

HYGIÈNE & SÉCURITÉ DU TRAVAIL

La revue technique de l'INRS
octobre • novembre • décembre 2024

N° 277

/ Décryptage /

Réduire les émissions de gaz à effet de serre : quels impacts pour la santé au travail ?

/ Note technique /

Évaluation des micro-capteurs à bas coût pour caractériser les aérosols sur les lieux de travail

/ Étude de cas /

Transformation des produits céréaliers dans les meuneries : prévention des risques d'explosion

/ Base de données /

Portrait des expositions professionnelles dans les activités funéraires en France de 2002 à 2023



Dossier

Risques biologiques : des pratiques et des outils pour la prévention

L'INRS

L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles est une association loi 1901, créée sous l'égide de la Caisse nationale de l'assurance maladie (Cnam). L'Institut est géré par un conseil d'administration paritaire composé, à parts égales, d'un collège représentant les employeurs et d'un collège représentant les salariés, présidé alternativement par un représentant d'un de ces collèges. Financé en quasi-totalité par l'Assurance maladie – Risques professionnels, à qui il apporte son concours, l'INRS inscrit son action dans le cadre des orientations de la branche Accidents du travail – maladies professionnelles (AT/MP). Ses domaines de compétences couvrent les risques physiques (bruit, vibrations, champs électromagnétiques, machines...), chimiques, liés aux substances comme aux procédés (solvants, poussières...), biologiques (infectieux, immunoallergiques...), électriques, incendie / explosion, psychosociaux et organisationnels... Sa mission est de contribuer à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles, et plus précisément:

- d'identifier les risques professionnels;
- d'analyser leurs conséquences sur la santé de l'homme au travail;
- de concevoir, de diffuser et de promouvoir des solutions de prévention auprès de tous les acteurs de la prévention: spécialistes des risques professionnels en entreprise ([Q]HSE, IPRP, cadres et fonctionnels en charge de la sécurité et de la santé au travail, animateurs de sécurité, personnes compétentes...), experts – conseil, chefs d'entreprise, élus CSE/CSSCT/CHSCT/RP, salariés, agents du réseau Assurance maladie – Risques professionnels (AM-RP), services de prévention et de santé au travail (interentreprises ou autonomes)...

Les activités de l'INRS s'organisent selon quatre axes (en plus des métiers supports): études et recherche, assistance, formation et information / communication.

> Notre métier, rendre le vôtre plus sûr



Retrouvez-nous
sur le Web:

Ou abonnez-vous
en ligne sur:

hst.fr 



HYGIÈNE & SÉCURITÉ DU TRAVAIL
E-mail rédaction : revue.hst@inrs.fr
Site Web : www.hst.fr

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION
Stéphane Pimbert
Directeur général de l'INRS

ÉQUIPE DE RÉDACTION

Antoine Bondéelle
Rédacteur en chef, INRS
Patricia Bernard
Rédactrice en chef adjointe, INRS
**Aline Marcelin (INRS),
Taina Grastilleur, Maud Foutieau**
Corrections, secrétariat de rédaction
**Amélie Lemaire (INRS),
Nathalie Florczak**
Maquettes et infographies
Nadia Bouda
Iconographe, INRS
Sandrine Voulyzé
Chargée de fabrication, INRS
Nadège Marmignon
Assistante, INRS

COMITÉ ÉDITORIAL

Agnès Aublet-Cuvelier
Direction des Études et recherches,
INRS
Patricia Bernard, Antoine Bondéelle
Équipe de rédaction, INRS
Patrick Laine
Chef du département Expertise
et conseil technique, INRS
Louis Laurent
Directeur des Études et recherches,
INRS
Jean-Pierre Leclerc
Chef du département Ingénierie
des procédés, INRS
Fahima Lekhchine
Chef du département Information
et communication, INRS
Jérôme Triplet
Direction des Applications, INRS
Delphine Vaudoux
Responsable du pôle
Publications périodiques, INRS

ONT PARTICIPÉ À CE NUMÉRO :

Christof Asbach, Lise Alonso,
Sébastien Bau,
Marie-Cécile Bayeux-Dunglas,
Emmanuel Belut, Naïma Berthol,
Danièle Blasiard, Myriam Bouselham,
Jonathan Chéron, Christine David,
Corinne Dogan, Olivier Dufaud,
Philippe Duquenne,
Éric Durand-Billaud,
Brigitte Facon, Romain Guichard,
Julien Hachet, Agnès Janès,
Stefan Krempf, Eelco Kuijpers,
Pauline Loison, Stéphane Miraval,
Carsten Möhlman, Alexandra Pedros,
Aurélien Périsset, Jérôme Rebelle,
Valérie Renevot,
Jean-François Sauvé,
Barbara Savary, Éric Silvente,
Xavier Simon, Isabelle Spoune,
Fabien Squinazi, Benjamin Sutter,
Ana Maria Todea,
Aurore Yang,
les relecteurs internes de la revue,
les pôles Information juridique
et Traductions de l'INRS,
ainsi que les photographes cités.

