BELUT et Romain GUICHARD

*Département ingénierie des procédés*

Les poussières fibreuses se distinguent par leur forme allongée et sont définies comme telles lorsque leur longueur est au moins trois fois supérieure à leur diamètre. Plusieurs secteurs produisent ou utilisent ces fibres, comme le BTP avec les chantiers de désamiantage et la manipulation de laines minérales d'isolation, ou le secteur industriel avec la mise en œuvre de fibres céramiques réfractaires pour l'isolation des fours. Cette étude vise à développer un modèle numérique pour prévoir leur dispersion et leur dépôt, en tenant compte de leurs spécificités morphologiques. Les principales étapes incluent la définition du caractère inhalable des fibres, la modélisation de leur transport et l'évaluation des limites des modèles actuels, basés sur des sphères équivalentes. Les résultats permettront d'améliorer les recommandations sur les systèmes de prélèvement et de ventilation.

■ Thèse de doctorat : Aurélien CHATAIN

*LEMETA, Université de Lorraine, Anne TANIÈRE*



2025-2028

## Développement d'outils de caractérisation de la cinétique de transformation des aérosols liquides

■ Emmanuel BELUT

*Département ingénierie des procédés*

■ Thèse de doctorat : Alisher BATTALOV

*LGC, INP Toulouse - Kévin ROGER,*

*ASNR - Pascal LEMAITRE*

Les aérosols liquides partiellement volatils, formés à partir de gouttelettes de solutions complexes, sont ubiquitaires dans les environnements de travail et souvent porteurs de matières chimiquement, biologiquement ou physiquement dangereuses. Leur diamètre, morphologie, densité ou dangerosité évoluent rapidement au cours de leur transport aérien, du fait de leur dessiccation. Dans le cadre d'une collaboration avec l'ASNR (Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection) et le CNRS (Laboratoire de génie chimique de Toulouse), l'objectif de cette étude est de mettre au point des moyens d'essai génériques permettant d'observer et de caractériser la cinétique d'évolution des propriétés de ces aérosols partiellement volatils (dimension, morphologie, densité et activité biologique). Il s'agit de pouvoir alimenter des modèles prédictifs pour déterminer des données de prévention (temps de résidence et distances de sécurité notamment).

## ➔ 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.

2022-2026

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

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

■ Thèse de doctorat : Reshad FANTELLI

*Inrae – Céline DELBES*

■ Fabrice BATAIS et Sandrine JACQUENET

*Département toxicologie et biométrie*

Les objectifs de ce projet sont 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 sera 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.

2025-2026

## Polyexposition par inhalation des travailleurs dans les centres de tri des déchets ménagers et besoins en prévention : étude d'instruction

■ Ronan LEVILLY

*Département ingénierie des procédés*

Cette étude d'instruction porte sur l'impact de l'évolution des consignes de tri des déchets ménagers sur les polyexpositions des travailleurs et sur l'efficacité des moyens de prévention en place. Les objectifs sont de compléter les connaissances sur les expositions en actualisant et analysant la bibliographie sur le sujet, de préciser les besoins en prévention dans ce secteur, d'apporter des éléments pour mieux appréhender l'impact des consignes, d'identifier les coopérations nécessaires à une étude longue et de préciser la portée de la révision d'un guide INRS (ED 6098). L'étude consistera à mettre à jour les connaissances bibliographiques, techniques et organisationnelles sur la filière (visites de sites et contacts avec la profession), à rechercher des partenariats externes et à étudier l'opportunité d'une approche multiexposition (métrologie des poussières, bioaérosols, bruit, vibration, ergonomie des postes de travail) pour proposer une stratégie de mesure adéquate.

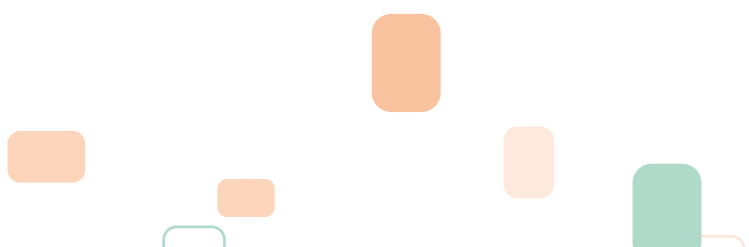
2025-2028

## Caractérisation des émissions liées au broyage des matériaux : application aux DEEE

■ Fabien GERARDIN et Marie-Thérèse LECLER

*Département ingénierie des procédés*

La fragmentation des solides par broyage est une opération émissive de polluants, libérés dans les ambiances de travail de secteurs industriels, tels les mines et carrières, les cimenteries, le traitement des déchets, la chimie, la pharmacie et l'agroalimentaire. L'objectif de cette étude est de proposer une approche méthodologique qui visera à caractériser les polluants gazeux et particulaires émis lors du broyage de fractions issues de déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) contenant des plastiques et des cartes électroniques, puis de proposer des solutions technologiques destinées à réduire le risque chimique associé. Les travaux reposeront sur la caractérisation expérimentale en laboratoire et sur la modélisation des émissions de polluants générées par le broyage, en vue de mieux évaluer l'exposition des salariés aux composés toxiques dans le secteur du traitement des DEEE.



## ➔ 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.

## Conditions d'usages des logiciels de soins dans les Ehpad : contraintes et opportunités pour la prévention des RPS du personnel soignant

■ Aude CUNY et Marjorie PIERRETTE

*Département sciences appliquées au travail et aux organisations*

### Exposé des motifs et objectifs

Sous l'impulsion du Ségur numérique en santé, les Ehpad s'équipent de logiciels de soins regroupant l'ensemble des informations et des actes de prise en charge des résidents. Leur utilisation par les soignants peut s'accompagner d'une exposition à des facteurs de risque psychosociaux. L'objectif était d'identifier les usages des logiciels de soins et d'analyser les contraintes et ressources psychosociales associées à ces usages en matière d'intensité du travail, d'autonomie, de sens et de collectif. La finalité de ce travail était l'identification des déterminants à cibler pour limiter les contraintes et favoriser les ressources liées à l'utilisation de ce type de technologie sur la santé psychologique des aides-soignants, infirmiers et infirmiers coordinateurs d'Ehpad privés.

### Démarche

Un premier recueil de données permettant d'affiner les critères des situations à observer a été mené à partir de 22 entretiens semi-directifs avec des soignants d'Ehpad privés utilisateurs de logiciels de soins. Une étude de cas a ensuite été réalisée au sein de deux établissements. L'analyse de 150 heures d'observations et d'entretiens menés auprès de 15 soignants, a permis de construire des hypothèses sur les liens entre les caractéristiques des situations de travail, les usages des logiciels et les effets sur l'intensité du travail, l'autonomie, le sens et le collectif. Enfin, un questionnaire a été élaboré afin de valider ou infirmer ces hypothèses. Il a été adressé aux aides-soignants et aux infirmiers d'Ehpad privés et a permis de recueillir 436 réponses.

### Résultats principaux

L'usage du logiciel de soins est globalement associé à une meilleure prise en charge des résidents, ainsi qu'à la possibilité de se protéger en cas de litige. Cependant, le manque de temps, de formation, ainsi que des difficultés techniques et leur gestion augmentent le sentiment que l'utilisation du logiciel réduit le temps disponible pour des activités que les aides-soignants et infirmiers estiment plus importantes. Un sentiment d'intensification du travail peut apparaître et varier, notamment selon la temporalité d'usage : l'usage en temps réel s'assortit d'un sentiment d'interruptions alors que l'usage en temps différé implique des efforts de mémorisation et de peur d'oubli. Le logiciel soutient globalement l'autonomie des soignants, mais celle-ci est réduite par l'insuffisance de formation, l'absence de confiance dans les éléments transmis par autrui dans le logiciel et la faible influence de l'utilisateur sur le contenu du logiciel. Le logiciel facilite également la coordination des activités, mais peut devenir une source de conflit si les données fournies par les autres sont insuffisantes.

### Discussion

Des recommandations sont proposées concernant les conditions de mise en œuvre des logiciels, que ce soit sur le plan matériel et technologique (disponibilité des outils, adaptation des interfaces...), temporel (temps disponible, articulation des temporalités), ou organisationnel (formation, soutien aux rôles des encadrants...). Les perspectives concernent le soutien aux usages des autres professionnels intervenant sur le logiciel et impactant l'expérience d'utilisation des soignants concernés par l'étude.



## ➔ Perturbateurs endocriniens

Les pathologies suspectées d'être associées à des expositions aux perturbateurs endocriniens (PE) 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.

2021-2025

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

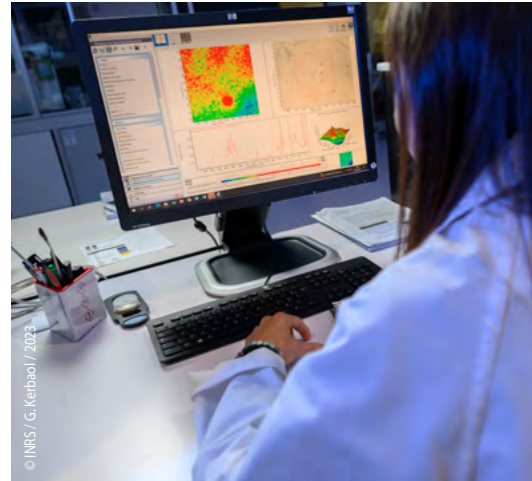
■ Marie-Thérèse LECLER et François ZIMMERMANN

*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.