Photo de couverture :
© Claude Almodovar
pour l'INRS/2021

L'édito de...

FABIEN SQUINAZI, médecin biologiste, président de la Commission spécialisée
« Risques liés à l'environnement », Haut Conseil de la santé publique (HCSP).



© Mairie de Paris

En milieu de travail, l'exposition à des agents biologiques pathogènes est un sujet complexe pour les préventeurs. En effet, ces micro-organismes sont très nombreux et appartiennent à plusieurs catégories. Ils sont présents autant chez les êtres vivants que dans les milieux professionnels ou l'environnement. Leurs voies de transmission sont multiples et concernent de nombreux secteurs d'activités. Les maladies qui en résultent sont de natures infectieuse, allergique ou toxique. Durant mon parcours, j'ai eu l'opportunité d'assister, voire de participer, à des travaux de recherche qui ont contribué – et contribuent encore – à améliorer les connaissances sur les risques biologiques. Des enquêtes de terrain dans différents secteurs professionnels ont permis de mieux comprendre

les mécanismes de transmission, à l'origine d'effets sur la santé des salariés, dès les années 1970. Les infections nosocomiales en milieu hospitalier, l'émergence des infections liées à *Legionella pneumophila* ou encore les contaminations alimentaires, sont quelques exemples de sujets d'études ayant mené à des progrès importants réalisés dans les années 1980. D'autres travaux sur la flore microbienne des eaux usées, boues, surfaces et bioaérosols dans les stations d'épuration

ont permis de mieux cerner les risques biologiques de ce secteur et de définir des mesures de prévention adaptées, pour préserver les personnels des troubles respiratoires et digestifs. Les occasions d'échanges avec l'INRS ont été nombreuses, pour développer des outils d'analyse des agents biologiques, des démarches de prévention dans différents secteurs d'activités et plus récemment pour définir

« Les enjeux aujourd'hui [...] sont de renforcer les démarches d'évaluation des risques biologiques pour améliorer la prévention en santé au travail. »

les risques liés aux déchets d'activités de soins. La récente crise sanitaire (pandémie de Covid-19), qui a aussi impacté le monde du travail, a également rappelé l'importance de mettre en œuvre des moyens de prévention collectifs et individuels face aux risques biologiques.

Les enjeux aujourd'hui sont de poursuivre cet engagement, alors que les changements environnementaux favorisent, voire sont à l'origine de l'émergence de nouveaux agents biologiques et de nouvelles pathologies, et de renforcer les démarches d'évaluation des risques pour améliorer la prévention en santé au travail. Le dossier publié dans ce numéro montre qu'il est possible d'agir pour prévenir les risques biologiques. Il propose tout d'abord un rappel des effets sur la santé et les mesures disponibles pour évaluer ces risques. Il présente ensuite un nouvel outil numérique, conçu pour aider les entreprises à mettre en œuvre une démarche de prévention, ainsi qu'un ensemble de moyens mobilisables pour quantifier les agents biologiques dans l'atmosphère des lieux de travail et réduire les expositions aux bioaérosols, en vue de mieux accompagner les préventeurs face à ces risques sanitaires.

SOMMAIRE



Savoirs & actualités

Décryptage

Réduire les émissions de gaz à effet de serre : quels impacts pour la santé au travail ?
P.05

Actualité juridique

Prévention des risques professionnels des travailleurs saisonniers
P. 14

Accident du travail d'un apprenti dans son centre de formation
P. 18

Focus normalisation

L'impact du changement climatique sur la santé et la sécurité au travail et sur la normalisation
P. 22

Dossier

Risques biologiques : des pratiques et des outils pour la prévention

- Effets sur la santé des expositions professionnelles aux agents biologiques et rôle des services de prévention et de santé au travail
P. 28

- Évaluation des risques biologiques : un nouvel outil numérique
P. 35

- Évaluation et prévention des risques biologiques liés aux bioaérosols par inhalation
P. 41

- Ventiler les locaux de travail pour prévenir les risques biologiques
P. 46

- Retour d'expérience en centre de tri de déchets recyclables : métrologie et recommandations pour la prévention
P. 51

- Un risque biologique émergent : *Ostreopsis*, une microalgue responsable de syndromes grippaux
P. 56

- Des futurs salariés aux préventeurs : former pour prévenir
P. 61





Études & solutions

Notes techniques

- Évaluation des micro-capteurs à bas coût pour caractériser les aérosols sur les lieux de travail
P.67

Étude de cas

- Transformation des produits céréaliers dans les meuneries : prévention des risques d'explosion
P.76

Bases de données

- Portrait rétrospectif des expositions professionnelles dans les activités funéraires en France de 2002 à 2023
P.88

À ce jour, la base de données Colchic compte plus d'un million de résultats pour 745 agents chimiques et biologiques, et représente un outil d'aide pour l'identification des axes prioritaires de prévention du risque chimique.



Agenda & services

Formation

Former à l'évaluation des risques liés aux ambiances thermiques
P.95

Agenda/Formations
P.98

Congrès

Agenda/Événements
P.100

Sélection bibliographique

À lire, à voir
P.102




© Gaël Kerbaol/NRS/2017

Prévention des risques d'explosion dans les meuneries lors des activités de transformation de produits céréaliers.
Lire Étude de cas p. 76.

à détacher



Les fiches HST
Comment consulter Baobab, la Base d'observation des agents biologiques



Savoirs & actualités

Décryptage

Réduire les émissions de gaz
à effet de serre : quels impacts
pour la santé au travail ?

P. 05

Actualité juridique

Prévention des risques professionnels
des travailleurs saisonniers

P. 14

Accident du travail d'un apprenti
dans son centre de formation

P. 18

Focus normalisation

L'impact du changement climatique
sur la santé et la sécurité au travail
et sur la normalisation

P. 22

Dossier

Risques biologiques :
des pratiques et des outils
pour la prévention

P. 26

Décryptage

RÉDUIRE LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE : QUELS IMPACTS POUR LA SANTÉ AU TRAVAIL ?

Pour limiter les effets du dérèglement climatique néfastes pour l'Homme et pour l'environnement, les États ont fixé des objectifs de neutralité carbone à l'horizon 2050. Cet engagement conduit à des mutations du monde du travail qui impactent la gestion des risques professionnels. Cet article décrypte des moyens d'action pour limiter les émissions de gaz à effet de serre, leur incidence sur les conditions de travail et les pistes envisagées pour préserver la santé et la sécurité au travail.

REDUCING GREENHOUSE GAS EMISSIONS: THE IMPACT ON OCCUPATIONAL HEALTH – To limit the dangerous effects of climate change on people and the environment, countries have set carbon neutrality goals for 2050. This commitment has led to changes in the world of work that affect occupational risk management. This article decrypts the means of action to limit greenhouse gas emissions, their effect on work conditions and possible solutions for preserving safety and health at work.

ÉRIC
SILVENTE,
STÉPHANE
MIRAVAL
INRS,
département
Expertise
et conseil
technique

Contexte

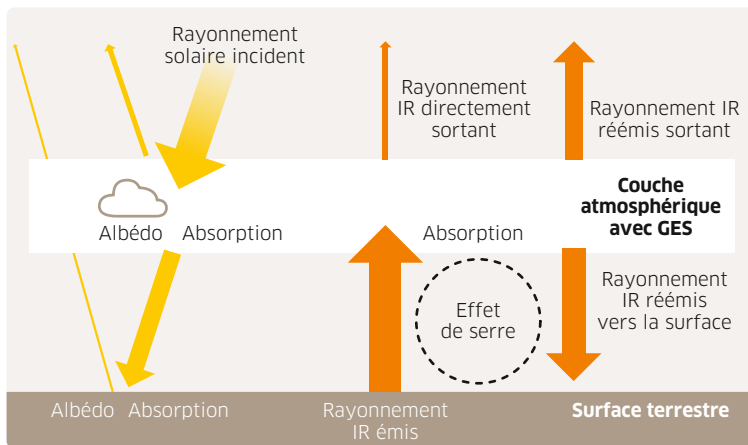
Selon le Giec¹, la limitation du réchauffement climatique à +1,5°C est essentielle pour éviter des conséquences désastreuses pour la vie humaine et l'environnement. L'objectif est d'atteindre la neutralité carbone² dès 2050. Plusieurs scénarios ont été étudiés pour y parvenir et impliquent des mutations tant sur le plan humain que sur le plan technologique.