2022-2027

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

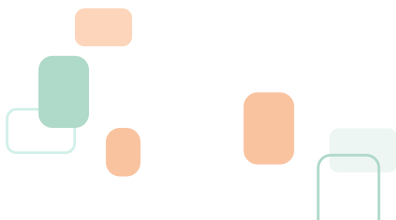
■ Romain PONS et Anca RADAUCEANU

*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.



## ➔ 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...).

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.

2022-2025

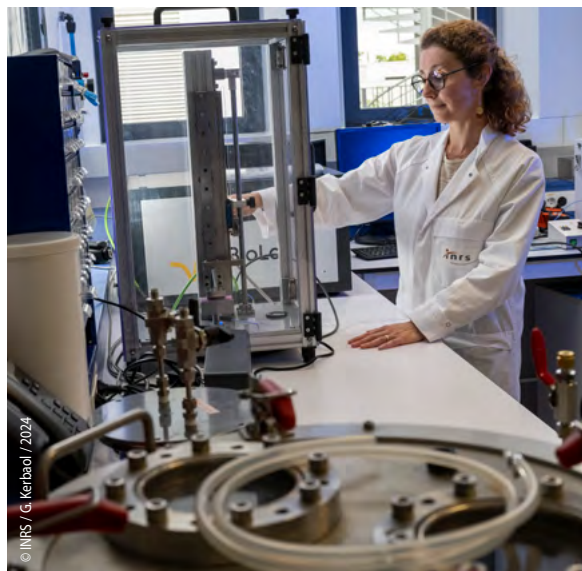
## Étude des émissions de polluants au cours du cycle de vie des batteries lithium

■ 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 GATÉ

*Département toxicologie et biométrie*

Certaines nanoparticules d'oxydes de terres rares (NOT) sont utilisées dans la fabrication d'appareils ou dispositifs électriques ou électroniques. Les difficultés à s'approvisionner en terres rares ont encouragé le développement du recyclage des déchets électriques et électroniques. Or, ces procédés de recyclage sont susceptibles d'émettre des NOT dont les propriétés toxicologiques restent parcellaires. L'objectif de cette étude sera d'évaluer le potentiel transformant et génotoxique *in vitro* de cinq NOT utilisées dans la fabrication d'appareils électriques et électroniques. Elle vise à apporter des connaissances toxicologiques afin de mieux appréhender le danger que pourraient représenter une exposition professionnelle à ces nanomatériaux potentiellement présents sur les sites de recyclage.

# COMMISSION SCIENTIFIQUE DE L'INRS

## (Composition au 31 octobre 2025)

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) – Centre universitaire de médecine générale et santé publique - Département santé, travail et environnement (DSTE)
--------------	--

### Vice-présidente

Laurence LE COQ	Direction générale de l'Institut Mines Télécom – École nationale supérieure Mines (UMR CNRS 6144)
-----------------	---

### Autres membres

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
-------------------	---

Élodie DEQUAIRE	Centre technique des industries mécaniques (Cetim Centre-Val de Loire)
-----------------	--

Alexis D'ESCATHA	Irset Équipe 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 de 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 de 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 de 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 Équipe 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 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) en Centre-Val de Loire
Jacques FELBLINGER	U 1254 Inserm – Unité imagerie adaptative diagnostique et interventionnelle. IADI – Université de Lorraine
Patrick HENAFF	École nationale d'ingénieurs de Brest (ENIB) – Laboratoire LabSTICC UMR CNRS 6285
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 – Direction des risques professionnels et interventions sociales – Département prévention
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-SALAUN	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	Direction générale de l'Institut Mines Télécom – École nationale supérieure Mines
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	École 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	École nationale supérieure de chimie et ingénierie des procédés – UMR 6226 CNRS – UR1 – ENSR – Insa – Institut des sciences chimiques de Rennes

## Membres du groupe de suivi département métrologie des polluants

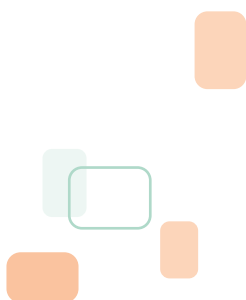
Delphine BARD	Laboratoire "Health and Safety Laboratory" Science Division Harpur Hill (Royaume-Uni)
Denis BOULAUD	Association française d'études et recherches sur les aérosols
Christine BOUST	Carsat Normandie – DRP – Laboratoire Interrégional de Chimie
Martine CHOUVET	Institut technique des gaz et de l'air – Laboratoire Prysm d'Algade – Technopole le Polygone
Evelyne GEHIN	EA 3481 Université Paris Est à Créteil – Centre d'études et de recherche en thermique environnement et systèmes (Certes)
Jérôme LAVOUE	École de santé publique – Université de Montréal (Canada)
Pierre LE CANN	École des hautes études en santé publique (EHESP) à 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) – Centre universitaire de médecine générale et santé publique – Département santé, travail et environnement (DSTE)

## 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	UR 20296 – Université de Poitiers – Laboratoire Move
Sandrine CAROLY	Université de Grenoble-Alpes (UGA) – Laboratoire Pacte UMR 5194
Nicolas DECHY	Autorité et de sûreté nucléaire et de radioprotection – Service homme organisation technologie – Direction de l'expertise en sûreté / SHOT/BFOH
Raphaël DUMAS	Laboratoire de biomécanique et mécanique des chocs (LBMC UMR T9406) – Université Gustave Eiffel de Lyon
Alain GARRIGOU	Inserm U1219 Équipe 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-Dauphin
Michel NIEZBORALA	Médecin du travail consultant et formateur en santé au travail indépendant
Valérie SAINT-DIZIER	Laboratoire lorrain de psychologie et neurosciences de la dynamique des comportements – Université de Lorraine

**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
Saadia Kerdine-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 et santé au travail de Bourges



# PUBLICATIONS 2024

## ➔ Prévention des risques biologiques

### ■ RISQUE INFECTIEUX

#### Science of the Total Environment

■ DIAS M., GOMES B., PENA P., CERVANTES R., BESWICK A., DUCHAINE C., KOLK A., MADSEN A.M., OPPLIGER A., POGNER C., DUQUENNE P., WOUTERS I.M., CROOK B., VIEGAS C. - Filling the knowledge gap: Scoping review regarding sampling methods, assays, and further requirements to assess airborne viruses. (Comblent les lacunes en matière de connaissances : Examen de la portée des méthodes d'échantillonnage, d'analyse et des exigences supplémentaires pour l'évaluation des virus en suspension dans l'air). 2024, Vol. 946 (2024).

#### Atmosphère, 2024

■ DUQUENNE P., SIMON X., COULAIS C., KOEHLER V., DEGOIS J., FACON B. - Bioaerosol exposure during sorting of municipal solid, commercial and industrial waste: concentration levels, size distribution, and biodiversity of airborne fungal. (Exposition aux bioaérosols lors du tri des déchets municipaux solides, commerciaux et industriels : niveaux de concentration, distribution des tailles et biodiversité des communautés fongiques en suspension dans l'air). 15, 461.

#### Hygiène et sécurité du travail

■ BURZONI S. - Risque biologique dans le secteur du compostage : élaboration d'une méthode d'aide à son évaluation. Juin 2024, n°275, nt114, pp. 64-70.

#### RoomVent 2024, 22-25 avril, Stockholm, Suède

■ GUICHARD R., CAROMEL Y. - A practical feedback on the ventilation of portable site sheds. (Un retour d'expérience pratique sur la ventilation des bungalows de chantiers ventilés). Actes, 4 p.

### ■ RISQUE TOXINIQUE

#### Hygiène et sécurité du travail

■ LOISON P., ALONSO L., COULAIS C., SIMON X. - Optimisation de la méthode de mesure des endotoxines dans l'air des lieux de travail. Mars 2024, n°274, nt 112, pp. 51-56.

#### CFA2024, 37<sup>e</sup> Congrès Français sur les aérosols, 19-20 mars 2024, Paris, France

■ LOISON P., ALONSO L., COULAIS C., DZIURLA C., ALBERS L., WITSCHGER O., SIMON X. - Optimisation de la méthode de mesure des endotoxines dans l'air des lieux de travail : validation sur le terrain. Actes, 4 p.

### ■ SUJETS ÉMERGENTS RISQUE BIOLOGIQUE

#### Hygiène et sécurité du travail

■ SPONNE I. - Risque biologique émergent : Ostreopsis une microalgue responsable de syndromes grippaux. Décembre 2024, n°277, do46, pp.56-60.