La réduction de la demande en énergie, répartie entre sobriété et efficacité énergétique, l'évolution de l'industrie *via* la décarbonation de sa production, le développement de puits de carbone artificiels, la nécessité d'augmenter la part du recyclage, la décarbonation de la production d'énergie *via* les énergies renouvelables, sont des exemples de facteurs pris en compte pour atteindre la neutralité carbone.

Le monde du travail est ainsi de plus en plus impacté par les évolutions associées au changement climatique, à travers l'apparition de nouveaux risques liés aux évolutions technologiques et organisationnelles qui sont progressivement



© Fabrice Dimier pour l'INRS / 2023



↑ FIGURE 1
Principe de l'effet de serre [1].
À gauche, est représenté le rayonnement solaire (vers la surface de la Terre, réfléchi vers l'espace, ou absorbé par l'atmosphère). Au centre, le rayonnement infrarouge émis par la terre ; une autre absorbée par l'atmosphère à un niveau dépendant de la concentration en GES. À droite, le rayonnement infrarouge émis par l'atmosphère ; une partie est renvoyée vers la terre, une autre vers l'espace.

prises en place pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES).

Les gaz à effet de serre

Les GES sont les gaz présents dans les basses couches de l'atmosphère terrestre qui retiennent une partie du rayonnement infrarouge émis par la surface de la Terre, suite à son échauffement par le soleil. L'effet de serre est un phénomène naturel qui influe sur la température globale d'équilibre de la Terre, dans la mesure où il module la quantité d'énergie renvoyée par la terre dans l'espace. Il est amplifié par les émissions de GES d'origine anthropique (dues à l'activité humaine) et cette accentuation est à l'origine du réchauffement climatique (Cf. Figure 1).

Les GES ont des propriétés radiatives et des temps de vie dans l'atmosphère variables. Différentes grandeurs sont définies afin de comparer la contribution de ces GES (Cf. Tableau 1) :

- le potentiel de réchauffement global (PRG) est une mesure de la quantité d'énergie absorbée par l'émission d'une tonne d'un gaz sur une période donnée, par rapport à l'émission d'une tonne de dioxyde de carbone (CO₂). Plus le PRG est élevé pour un gaz donné, plus il réchauffe la Terre par rapport au CO₂ sur cette période. Le PRG dépend

des propriétés radiatives et des durées de vie des gaz dans l'atmosphère.

- le forçage radiatif (W/m²) est la différence entre l'énergie radiative reçue et l'énergie radiative émise par la Terre sous l'effet de facteurs d'évolution du climat, tels que la variation de la concentration en GES. Un forçage radiatif positif induit par un GES indique une contribution positive de ce gaz au réchauffement climatique. L'ensemble du forçage radiatif d'origine anthropique s'élève à +3,8 W/m² pour les GES en 2019 par rapport à 1750 [2].

Le dioxyde de carbone est le plus important contributeur à l'amplification de l'effet de serre à l'échelle mondiale, du fait des importantes quantités émises dont une part importante est liée aux activités humaines. En France, les principales sources anthropiques d'émissions de GES générés par l'activité humaine sont identifiées dans le Tableau 2.

En France, les émissions de GES relevant des activités industrielles ou tertiaires sont liées pour une majeure partie aux secteurs des transports (33 %), de l'industrie manufacturière et la construction (18 %) et l'industrie de l'énergie (11 %) (Cf. Figure 2). Afin de respecter les accords signés lors de la COP-21³ (accords de Paris), la France s'est engagée au travers de la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) dans un plan de réduction annuelle de ces émissions de GES, avec pour objectif une baisse de 55 % par rapport à 1990 d'ici 2030.

La SNBC vise à actionner entre autres les leviers suivants pour atteindre une économie qualifiée « bas-carbone » :

- la sobriété énergétique en diminuant les consommations et en améliorant l'efficacité énergétique ;
- le recours à une énergie décarbonée par la promotion des énergies renouvelables et de leur stockage ;
- la réduction des émissions des gaz à effet de serre, et en particulier celle du CO₂.