## ■ DÉVELOPPEMENT DE MÉTHODES RISQUES BIOLOGIQUES

### Hygiène et sécurité du travail

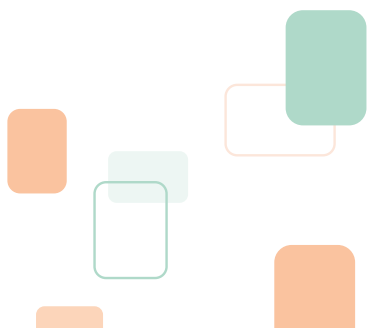
■ LOISON P., ALONSO L., DUQUENNE P. - Évaluation et prévention des risques biologiques liés à l'exposition aux bioaérosols par inhalation. *Décembre 2024, n°277, do46, pp. 41-45.*

### CFA2024, 37<sup>e</sup> Congrès Français sur les aérosols, 19-20 mars 2024, Paris, France

■ ALONSO L., LOISON P. - Application de la PCR quantitative à l'évaluation de l'exposition des travailleurs aux bioaérosols. *Actes, 4 p.*

■ ALONSO L., LOISON P., ALBERS L., COULAIS C., DZIURLA C. - Évaluation de différents milieux de culture généralistes au dénombrement des bioaérosols dans l'air des lieux de travail. *Actes, 3 p.*

■ LOISON P., ALONSO L., COULAIS C., DZIURLA C., POGNER C., PIGLMANN L., TURGEON N., SIMON X. - Travaux d'intercomparaison visant à harmoniser la validation des méthodes de prélèvement et d'analyse des bioaérosols. *Actes, 3 p.*



## ➔ Prévention des risques chimiques

### ■ OBJECTIFS GÉNÉRAUX : DÉVELOPPEMENT DE MÉTHODES

#### Chemosphere

■ CHAMPMARTIN C., SEIWERT C., AUBERTIN M., JOUBERT E., MARQUET F., CHEDIK L., COSNIER F. - Percutaneous Absorption of Two Bisphenol A Analogues, BPAF and TGSA: Novel In Vitro Data from Human Skin . (Absorption percutanée de deux analogues du bisphénol A, le BPAF et le TGSA : nouvelles données *in vitro* sur peau humaine). *November 2024, Vol. 367, 143564.*

#### Scientific Data

■ CHEDIK L., SCHAMKHAL B., 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).

#### Journal of Aerosol Science

■ MEROUANE S. - A new automatic analysis tool for the determination of primary particle size from electron microscopy images: application of the Cellpose software. (Un nouvel outil d'analyse automatique pour la détermination de la taille des particules primaires à partir d'images de microscopie électronique : application du logiciel Cellpose ). *2024, Vol. 178.*

#### Regulatory Toxicology and Pharmacology

■ CHEDIK L., SHAMKHAM B., MARCOU G., COSNIER F., JACQUENET S., MOUROT M., VARNEK A., BATAIS F. - Benchmarking et modélisation QSAR de l'essai BMDC pour l'identification des produits chimiques sensibilisants. (Benchmarking and QSAR Modeling of BMDC Assay for Identifying Sensitizing Chemicals). *May 2024, Vol. 149, 10562.*

#### Aerosol Research

■ REKEB N., SUTTER B., BELUT E., GÉHIN E., OLSEN R. - Performance evaluation of a Semivolatile Aerosol Dichotomous Sampler (SADS) for Exposure Assessment: impact of design issues. (Évaluation des performances d'un échantillonneur dichotomique d'aérosols semi-volatils (SADS) pour l'évaluation de l'exposition : impact des problèmes de conception). *2024, Vol. 2, pp. 183-198.*

#### Hygiène et sécurité du travail

■ SUTTER B., SIMON X., BAU S., ASBACH C., TODEA A.M., MÖHLMAN C., KUIJPERS E. - Évaluation des micro-capteurs à bas coût pour caractériser les aérosols sur les lieux de travail. *Décembre 2024, n°277, nt118, pp. 67-75.*

■ DARNE C., SEIDEL C., GATE L. - Les modifications épigénétiques : potentiels biomarqueurs d'effet d'une exposition professionnelle ? *Juin 2024, n° 275, vp42, pp. 105-111.*

■ DARNE C., SEIDEL C., VALENTINO S., GATE L. - Prise en compte du sexe dans la recherche en toxicologie. *Septembre 2024, n° 276, dc42, pp. 5-11.*

■ ROBERT L. - Du conteneur au commerce : quel risque chimique pour les salariés ? *Juin 2024, n° 275, cc43, pp. 91 à 95.*

## RoomVent 2024, 22-25 avril, Stockholm, Suède

■ GUICHARD R., ROBERT L., KLINGLER J. - Towards a new index to qualify indoor air quality and thermal comfort in storage areas. (Vers un nouvel indice pour qualifier la qualité de l'air intérieur et le confort thermique dans les espaces de stockage). *Actes*, 7 p.

## CFA2024, 37<sup>e</sup> Congrès Français sur les aérosols, 19-20 mars 2024, Paris, France

■ BAU S., CRENN V., JACQUINOT S., DEBERT C., PETITPREZ D., LECLERC L., MIFFRE A., ROSE A., TOMAS A., KORT A., HEBERT D., JOUBERT A., DESCHAMPS F., RITOUX S., AIT ALI YAHIA L., GAIE-LEVREL F. - Comparaison inter-laboratoires dédiée aux mesures de distributions granulométriques d'aérosols au moyen de compteurs optiques.

■ SIMON X., BOIVIN A., PFRIMMER M., PAYET R., MATERA V., GAUDEL N., BAU S. - Comparaison des concentrations massiques d'aérosols mesurées par 6 photomètres dans une atmosphère professionnelle de teillage du lin.

## ICFSPt 2024, 9th International Conference on Frontiers of Signal Processing, 12 au 14 septembre, Paris, France

■ HOUSSOU N., MIRON S., GERARDIN K., GALLAND B., DUQUENNE P. - A tensor regularized approach to spatio-temporal pollutant cartography applied to working environments. (Une approche régularisée par tenseur pour la cartographie spatio-temporelle des polluants appliquée aux environnements de travail).

## Note scientifique et technique

■ ROUSSET D., DURAND T., ELCABACHE J.M., BOULET A., CARABIN N., BAU S., MATERA V. - Méthodes de prélèvement et d'analyse pour la caractérisation des aérosols de béryllium dans l'air des lieux de travail. *NS 388*, novembre 2024, 26 p.

## ■ CANCÉROGÈNE OU MUTAGÈNE

### Small Sciences

■ GARDETTE V., SANCEY L., LEPRINCE M., GATE L., COSNIER F., SEIDEL C., VALENTINO S., PELASCINI F., COLL J.L., PÉOCH'H M., SCOLAN V., PAYSANT F., BONNETERRE V., DUJARDIN C., BUSSEY B., MOTTO-ROS V. - Quantifying Titanium Exposure in Lung Tissues: A Novel Laser-Induced Breakdown Spectroscopy Elemental Imaging-Based Analytical Framework for Biomedical Applications. (Quantification de l'exposition au titane dans les tissus pulmonaires : Un cadre analytique novateur basé sur l'imagerie élémentaire par spectroscopie d'émission induite par laser pour les applications biomédicales).

### Journal of Environmental Management

■ KRISHNAN A., GUICHARD R., RICCI A., GILLMEIER S., BLOCKEN B. - Towards an improved wind effect assessment for asbestos abatement: a methodology for reduced-scale experiments. (Vers une meilleure évaluation de l'effet du vent pour l'élimination de l'amiante : une méthodologie pour des expériences à échelle réduite). Vol 370, November 2024.

### Nanotoxicology

■ DEVOY J., AL-ABED S., CERDAN B., CHO W.S., DUBUC D., FLAHAUT E., GRENIER K., GROSSMANN S., GULUMIAN M., JEONG J., KIM B.W., LAYCOCK A., LEE J.S., SMITH R., YANG M., YU I.J., ZHANG M., COSNIER F. - Analysis of Carbon nanotube levels in organic matter: an inter-laboratory comparison to determine best practice. (Analyse des niveaux de nanotubes de carbone dans la matière organique : une comparaison inter-laboratoires pour déterminer les meilleures pratiques). 2024, Vol. 18, pp. 214-228.

### Environmental Science: Processes & Impacts

■ GHANEM M., ALLEMAN L.Y., ROUSSET D., PERDRIX E., CODDEVILLE P. - Experimental factors influencing the bioaccessibility and the oxidative potential of transition metals from welding fumes. (Facteurs expérimentaux influençant la bioaccessibilité et le potentiel oxydant des métaux de transition issus des fumées de soudage).

## Journal of Aerosol Science

■ GAUDEL N., BAU S., MATERA V. - Technical note: Optimization of the preparation of cascade impactors collection substrates for airborne metallic ultrafine particles sampling. (Note technique : Optimisation de la préparation des supports de collecte d'impacteurs en cascade pour le prélèvement de particules ultrafines).

## International Journal of Pavement Engineering

■ LANGLOIS E., DUTOIT M.A., FAURE P., LORGEUX C., MICHELS R. - Relationship between chemical composition and VOCs emission potential of similar paving grade road bitumen. (Relation entre la composition chimique des bitumes routiers de même grade et leur potentiel d'émission en COV).