Ces moyens d'action sont applicables à la majorité des secteurs industriels, avec une efficacité

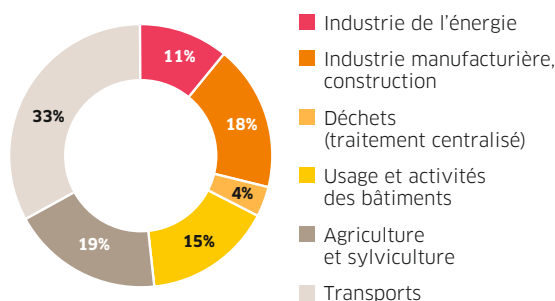
↓ TABLEAU 1
Grandeurs d'impact climatique des GES inscrits au Protocole de Kyoto [2].

GAZ À EFFET DE SERRE	PRG À 100 ANS	CONTRIBUTION À LA MODIFICATION DU FORÇAGE RADIATIF EN 2022 PAR RAPPORT À 1750 (W/M ²)	DURÉE DE VIE ATMOSPHÉRIQUE (ANS)	CONCENTRATION ATMOSPHÉRIQUE EN 2022 (PPB)
Dioxyde de carbone (CO ₂)	1	+ 2,17	100	417 000
Méthane (CH ₄)	28	+ 0,65	12	1 912
Protoxyde d'azote (N ₂ O)	265	+ 0,19	120	336
Hydrofluorocarbures (HFC)	De < 1 à 12 400	+ 0,05	100	0,255
Perfluorocarbures (PFC)	De < 1 à 11 100		52	0,092
Hexafluorure de soufre (SF ₆)	23 500		3 200	0,011
Trifluorure d'azote (NF ₃)	16 100		740	0,003

GAZ À EFFET DE SERRE (GES)	PRINCIPALES SOURCES DES ÉMISSIONS DE GES
Dioxyde de carbone (CO ₂)	Utilisation d'énergies fossiles (transports, procédés industriels, résidentiel / tertiaire...), traitement des déchets (incinération)
Méthane (CH ₄)	Agriculture (fermentation entérique, déjections animales), traitement des déchets, activités gazières
Protoxyde d'azote (N ₂ O)	Agriculture (utilisation d'engrais azotés, déjections animales), procédés industriels
Hydrofluorocarbures (HFC)	Réfrigération et climatisation, fabrication de mousses isolantes, propulsion pour aérosols, protection incendie, agroalimentaire
Perfluorocarbures (PFC)	Émissions industrielles spécifiques (semi-conducteurs, panneaux photovoltaïques, métallurgie des métaux non ferreux)
Hexafluorure de soufre (SF ₆)	Production d'électricité, biens d'équipement et matériels de transport (composés électriques et électroniques)
Trifluorure d'azote (NF ₃)	Fabrication de composants électroniques

← TABLEAU 2
Principales sources anthropiques d'émissions de GES en France en 2020.

FIGURE 2 → Répartition des émissions de gaz à effet de serre en équivalents CO₂ en France (d'après [1]).



néanmoins variable. Cet article vise à détailler ces différents leviers, leur incidence en matière de risques professionnels et les pistes envisagées pour les prévenir.

La sobriété énergétique

Les leviers d'action sur la réduction des consommations et l'amélioration de l'efficacité énergétique sont principalement liés à :

- l'intégration d'éléments techniques et organisationnels permettant aux entreprises de diminuer leur consommation énergétique tout en poursuivant leur activité ;
- la mise en œuvre de matériaux biosourcés dans le cadre du développement d'une construction durable.

Ces différentes actions ont potentiellement des impacts sur la prévention des risques professionnels.

Réduction des consommations énergétiques

Le Gouvernement français a établi en 2022 un plan de sobriété énergétique pour les entreprises afin de réduire leur consommation [3]. En complément des mesures générales présentées dans ce plan, les entreprises doivent recenser leurs consommations énergétiques afin de mettre en œuvre des mesures complémentaires de réduction, pertinentes et en adéquation avec leur activité.

Lorsque les entreprises engagent ces mesures, par exemple la modification d'équipements, de procédés ou d'organisation du travail, elles cherchent à en limiter les impacts sur leur productivité, ce qui peut les conduire à ne pas évaluer l'ensemble des risques associés et leurs conséquences sur la santé des salariés.

Pour chaque mesure de réduction d'énergie envisagée, une évaluation *a priori* des risques professionnels doit en effet être effectuée pour s'assurer que la nouvelle mesure *a minima* ne dégrade pas le niveau de protection des travailleurs.

Par exemple, les systèmes de chauffage, climatisation et ventilation des lieux de travail doivent être optimisés pour diminuer les consommations énergétiques, tout en préservant le confort thermique et la sécurité des salariés, notamment vis-à-vis de l'exposition à certains polluants atmosphériques.

L'amélioration de procédés, par une modification par exemple des conditions opératoires visant à réduire les émissions de polluants, doit permettre d'atteindre le double objectif de réduction des consommations et de protection des salariés. La gestion des systèmes de protection collective en assurant leur entretien régulier ou en améliorant leur efficacité répond à ce même besoin.

Parmi les mesures prises, le recyclage de l'air d'un local de travail peut être envisagé. Cette technique permet de réduire fortement les déperditions de chaleur dues au renouvellement de l'air du local. L'air extrait doit alors être épuré par une technique adaptée aux polluants présents, avant d'être réintroduit dans le local ou à proximité. Un renouvellement d'air minimal doit cependant y être associé afin d'évacuer la chaleur, l'humidité et le CO₂. Cette mesure présente cependant un risque non négligeable de réintroduire une partie des polluants que l'on cherche à éliminer dans le local, faute de maintenance suffisante du système d'épuration. Son application reste conditionnée à un respect strict de la réglementation (articles R. 4222-14





© Guillaume J. Plisson pour l'INRS / 2021

Projection dans un moule d'un enduit composé de chanvre, de terre et de chaux pour la fabrication d'un panneau isolant.

à R. 4222-17 du Code du travail) ; en particulier, les systèmes d'épuration doivent être efficaces et en adéquation avec les polluants émis, régulièrement contrôlés, et le système de surveillance de ces dispositifs d'épuration doit prévenir de tout défaut ou dysfonctionnement.

Tout manquement à ces règles entraînerait une exposition aux polluants émis des salariés présents dans les locaux concernés.

Il convient également d'intégrer à la réflexion un objectif de réduction des consommations énergétiques sur le long terme, au travers d'investissements pertinents : récupération de calories d'un local de travail ou d'un procédé, isolation thermique de bâtiments, installation de panneaux photovoltaïques...

Utilisation de matériaux biosourcés pour l'isolation des bâtiments

L'impact environnemental et énergétique est un enjeu important dans le domaine du bâtiment, que ce soit dans les constructions neuves ou dans la rénovation du parc existant. Des objectifs

d'amélioration et de performance des bâtiments visent à favoriser le recours aux matériaux présentant une faible empreinte carbone, ainsi qu'aux énergies renouvelables et peu carbonées.

La filière des matériaux biosourcés utilisés pour l'isolation des bâtiments a de ce fait connu un développement important ces dernières années. Le terme « biosourcé » se réfère à l'origine de la matière première : la biomasse. Les isolants biosourcés peuvent être divers : bois, chanvre, lin, paille, liège, coco, ouate de cellulose...

Ces produits offrent de nombreux bénéfices au regard de cette problématique, en comparaison des matériaux minéraux (laine de verre, de roche ou de laitier) ou des isolants synthétiques issus de la pétrochimie (polystyrène, polyuréthane) ; ils présentent une faible empreinte carbone, de bonnes performances thermiques, hygrothermiques et acoustiques et, sous leur forme non traitée, émettent peu de composés organiques volatils. L'utilisation de matières naturelles ne doit cependant pas occulter les possibles risques que ces isolants peuvent induire. En effet, il est

important de se questionner sur les impacts possibles en matière de santé et de sécurité qu'ils peuvent engendrer lors de leur cycle de vie, depuis leur production et leur mise en œuvre jusqu'à leur retrait, leur élimination et leur recyclage, mais aussi sur la qualité de l'air intérieur des bâtiments isolés par ces matériaux.

Les risques liés à ces matériaux sont notamment d'ordre chimique, du fait d'éventuels traitements pesticides réalisés au cours de leur culture, mais également de l'ajout de divers additifs (ignifugeants, antifongiques, rodenticides, liants) lors du procédé de fabrication, afin de leur conférer des propriétés mécaniques, biocides ou de résistance au feu (ces matériaux étant, à l'état non traité, combustibles voire facilement inflammables).

Les matériaux biosourcés étant par ailleurs, et pour la plupart, hygroscopiques et putrescibles, ils peuvent absorber l'humidité de l'air, se décomposer et exposer les salariés à un risque biologique (mycotoxines dues au développement de moisissures, par exemple) lors des phases de stockage, de pose et de retrait. Les émissions de poussières au cours des phases de découpe, de pose ou de retrait doivent donc être étudiées et leur impact sur la santé des salariés doit être évalué.