## Hygiène et sécurité du travail

■ ROMERO-HARIOT A., EYPERT-BLAISON C., MARTINON L. - Amiante. Présence de fibres d'anthophyllite dans des papiers d'archives. *Décembre 2023, n° 273, ec38, pp. 74-80.*

■ SAUVE J.F., MATER G. - Exposition professionnelle à l'acrylonitrile et au talc en France. *Décembre 2023, bd22 (publication Web uniquement)*

■ SAUVE J.F., ROMERO-HARIOT A., CHAROY M., MATER G. - Exposition à l'amiante dans la filière de la collecte et du traitement des eaux usées : état des lieux. *Juin 2024, n°275, nt115, pp. 72-76.*

■ CHAROY M., ROMERO-HARIOT A., SAUVE J.F., MATER G. - Caractérisation des expositions à l'amiante dans les activités d'hydrocurage : retour d'expérience et préconisations de prévention. *Juin 2024, n°275, ec40, pp. 78-81.*

## RoomVent 2024, 22-25 April 2024, Stockholm, Sweden

■ GUICHARD R., KRISHNAN A., RICCI A., GILLMEIER S., BLOCKEN B. - Towards a maximum wind speed for ventilated asbestos removal worksites. (Vers une vitesse maximale de vent pour les chantiers de désamiantage ventilés). *Proceedings, 8 p.*

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

■ KRISHNAN A., RICCI A., GUICHARD R., GILLMEIER S., BLOCKEN B. - Numerical analysis of wind effects on mechanically induced depressurization for asbestos abatement. (Analyse numérique des effets du vent sur la dépressurisation induite mécaniquement pour l'élimination de l'amiante). *Proceedings.*

## Thèse de doctorat de l'Université technique d'Eindhoven, May, 15, 2024, Eindhoven, The Netherlands

■ KRISHNAN A. - Wind effects on internal depressurization for asbestos abatement. (Effets du vent sur le confinement dynamique d'un chantier de désamiantage). *Mémoire de thèse, 151 p.*

## ■ SENSIBILISANTS / ALLERGISANTS

### Contact Dermatitis

■ MENANTEAU M., ADAM B., LANGLOIS E., MARCANT P., PELLETIER E., STAUMONT D., BENSEFA-COLAS L., CREPY M.N. - Case series of allergic contact dermatitis to octylisothiazolinone in headphones. (Série de cas de dermatite de contact allergique à l'octylisothiazolinone dans les écouteurs). 2024.

### Hygiène et sécurité du travail

■ SAUVE J.F., SAVARY B. - Portrait rétrospectif des expositions professionnelles aux poussières de farine en France de 2014 à 2023. *Mars 2024, n°274, pp. 66-71.*

## Références en santé au travail

■ GUILLEMOT M., RAVERA C., MELIN S., PELLETIER E., SIMON X. - Diisocyanates : nouveautés pour l'évaluation atmosphérique. *Mars 2024 - n°177 - TF316 - pp. 45-52.*

## PROTECTIONS INDIVIDUELLES ET COLLECTIVES

### Journal of Advanced Manufacturing and Processing

■ ESPOSITO F., CARDENAS C., LATIFI A., MARSTEAU S. - CFD Modeling and Numerical Simulation of an Industrial Adsorption Process. (Modélisation CFD et simulation numérique d'un procédé industriel d'adsorption). *2024, e10178, pages 1 à 13.*

### Annals of Work Exposures and Health

■ SANTANDREA A., MARCHAL M., CHAZELET S., MARSTEAU S. - Measurement of inward leakage of full-face masks in EN and ISO standards: comparison of gas and aerosol test agents. (Mesure de la fuite vers l'intérieur dans les normes EN et ISO : comparaison des agents d'essai sous forme de gaz et d'aérosol). *Vol. 68, pp. 820-833.*

### Aerosol and Air Quality Research

■ BEMER D., GERARDIN F. - Changes in Aerosol Concentration in a Meeting Room with a Portable Air Cleaner - Mapping Fine Particle Concentrations. (Évolution de la concentration d'aérosols dans une salle de réunion équipée d'un purificateur d'air portable - Cartographie des concentrations de particules fines). *Vol. 24, Issue 11, November 2024.*

### Powder

■ CARES-PACHECO M.G., CORDEIRO-SILVA E., GERARDIN F., FALK V. - Consistency in Young's Modulus of Powders: A Review with Experiments. (Cohérence du module d'Young des poudres : Une revue avec des expériences). *2024, Vol. 3, pp. 280-304.*

### Hygiène et sécurité du travail

■ MONNIER H., MARCHAL M., KUNZ-IFFLI J., MATAMOROS MARIN F. - Réduction du risque HAP pour les procédés de traitement thermique : Application à la cémentation gazeuse basse pression. *Septembre 2024, n° 276, nt117, pp. 58-66.*

## Références en santé au travail

■ CUNY A., ALEXANDRE B., ADAM B., URMES I. - Utilisation de l'aspiration haut débit en dentisterie : bénéfices et contraintes perçues chez les chirurgiens-dentistes et les assistants dentaires. *Mars 2024, n°177, TF317, pp.53-63.*

### RoomVent 2024, 22-25 April 2024, Stockholm, Sweden

■ JENFT A., VEITH N. - Air showers: can they help prevent dust exposure of workers?. (Douches à air : permettent-elles de prévenir l'exposition des travailleurs aux poussières ?). *Proceedings, 7 p.*

## Thèse de doctorat en Physiques, 13 juin 2024, Université de Rouen Normandie

■ REYES E. - Établissement d'un modèle théorique pour la collecte des aérosols par les gouttes en chute. *Mémoire de thèse, 130 p.*

## REPROTOXIQUE

### Toxicology *in Vitro*

■ NDIAYE D., PERCEAU M., LORCIN M., DENIS F., GATE L. - Antifungal Climbazole alters androgenic pathways in mammalian cells. (L'antifongique Climbazole altère la voie androgénique dans les cellules de mammifères). *August 2024, Vol. 99, 105854.*

■ MARQUET F., CHAMP MARTIN C., SEIWERT C., AUBERTIN M., VITON S., CHEDIK L., COSNIER F. - Human *in vitro* percutaneous absorption of bisphenol S: assessment of the skin reservoir and occlusion effects. (Absorption percutanée *in vitro* du bisphénol S chez l'homme : évaluation de l'effet réservoir et de l'occlusion). 2024, Vol. 99.

## SUJETS ÉMERGENTS RISQUE CHIMIQUE

### Trends in Analytical Chemistry

■ LENNON S., CHAKER J., J. PRICE E., HOLLENDER J., HUBER C., SCHULZE H., AHRENS L., BÉEN F., CREUSOT N., DEBRAUWER L., DERVILLY G., GABRIEL C., GUÉRIN T., HABCHI B., L. JAMIN E., KLANOVA J., KOSJEK T., LE BIZEC B., MEIJER J., MOL H., NIJSSEN R., OBERACHER H., PAPAIOANNOU N., PARINET J., SARIGIANNIS D., A. STRAVS M., TKALEC Z., L. SCHYMANSKI E., LAMOREE M., ANTIGNAC J.P., DAVID A. - Harmonized quality assurance/quality control provisions to assess completeness and robustness of MS1 data preprocessing for LC-HRMS-based suspect screening and non-targeted analysis. (Dispositions harmonisées en matière d'assurance et de contrôle de la qualité afin d'évaluer l'exhaustivité et la robustesse du prétraitement des données MS1 pour le dépistage suspects et l'analyse non ciblée par LC-HRMS). *May 2024, Vol. 174.*

### Environment International

■ TKALEC Z., ANTIGNAC J.P., BANDOW N., M. BEEN F., BELOVA L., BESSEMS J., LE BIZEC B., CANO SANCHO G., CHAKER J., COVACI A., CREUSOT N., DAVID A., DEBRAUWER L., DERVILLY G., CORNELIU R., FESSARD V., O. GRIMALT J., GUERIN T., HABCHI B., HELGE H., HOLLENDER J., L. JAMIN E., KLANOVA J., KOSJEK T., KRAUSS M., LAMOREE M., LAVISON-BOMPARD G., MEIJER J., MOELLER R., MOL H., MOMPÉLAT S., VAN NIEUWENHUYSE A., OBERACHER H., PARINET J., VAN POUCKE C., ROSKAR R., TOGOLA A., TRONTELJ A., J. PRINCE E. - Innovative analytical methodologies for characterizing chemical exposure with a view to next-generation risk assessment. (Méthodes analytiques innovantes pour caractériser l'exposition humaine aux produits chimiques en vue de développer une nouvelle génération de méthodes d'évaluation des risques chimiques). *April 2024, Vol. 186.*

## AUTRES RISQUES CHIMIQUES

### Atmospheric Environment

■ CARON F., GUICHARD R., ROBERT L., VERRIELE M., THEVENET F. - Experimental assessment of modelling VOC emissions from particleboard into a ventilated chamber. (Validation expérimentale de la modélisation des émissions de COV à partir d'un panneau de particules dans une enceinte ventilée). 2024, n° 320.

### Scientific Reports

■ LEVILLY R., SAUVAIN J.J., ANDRE F., DEMANGE V., BOURGKARD E., WILD P., HOPF N. - Characterization of occupational inhalation exposures to particulate and gaseous straight and water-based metalworking fluids (MWF). (Caractérisation des expositions professionnelles aux vapeurs et particules lors de l'utilisation des fluides de coupe aqueux et des huiles entières). (2024) 14:18814.