Le recours à une énergie décarbonée et son stockage

Si les énergies à faible empreinte carbone sont multiples, de nombreuses questions se posent avant tout sur leur stockage, qu'il soit électrochimique ou *via* le vecteur énergétique qu'est l'hydrogène.

Stockage électrochimique

Le stockage électrochimique de l'énergie, et en particulier son stockage *via* des batteries au lithium, est un ingrédient incontournable de la transition énergétique. Il permet entre autres de pallier l'intermittence des énergies renouvelables tels le solaire et l'éolien (stockage stationnaire) et également, de favoriser le nomadisme et la mobilité (stockage embarqué dans les véhicules).

Une des conséquences majeures du développement du stockage électrochimique est la diminution du recours aux énergies fossiles.

Les risques liés à l'utilisation, à la charge/décharge et au stockage des batteries au lithium sont maintenant bien connus et les mesures de prévention bien documentées.

Si les risques d'émissions de polluants (particules et gaz) et d'emballement thermique restent les risques prépondérants en cas de dysfonctionnement de la batterie (résultant d'un dommage mécanique, thermique ou électrique), le risque électrique ne doit pas être oublié pour les batteries de forte puissance, comme celles utilisées pour la mobilité des véhicules et engins.

La problématique des déchets et du recyclage des batteries au lithium doit également être prise en considération. De très nombreux dépôts de feu sont dénombrés chaque année dans les centres de collecte et de traitement, du fait d'erreurs de tri ou de la présence fortuite de batteries dans les flux de déchets traités. En effet, les batteries présentes dans les équipements électriques et électroniques, soit indissociables de l'équipement, soit non retirées avant recyclage, peuvent générer des incidents depuis le site de collecte (enseignes, déchetterie) jusqu'au centre de traitement.

De plus, la réglementation européenne impose que, d'ici moins de dix ans, des taux *minima* de matériaux issus de la valorisation des déchets (lithium, nickel, cobalt...) entrent dans la fabrication de nouvelles batteries. Ces obligations réglementaires vont avoir un impact fort dans le secteur du recyclage, qui est ainsi susceptible de se développer fortement et rapidement. L'exposition des salariés dans ce type d'activité pourrait être importante, dans le cas où la prévention des risques pour la santé et la sécurité n'est pas correctement intégrée à la conception de ces unités de revalorisation. En effet, lors de la phase de recyclage, les batteries sont initialement broyées afin d'obtenir une poudre noire, appelée « *black mass* », contenant des composés métalliques toxiques).

Selon les engagements actuels de l'Union européenne, la vente de véhicules thermiques sera interdite en 2035. La part de véhicules électriques va donc très fortement augmenter ces prochaines années, et engendrer des changements importants pour tous les acteurs de la chaîne automobile.

L'augmentation importante du nombre de ces véhicules électriques va non seulement avoir un impact sur les infrastructures, mais également sur certains métiers (garagistes et dépanneurs, amenés à intervenir sur des véhicules électriques accidentés ou abîmés), nécessitant de nouvelles compétences. Les surfaces des zones de stockage en sécurité de ces véhicules électriques accidentés, dont la batterie peut s'enflammer à tout instant si elle a été abîmée, vont devoir être augmentées. Une des possibles conséquences sera une réorganisation du secteur de l'entretien et de la réparation de véhicules, avec des garages spécialement dédiés aux véhicules électriques, qui devront présenter les garanties de sécurité (infrastructures, compétences techniques, équipements adaptés...), indispensables pour réaliser en toute sécurité des interventions sur ce type de véhicule.

Hydrogène

L'hydrogène ou dihydrogène (H₂) est l'un des moyens disponibles pour atteindre l'objectif de la neutralité carbone de la France à l'horizon 2050. Si l'hydrogène existe à l'état naturel (on parle



alors d'hydrogène naturel ou natif), sa production à l'échelle industrielle devrait prendre plusieurs années, les connaissances sur les mécanismes de formation, les réserves disponibles et les méthodes d'exploitation devant encore progresser.

En France, l'hydrogène est aujourd'hui essentiellement produit à partir d'hydrocarbures. Il peut également être obtenu par électrolyse de l'eau, à partir d'électricité d'origine nucléaire ou provenant d'énergies renouvelables. L'hydrogène doit alors être stocké avant d'être utilisé.