### Pathologie professionnelle et de l'environnement

■ LECLERC A., AUBLET-CUVELIER A., CHARBOTEL B., FADEL M., DESCATHA A. - Évaluation des expositions en épidémiologie professionnelle. *Avril 2024, Vol. 43, n°2, 14 p.*

## Hygiène et sécurité du travail

- EMILI A., BURZONI S. - Portrait rétrospectif des expositions professionnelles à l'ozone en France de 2002 à 2022. *Juin 2024, n°275, bd24, pp. 82-88.*
- SAVARY B., MATER G., JOUVE E., NICOLAS S. - Portrait rétrospectif des expositions professionnelles dans le secteur de l'alimentation pour le bétail en France de 2013 à 2022. *Décembre 2023, n°273, bd21, pp. 82-89.*
- SAUVE J.F., Savary B. - Portrait rétrospectif des expositions professionnelles dans les activités funéraires en France de 2002 à 2023. *Décembre 2024, n°277, bd27, pp. 88-93.*
- SAUVE J.F., MATER G. - Exposition professionnelle aux substances chimiques et biologiques dans les territoires d'outre-mer : analyse des données de la base Colchic. *Septembre 2024, n°276, bd25, pp. 76-83.*
- SAUVE J.F., MATER G. - Exposition professionnelle à certains additifs d'essence automobile en France. *Octobre 2024, bd26 (publication Web uniquement).*



## ➔ RISQUES LIÉS AUX ORGANISATIONS ET SITUATIONS DE TRAVAIL

### ■ CONCEPTION DES LIEUX ET SITUATIONS DE TRAVAIL

#### International Journal of Human-Computer Interaction

■ WIOLAND L., ATAIN-KOUADIO J.J., BREARD H., URMES I., PATY B. - The adoption of occupational exoskeletons: from acceptability to situated acceptance, questionnaire surveys. (L'adoption des exosquelettes professionnels : de l'acceptabilité à l'acceptation située, enquêtes par questionnaire). *February 2024, 14 p.*

#### Applied Ergonomics

■ DUFRAISSE M., CEGARRA J., ATAIN-KOUADIO J.J., URMES I., WIOLAND L. - From unknown to familiar : an exploratory longitudinal field study on occupational exoskeletons adoption. (De l'inconnu au familier : une étude longitudinale de terrain sur l'adoption d'exosquelettes professionnels). *Applied Ergonomics, September 2024, 9 p.*

#### Marges de manœuvre : des concepts à la transformation du travail, Collection travail et activité humaine, Octarès Éditions, 2024, Paris, France

■ QUILLEROU E., LUX A. - Développer l'activité des concepteurs pour une conception centrée sur la prévention des troubles musculo-squelettiques des opérateurs. *Chapitre 13, pp.253-275.*

■ GAUDEZ C., GILLES M., SAVIN J. - Variabilité du mouvement. *Chapitre 7, pp. 139-154.*

#### Hygiène et sécurité du travail

■ GILLES S., FENO M. - Prévenir les risques professionnels par l'usage de la modélisation et de la simulation numérique. *Juin 2024, n°275, do44, pp. 37-42.*

#### Références en santé au travail

■ WIOLAND L., ATAIN-KOUADIO J.J., DUFRAISSE M., URMES I., PATY B. - Dynamique de l'adoption des exosquelettes professionnels : actions en termes de prévention. *Décembre 2024, n°180, TF322, pp. 55-67.*

#### ICCCBE 2024 - 20th Conference of the International Society for Computing in Civil and Building Engineering, 25-28 August 2024, Montreal, Canada

■ MOALLA F., FENO M., MESSAOUDI T., SAVESCU A., HALIN G. - Literature review on semantic enrichment of BIM models to consider occupational health and safety requirements. (Revue de littérature sur l'enrichissement sémantique d'un modèle BIM pour la prise en compte d'exigences de santé et de sécurité). *Proceedings, 10 p.*

#### AHFE 2024 – 15<sup>e</sup> Conférence internationale AHFE, 24-27 juillet 2024, Nice, France

■ DUFRAISSE M., WIOLAND L., ATAIN-KOUADIO J.J., CEGARRA J. - Occupational exoskeletons as symbionts: defining operator-exoskeleton interactions. (Les exosquelettes professionnels en tant que symbiotes : définir les interactions entre l'opérateur et l'exosquelette). *Actes, pp. 94-104.*

## Conférence européenne sur l'ergonomie cognitive 2024 « Contribuer à un avenir durable et participatif », 08-11 octobre, Paris, France

■ DUFRAISSE M., ATAIN-KOUADIO J.J., CEGARRA J., WIOLAND L. - Mapping User Journeys in Occupational Exoskeleton Adoption: the Adoption UX Curve (AUXC). (Cartographie des parcours d'utilisation dans l'adoption des exosquelettes professionnels : la courbe d'adoption UX (AUXC). *Actes*, 6 p.

■ ATAIN-KOUADIO J.J. - Prévention des risques professionnels et nouvelles technologies : Bilan et perspectives.

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

### Sociologie du travail

■ AUNIS E. - Recension de l'ouvrage d'A. Louvion « Des salariés sans patron ? », La Dispute, Paris, 2023, 216 p., *Vol.66, n°3, juillet - septembre 2024, 5 p.*

### Hygiène et sécurité du travail

■ AUNIS E. - Nouvelles formes d'emploi et d'organisation du travail : des risques aux enjeux de prévention. *Juin 2024, n° 275, dc 41, pp.5-12.*

### Note scientifique et technique

■ AUNIS E. - Travail indépendant. Quels enjeux en matière de prévention des risques professionnels ? *NS 386, Juillet 2024, 72p.*

Thèse de doctorat en Psychologie, Université de Lorraine, École doctorale sociétés, langages, temps, connaissances (SLTC), Laboratoire Lorrain de Psychologie et neurosciences de la dynamique des comportements (2LPN), 14 juin 2024, Nancy

■ HALLER R. - Étude d'une transformation organisationnelle dans une optique préventive des risques psychosociaux : le cas d'une entreprise d'aide à domicile. *Mémoire de these, 334 p.*

## ■ RISQUES PSYCHOSOCIAUX

### Pistes

■ BONNETT., DRAIS E. - Portées et limites du travail émotionnel pour interroger le travail et ses (dé)régulations - *Octobre 2024, Vol. 2, n°26.*

### Arpège 2024, Doctoriales, 25 juin 2024, Paris, France

■ DUFOUR E., JEOFFRION C., GROSJEAN V. - Le déploiement de la qualité de « société à mission » du point de vue des salariés : une recherche-intervention au service des tensions. *Actes, pp. 17-22.*

### Références en santé au travail

■ BOINI S., COLIN R., LANGEVIN V., GAUTIER M.A. - Quels sont les effets des expositions psychosociales sur la santé des salariés ? Mise à jour des connaissances épidémiologiques. *Décembre 2024, n° 180, TP57, pp. 97-111.*

## ■ TROUBLES MUSCULOSQUELETTIQUES

### Sensors

■ DELLAI J., GILLES M., REMY O., CLAUDON L., DIETRICH G. - Development and Evaluation of a Hybrid Measurement System to Determine the Kinematics of the Wrist. (Développement et Évaluation d'un Système de Mesure Hybride pour Déterminer la Cinématique du Poignet). *Avril 2024, 11 p.*

### IISE Transactions on occupational ergonomics and human factors

■ SCHRODER JAKOBSEN L., SAMANI A., DESBROSSES K., DE ZEE M., MADELEINE P. - In-field Training of a Passive back Exoskeleton Changes the Biomechanics of Logistic Workers. (Effets biomécaniques de l'entraînement à l'utilisation d'un exosquelette passif d'assistance du dos chez des manutentionnaires du secteur de la logistique). *Juin 2024, pp. 149-161.*

### Le travail humain

■ SAVESCU A., SIMONET P. - Which training of occupational gesture as lever for the prevention of musculoskeletal disorders? Reflection based on an interdisciplinary action biomechanical/clinical activity. (Quelle formation du gestion de métier comme levier de la prévention des TMS ? Réflexion à partir d'une action interdisciplinaire biomécanique / clinique de l'activité). *Vol. 87, n° 1/2024, pp. 49-73.*

### Safety

■ GILLE S., URMES I. - A new approach to prevent injuries related to manual handling of carts: correcting resistive forces between floors and wheels to evaluate the maximal load capacity. (Une nouvelle approche pour prévenir les accidents liées à la manutention manuelle des chariots : apport de forces de correction pour évaluer la capacité de charge maximale en fonction du type de roue et de sol.). *Août 2024, Vol. 10, n°69, 14 p.*

### Hygiène et sécurité du travail

■ KERANGUEVEN L., ATAIN-KOUADIO J.J., BLAISE J.C. - Les exosquelettes sont-ils des EPI? *Septembre 2024, n° 276, do45, pp. 47-48.*

■ SCHWARTZ M., DESBROSSES K. - Exosquelettes d'assistance du dos : apports de la technologie robotisée. *Juin 2024, n°275, NT113, pp. 55-63.*

### Références en santé au travail

■ BUCHMANN W., CHASSAING K., COUTAREL F., MAJOR M.E., SAVESCU A. - Prévenir les troubles musculosquelettiques ou concevoir le travail futur. Et si on tenait les deux ? séminaire équipe Ergonomie du CNAM. *Juin 2024, n°178, TD 316, pp. 85-96.*

### Marges de manœuvre : des concepts à la transformation du travail, Collection travail et activité humaine, Octarès Editions, 2024, Paris, France

■ CUNY A., CAROLY S., COUTAREL F., AUBLET-CUVELIER A. - Analyse de la marge de manœuvre situationnelle d'encadrants de proximité sous-traitants dans la régulation d'une situation à risque de TMS. Chapitre 9, pp. 171-185.

■ CUNY A., AUBLET-CUVELIER A., ROQUELAUREY, COUTAREL F. - Démarche de prévention des troubles musculosquelettiques et marge(s) de manœuvre. *Chapitre 15, pp. 297-320.*

### Base de données ouverte : entrepôt recherche Data Gov

■ GILLE S., URMES I. - Minimal needed resistive forces data for different types of wheels with uniform rectilinear motion on various floors. (Données des forces de résistance à l'avancement minimales nécessaires pour différents types de roue en mouvement rectiligne uniforme sur différents sols). <https://recherche.data.gouv.fr>.

## Lien Github

■ GILLE S. - Minimal needed resistive forces data, corrective forces data and abaci in rectilinear motion for different combinations of wheels and resilient floor coverings. (Données de forces de résistance, données de forces de correction et abaques en mouvement rectiligne pour différentes combinaisons de roues et de revêtements de sol résilients).

## ■ PRÉVENTION DE LA DÉSINSERTION PROFESSIONNELLE

### Références en santé au travail

■ GUYOT S. - Les fins de vies actives à l'épreuve des conditions de travail. Séminaire Annuel « Âges et travail » du CREAPT. Juin 2024, n°178, pp.57-66.

■ GUYOT S., VOLKOFF S., BERNARD A., GARCIA S., LECLERCQ S., RIEU D., SUAU C., BIANZINA I., JAUVERT GALY M. - Repérage et actions de prévention de la désinsertion professionnelle auprès de salariés de 45-55 ans: un exemple de dispositif dans un service de prévention et de santé au travail interentreprises. Septembre 2024, n° 179, pp. 23-31.

## ■ ACCIDENTS

### La nouvelle revue du travail

■ ROSSIGNOL K. - Recension de l'ouvrage "Mourir de son travail aujourd'hui" d'Anne Marchand pour le Nouvelle revue du travail. Avril 2024, 5 p.

### Références en santé au travail

■ COLIN R., BOINI S. - Déterminants organisationnels des accidents du travail : une analyse longitudinale du point de vue de l'employeur. Juin 2024, n° 178, TS318, pp. 17-37.

## ■ ORGANISATION DE LA PRÉVENTION

### Travail et activité humaine

■ VEZINA N., AUBLET-CUVELIER A., CAROLY S., COUTAREL F., GARRIGOU A., ROQUELAURE Y., ZARE M. - Introduction générale "De la théorie pour de la pratique". *Marges de manœuvre : des concepts à la transformation du travail*, publié juin 2024 par Octarès Éditions, pp. 17-26.

■ COUTAREL F., AUBLET-CUVELIER A., CAROLY S., GARRIGOU A., ROQUELAURE Y. - Conclusion générale : Interpellations et perspectives autour de la marge de manœuvre situationnelle et des marges de manœuvre. *Marges de manœuvre : des concepts à la transformation du travail*, publié juin 2024 par Octarès Éditions, pp. 337-350.

■ ALBERT M., JUDON N., JOLLY C., GOUTILLE F., GALEY L., BRAHIM M.B., GARRIGOU A. - La notion de marge de manœuvre en ergo toxicologie : un usage opérant vis-à-vis de l'activité de protection. *Marges de manœuvre : des concepts à la transformation du travail*, 2024 Octarès Éditions, chapitre 12, pp. 235-252.

### Hygiène et sécurité du travail

■ WIOLAND L., LAPOIRE-CHASSET M. - Comment travailler à l'acceptation des EPI en tenant compte de la représentation et de la perception des risques ? Septembre 2024, n° 276, do45, pp. 29-31.

## Références en santé au travail

■ COUTAREL F., ZARE M., CAROLY S., AUBLET-CUVELIER A., VEZINA N., GARRIGOU A., ROQUELAURE Y. - Ouvrage collectif « Marges de manœuvre : des concepts à la transformation du travail ». *Septembre 2024, n° 179, p. 106.*

■ SHETTLE J., DELECROIX B. - Les enjeux de l'arrivée de nouveaux acteurs sur le terrain de la prévention des risques professionnels. *Septembre 2024, n° 179, TM82, pp. 33-37*

Sociologie de la gestion et du management "Des interactions de travail aux institutions du capitalisme et de l'État", Collection Capitalismes, éthiques, institutions, Presses Universitaires du Septentrion, Mars 2024, Paris, France

■ ROSSIGNOL K. - La mise en gestion de la prévention des risques professionnels : approche réflexive et pragmatique. *Chapitre 9, pp. 179-192.*

## AUTRES EFFETS SUR LA SANTÉ

### International Archives of Occupational and Environmental Health

■ GEDOR M., BOURGKARD E., DZIURLA M., RIBET C., GOLDBERG M., GRZEBYK M., HEDELIN G., BOINI S. - Relationship between night work and health-related quality of life: An analysis based on profiles and cumulative duration of exposure to night work among French workers in the CONSTANCES cohort. (Relation entre le travail de nuit et la qualité de vie liée à la santé : Une analyse basée sur les profils et la durée cumulée d'exposition au travail de nuit chez les travailleurs français de la cohorte CONSTANCES).

### Supportive Care in Cancer

■ WILSON N., ROQUELAURE Y., EVANOFF B., AUBLET-CUVELIER A., PORRO B. - Physical activity in people diagnosed with cancer: A rapid review of recommendations and critical appraisal of international guidelines. (Activité physique chez les personnes diagnostiquées avec un cancer : revue rapide des recommandations et évaluation critique des lignes directrices internationales). *2023, Vol. 31.*

### Ergonomics

■ ALBERT M., GALEY L., JUDON N., CHARBONNEAU A., GARRIGOU A. - Design and regulation as a chain of determinants in the emergence of pesticide exposure situations during the use of sprayers. (Conception et réglementation en tant que chaîne de déterminants dans l'émergence de situations d'exposition aux pesticides pendant l'utilisation de pulvérisateurs). *Décembre 2024, 17 p.*

### Geios

■ MALENFER M., SARREY M., CLERTE J., HERY M. - Artificial intelligence in the service of health and safety at work: Perspectives and challenges from now to 2035 - A prospective study. (*L'intelligence artificielle au service de la S&ST, perspectives et enjeux à 2035, une étude prospective*). 227 p.

### La revue des conditions de travail

■ HERY M., CLERTE J., AUBLET-CUVELIER A., MALENFER M. - Quelle prévention des risques professionnels dans des organisations techno-centrées ? Illustrations à travers les travaux de prospective de l'INRS. *Juillet 2024, n°15, pp. 79-89.*

## ➔ Risques physiques et mécaniques

### ■ BRUIT

#### Safety Science

■ NEGRINI A., GAUVIN C., BERBICHE D., TERROIR J., PERRIN N., JOLLY C., MARTIN L., SGARD F., DOUTRES O. - Development and validation of the North American COMfort of hearing PROtection Device questionnaire (COPROD-NAQ). (Développement et validation de la version Nord-Américaine du Questionnaire Confort des PROtections auDitives (COPROD-NAQ)). *Janvier 2025, Vol. 181, 17 p.*

#### Applied Acoustics

■ EFFA F., ARZ J.P., SERIZEL R., GRIMAULT N. - Evaluating and Predicting the Audibility of Acoustic Alarms in the Workplace Using Experimental Methods and Deep Learning. (Évaluation et prédiction de l'audibilité des alarmes acoustiques au travail grâce à des méthodes expérimentales et à l'apprentissage profond). *Mars 2024, Volume 219, 15 p.*

■ EFFA F., ARZ J.P., GRIMAULT N., SERIZEL R. - Predicting Alarm Audibility Using Deep Learning. (Prédiction de l'audibilité des alarmes grâce au deep learning). *Lien Github : [https://github.com/effajr/predicting\\_alarm\\_audibility](https://github.com/effajr/predicting_alarm_audibility)*

■ EFFA F., ARZ J.P., GRIMAULT N., SERIZEL R. - Data from: Evaluating and Predicting the Audibility of Acoustic Alarms in the Workplace Using Experimental Methods and Deep Learning. (Données de : Évaluation et prédiction de l'audibilité des alarmes acoustiques sur le lieu de travail à l'aide de méthodes expérimentales et de deep learning). *Lien Zenodo.*

■ PONCETTI N., PARIZET E., GALY E., CHEVRET P., BROCOLINI L., PEYTCHEVA V. - Effect of irrelevant speech on cognitive performance among normal-hearing and hearing impaired subjects. (Effet indésirable du bruit sur les performances cognitives de sujets normo-entendants et malentendants). *Juillet 2024, Vol. 227, 10 p.*

#### International Journal of Occupational Safety and Ergonomics

■ EL SAWAF O., EFFA F., ARZ J.P., GRIMAULT N. - Modeling alarm detection in noise for normal and hearing impaired listeners: the effect of elevated thresholds and enlarged auditory filters. (Modélisation de la détection dans le bruit pour des auditeurs normo-entendants et malentendants : influence de l'élévation des seuils absolus et de l'élargissement des filtres auditifs). *Janvier 2024, vol. 30, n°1, pp. 264-271.*

#### Journal of Theoretical and Computational Acoustics

■ KHANFIR A., DUCOURNEAU J., FAIZ A., NASRI R., CHEVRET P. - Scattered acoustic field above a rigid rectangular cuboid shape in a rigid plane. (Champ acoustique diffusé au-dessus d'un parallélépipède rectangulaire rigide dans un plan rigide). *Avril 2024.*

#### Journal of the Acoustical Society of America

■ LENNE L., ABOUTIMAN A., SELZER J., SCHELLE F., CHEVRET P., PARIZET E. - Simplified expressions of uncertainty for single number quantities in ISO 3382-3 (2022). (*Expressions simplifiées des incertitudes de mesure des indicateurs de la norme ISO 3382-3 (2022)*). *Mai 2024, Vol. 155, Issue 5, pp. 2209-2218.*

#### Echo Bruit

■ CHEVRET P., LENNE L. - Systèmes de masquage sonore dans les bureaux ouverts : restons vigilants. *Novembre 2024, n°180, pp. 51-52.*

#### Hygiène et sécurité du travail

■ CHEVRET P., LENNE L. - Systèmes de masquage sonore en open space : une efficacité discutable. *Septembre 2024, n°276, ec41, pp. 68-74.*

## Références en santé au travail

■ VENET T., POUYATOS B. - Fatigue auditive et risques pour l'audition chez les professionnels du secteur de la musique amplifiée. *Mars 2024, n°177, p. 13.*

## Inter-Noise 2024 - 53th International Congress & Exposition on Noise Control Engineering, August 25-29, Nantes, France

■ TERROIR J. - Exposure of employees to very high frequencies: laboratory measurements. (Exposition des salariés aux très hautes fréquences : mesures en laboratoire). *Actes, 9 p.*

■ LENNE L., BROCOLINI L. - Relation between occupation density, ambient noise and satisfaction in open plan offices: a study based on field measurements. (Lien entre densité d'occupation, bruit ambiant et satisfaction dans les bureaux ouverts : une étude basée sur des mesures de terrain). *Actes, 5 p.*

■ PONCETTIN., PARIZET E., GALY E., CHEVRET P., BROCOLINI L., PEYTCHEVA V. - A study of noise-induced annoyance and fatigue in open-plan offices: comparison between hearing-impaired and normal-hearing listeners. (Étude de la gêne et de la fatigue induites par le bruit dans les open-space : comparaison entre normo et malentendants). *Acte, 6 p.*

■ TROMPETTE N., CHEVRET P. - Noise attenuation provided by a combination of earplugs and earmuffs: revised assessment. (Atténuation du bruit par une combinaison de bouchons d'oreille et de serre-tête : évaluation révisée). *Acte, 7 p.*

## Psychologie du travail et ressources humaines, sous l'édige de l'AIPTLF, Éditions l'Harmattan, 2021, Paris, France

■ GALY E., JUDON N., BROCOLINI L., KOSTALLARI K., CHEVRET P., PARIZET E. - Protocole pour l'évaluation sur le terrain de l'état fonctionnel des opérateurs travaillant en bureaux ouverts : l'inventaire. *Chapitre d'ouvrage, 16 p.*

## Note scientifique et technique

■ EFFA F. - Perception des alarmes dans le bruit : développement de méthodes d'évaluation de l'audibilité ressentie. *NS 387, juillet 2024, 233 p.*

## CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

### Comptes rendus Physique de l'Académie des sciences

■ HAMMEN L., PICHON L., LE BIHAN Y., BENSETTI M., FLEURY G. - Electromagnetic compatibility of active cardiovascular implants to occupational magnetic field environments: impact of the field direction. (Compatibilité électromagnétique des implants cardiovasculaires actifs en milieu professionnel : impact de la direction du champ). *2024, Académie des sciences, Online first, 12 p.*

## ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL ET MACHINES DANGEREUSES

### Journal of Biomechanical Engineering

■ SAVIN J., REZZOUG N. - SIMMACT, a Software Demonstrator to Improve Maximum Actuation Joint Torques Simulation for Ergonomics Assessment. (SIMMACT, un logiciel de simulation des couples articulaires maximaux du membre supérieur pour l'évaluation ergonomique.). *Avril 2024, Vol. 146, Issue 4, 8 p.*

## SS Mag

■ TIHAY D. - Collaboration homme / robot : une relation composite. *Janvier-Février 2024, n° 27, pp. 26-29.*

## Hygiène et sécurité du travail

■ PERSONENI G. - La Réalité Virtuelle : rôle et apports pour la conception sûre des postes et équipements de travail. *Juin 2024, n°275, do44, pp. 49-53.*

■ SAVIN J. - Les mannequins numériques : des outils de simulation pour la prévention des risques en conception d'équipements de travail. *Juin 2024, n°275, do44, pp. 43-48.*

<https://github.com/INRS-France/simMACT>

■ SAVIN J., REZZOUG N. - simMACT, a software demonstrator to improve maximum actuation joint torques simulation for ergonomics assessment. (simMACT, un démonstrateur logiciel de simulation des couples maximum d'actionnement articulaire pour l'évaluation ergonomique).

## JCM 2022, International Joint Conference on Mechanics, Design Engineering and Advanced Manufacturing, June 1-3, 2022, Ischia, Italie

■ GODOT X., DAILLE-LEFEVRE B., PETRONIJEVIC J., MARTIN P. - Workstation design centered to workers safe use. (Conception des postes de travail centrée sur l'utilisation sécuritaire des travailleurs). *Proceedings, pp. 75-87.*

## CONFERE 2024, 31st Conference on Design and Innovation Sciences, July 4-5, 2024, Porto, Portugal

■ BRUGE U., JEAN C., DAILLE-LEFEVRE B., GODOT X., SAVESCU A. - Fostering operators' occupational health and safety in the end-of-life vehicles dismantling: a modelling approach. (Prise en compte de la santé et de la sécurité au travail des opérateurs lors du démantèlement des véhicules hors d'usage : une approche de modélisation). *Proceedings, 11 p.*

## SIAS 2024, Safety of Industrial Automated Systems, June 12-13, 2024, Tampere, Finland

■ SARREY M. - How can functional AI be safely integrated into a machine?. (Comment une IA fonctionnelle peut-elle être intégrée sans risque dans une machine ?). *Proceedings, 12 p, ISBN: 13 978-952-5183-64-1.*

■ LAMY P., PERRIN N., GHADBAN N. - Cyber risk and machine safety: towards the integration of cyber risk assessment into occupational risk assessment?. (Risque cyber et sécurité des machines : vers l'intégration de l'AdR cyber dans l'EvRP?). *Actes, 6 p., ISBN: 13 978-952-5183-64-1*

■ TIHAY D., SGHAIER A. - Effects of various factors on Power and Force Limitation function of collaborative robots. (Effets de différents facteurs sur la fonction de limitation de la puissance et de la force des robots collaboratifs). *Proceedings.*

## RAYONNEMENTS OPTIQUES ARTIFICIELS

### Polymers

■ BRISSINGER D. - Modelling the Impact of Dye Concentration on Polymers Optical Properties via the Complex Refractive Index: A Pathway to Optical Engineering. (Modélisation de l'impact de la concentration de colorant sur les propriétés optiques des polymères via l'indice de réfraction complexe : une méthode d'ingénierie optique). *2024, Vol. 16, Issue 5.*

### International Journal Of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)

■ BAUER S., BERGET M., BORRA M., BRISSINGER D., BROSE M., GÖRLICH S., HALBRITTER W., HEEPENSTRICK T., JANBEN M., KITZ E., KUBICA J.M., ŁOWCEWICZ M., MARRO M., MILITELLO A., RYBCZYNSKI A., WEBER M., WOLSKA A. - Proposal and Practicality of an Alternative Blue-Light Hazard Risk Assessment Method for High Intensity White-Light Sources at Workplaces. (Proposition et faisabilité d'une méthode alternative d'évaluation des risques liés à la lumière bleue pour les sources de lumière blanche à haute intensité sur les lieux de travail ). *2024, vol. 30, n°2, pp. 450-459.*

## Radioprotection (SFRP)

- DENIEL J.M. - Assessing optical radiation exposure to opaque incandescent materials by picture analysis - Part 1: from pixel color to radiance. (Évaluation de l'exposition aux rayonnements issus de matériaux incandescents opaques par analyse d'image - Partie 1 : de la couleur à la luminance). *Avril-juin 2024, Vol. n°59, n°2, 10 p.*
- DENIEL J.M. - Assessing optical radiation exposure to opaque incandescent materials by picture analysis - Part 2: from pixel radiance to eye irradiance. (Évaluation de l'exposition aux rayonnements issus de matériaux opaques incandescents par analyse d'image - Partie 2 : de la luminance par pixel à l'éclairement de l'œil). *October-December 2024, Vol.59, n°4, pp. 327-337.*

## VIBRATIONS

### Hygiène et sécurité du travail

- NOEL C., CHATILLON J. - Vibrations mains-bras : où en est-on ? *Mars 2024, n°274, do43, pp. 22-25.*
- VINCENT M., PADOIS T., GAUDREAU M.A., DUPONT T., MARCOTTE P. - Évaluation des valeurs d'émission vibratoire des cloueuses : un dispositif de substitution peut-il remplacer les opérateurs humains ? *Mars 2024, n°274, do43, pp. 29-32.*
- Aoustin D. - Les caractéristiques vibratoires d'outils de redressement et de formage activés par ultrasons. *Mars 2024, n°274, do43, pp. 37-40.*
- MAITRE F., AMARI M. - Vibrations transmises aux membres supérieurs : estimation de l'exposition des travailleurs à des chocs répétés. *Mars 2024, n°274, do43, pp. 33-36.*
- VAUTHIER S., NOEL C., PHUONG NGO H.H., GENNISSON J.L., CHAMBERT J., FOLTETE E., JACQUET E. - Étude préliminaire sur l'activation et l'anisotropie du muscle dans la modélisation des vibrations main-bras. *Mars 2024, n°274, do43, pp. 41-44.*
- NOEL C., REDA M., SETTEMBRE N., JACQUET E. - Modélisation de la sténose artérielle induite par les vibrations transmises à la main : un moyen de prévenir le risque vibratoire vasculaire ? *Mars 2024, n°274, do43, pp. 45-48.*
- PIERRON Q. - Émission vibratoire de meuleuses : expériences et modèle. *Mars 2024, n°274, do43, pp. 26-28.*

### ICTAM 2024, 26th International Congress of Theoretical and Applied Mechanics, August 29-30, 2024, Daegu, Korea

- VAUTHIER S., NOEL C., SETTEMBRE N., CHAMBERT J., FOLTETE E., JACQUET E. - Measuring mechanical behaviour of grip-activated hand muscles. (Mesure du comportement mécanique des muscles de la main activés par serrage). *Proceedings, 2 p., ISBN: 979-11-984760-9-8.*
- NOEL C., SETTEMBRE N. - Fall in arterial wall shear stress elicited by hand-transmitted vibrations: direct evidence of neurogenic activity involvement. (Chute de la contrainte artérielle pariétale induite par les vibrations transmises à la main : une preuve directe de l'implication de l'activité neurogène). *Proceedings, 2 p., ISBN: 979-11-984760-9-8.*

## AUTRES RISQUES PHYSIQUES ET MÉCANIQUES

### Hygiène et sécurité du travail

- JAROSZ C., HARDY S., LAMY P., TIHAY D. - Prévention des collisions engin-piétons : quelle place pour les systèmes d'avertissement ou d'évitement de collision ? *Septembre 2024, n°276, nt116, pp. 51-57.*

## ➔ Thématiques focus

### ■ AÉROSOL

RoomVent 2024, 22-25 avril, Stockholm, Suède

■ CHERON J., JENFT A. - Evaluation of the efficiency of source control for the capture of aerosols generated by dental care. (Évaluation de l'efficacité du captage à la source pour la réduction des aérosols générés par les soins dentaires). *Actes*, 4 p.

### ■ INTERIM ET CONTRATS COURTS

Références en santé au travail

■ AUBLET-CUVELIER A., LEONARD M., ROSSETTI C., VISSERV., LABBATE A., GERARD A., CUSSONNEAU A., MOLTER A., SCHWEITZER J. - Travailleurs intérimaires et santé - Journée de l'Institut de médecine du travail de Lorraine. *Nancy*, 3 octobre 2023. *Junin 2024*, n°178, TD 314, pp. 67-72.

### ■ PERTURBATEURS ENDOCRINIENS

Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement

■ CHAMOT S., LEROY L., MARHIC G., AL-SALAMEH A., PONS R., BONNETERRE V., CANCE C., RAMON-DARE M., GRIGNON P., DESAILLOUD R., PETIT P. - Perturbateurs endocriniens et environnement : quelles données utiliser ? 2024, n° 85.

### ■ POLYEXPOSITIONS HÉTÉROGÈNES

Note scientifique et technique

■ LAROCCA B., COATES L., HEDELIN G., MALARD S., SPONNE I. - Guide d'utilisation de MiXie France – Mise à jour 2024. *NS 358*, octobre 2024, 23 p.

■ VAUFLEURY M., MONNIER H. - État de l'art des batteries lithium : focus sur les risques et la sécurité. *NS 385*, août 2024, 130 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

Marjorie FOUGÈRE

■ Direction rédactionnelle et coordination

Patricia BERNARD, Benoît COURRIER

■ Crédits photos de la couverture

H. BOUTET pour l'INRS / 2025

■ Ont également contribué à la publication

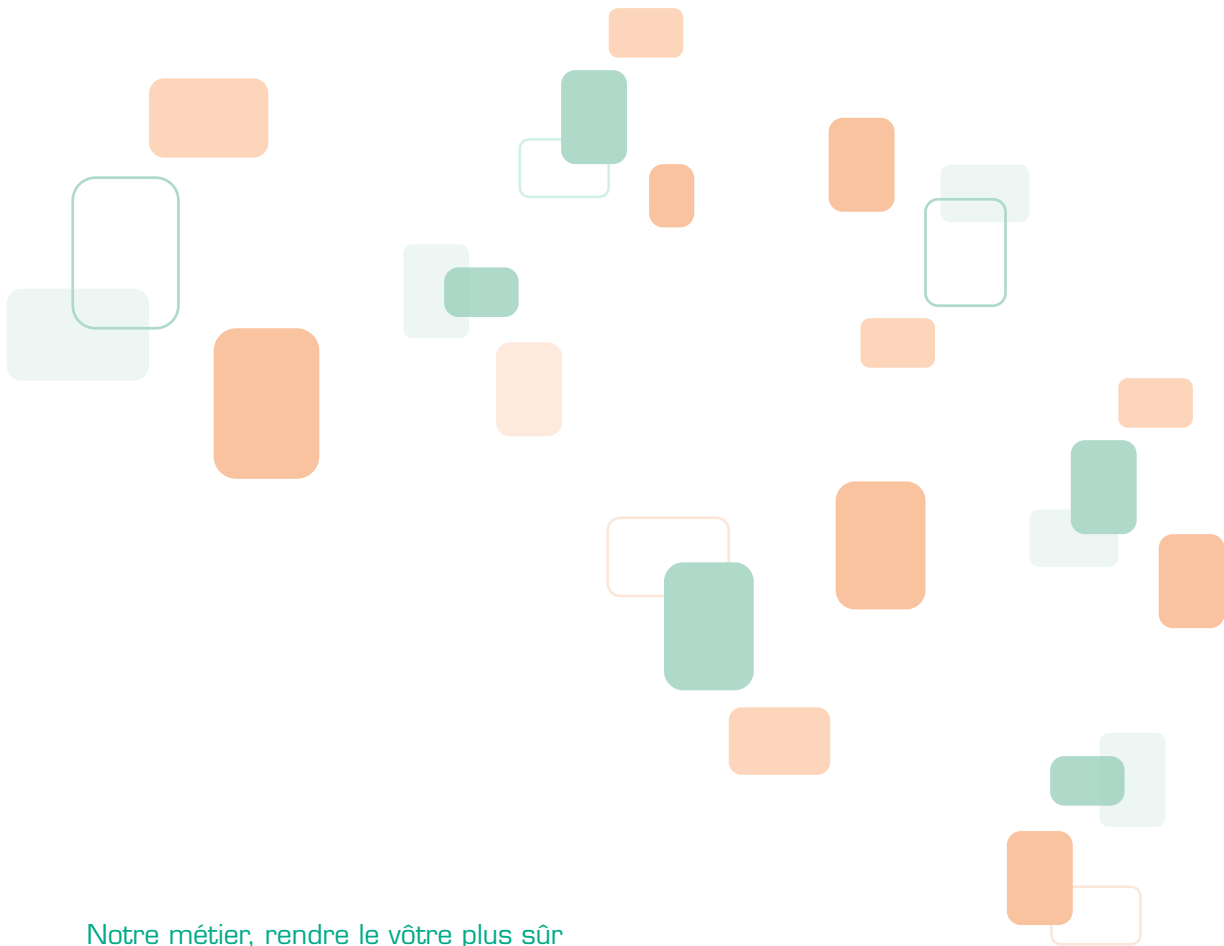
Les responsables d'études de l'INRS, Chantal ROLIN

■ Conception graphique

Trait d'Union

■ Mise en page

EFIL / [www.efil.fr](http://www.efil.fr)



## Notre métier, rendre le vôtre plus sûr

### **Siège social**

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

### **Centre de Lorraine**

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

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

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