Son stockage est réalisé, à l'heure actuelle, sous forme de gaz comprimé dans un réservoir (350 à 1000 bars). D'autres techniques de stockage, sous forme liquide, comme la cryogénie ($-253\text{ }^{\circ}\text{C}$),

ou sous forme solide, absorbé sur un hydrure métallique, sont en cours de développement. Son utilisation permet de récupérer de l'énergie, suivant deux voies :

- sous forme d'électricité, *via* une pile à combustible (dans un véhicule, sur le réseau électrique...);
- sous forme de chaleur *via* sa combustion (dans le réseau gaz, en mélange avec le méthane ou directement dans un moteur thermique).

Ce vecteur énergétique peut donc être un élément important dans la décarbonation des transports, supprimant les inconvénients du stockage électrochimique, à savoir une limitation de l'autonomie et un long temps de charge.

Si l'hydrogène apparaît comme une solution séduisante, il faut prendre en compte les risques liés aux caractéristiques de ce gaz et à ses applications.

L'hydrogène est la plus petite molécule existante, ce qui confère à ce gaz des caractéristiques particulières : il est particulièrement mobile et présente une forte capacité à fuir. Du fait de sa petite taille, beaucoup de matières sont poreuses à l'hydrogène, amenant la fragilisation et le risque de rupture. C'est également un gaz extrêmement inflammable, avec une énergie d'inflammation très faible ($17\text{ }\mu\text{J}$) et qui forme des atmosphères explosives sur une très grande plage de concentrations dans l'air, à partir de 4 % et jusqu'à 75 %. Sa combustion génère une flamme invisible et extrêmement chaude (plus de $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Au-delà de ses caractéristiques intrinsèques d'inflammabilité, générant un risque d'incendie/explosion élevé, ses diverses applications présentent des risques spécifiques, comme ceux liés aux équipements sous pression ou ceux liés à la manipulation de récipients cryogéniques.

La production, le stockage et l'emploi de l'hydrogène doivent par conséquent s'accompagner de mesures de prévention des risques professionnels très strictes.

Photovoltaïque

En France, en 2022, 14 % de la consommation d'énergie primaire (énergie naturellement disponible dans notre environnement et obtenue sans transformations préalables) provenaient d'énergies renouvelables. Dans ce cadre, l'énergie solaire photovoltaïque, en fort développement depuis 2009, a connu une accélération ces cinq dernières années. Elle devrait encore progresser [2].

La croissance rapide de ce marché crée une demande très importante en main-d'œuvre et une multiplication des acteurs intervenants.

Une concurrence accrue et des chantiers de courte durée, fragilisant les mesures de sécurité mises en place, ainsi qu'une formation limitée des intervenants, peuvent avoir pour conséquence une accidentalité importante.

Remplissage d'hydrogène pour les piles à combustible utilisées sur des chariots en préparation de commandes.



© Guillaume J. Plisson pour l'INRS / 2016

Les risques liés au photovoltaïque sont bien identifiés : risques de chutes de hauteur et de chutes d'objet, risque d'électrification et de brûlures, risques liés à la manutention des panneaux et au travail en extérieur... Pourtant, les mesures de prévention ne sont pas toujours mises en œuvre sur les chantiers, par manque de temps ou de connaissances de l'activité. Il convient donc de porter une attention particulière à la mise en place d'accès en hauteur sécurisés, à la présence d'équipements de manutention et de protection contre les chutes de hauteur, à l'existence de chemins de circulation en toiture... Les risques liés aux conditions météorologiques doivent également être anticipés : risques liés aux fortes chaleurs, aux rayonnements solaires, risques de glissade en cas d'intempéries, de chute en cas de vent.

Par ailleurs, la durée de vie d'un panneau photovoltaïque étant estimée entre 20 et 30 ans, la filière du recyclage en France est aujourd'hui peu développée et un nombre très limité d'acteurs sont présents sur ce marché. Avec la très forte progression du photovoltaïque, et considérant les perspectives à venir, les besoins en recyclage vont fortement augmenter d'ici 2050. De nouvelles technologies sont en développement, adaptant et modifiant des procédés thermiques, mécaniques ou chimiques déjà existants afin de les rendre plus performants mais aussi, d'améliorer le taux et la qualité du recyclage. La récupération sélective des différents métaux stratégiques (silicium, argent, cuivre, indium, gallium, étain, tellure) ou dangereux (plomb, cadmium) qui composent la cellule représente l'un des objectifs majeurs.

Ces procédés de recyclage peuvent exposer les salariés à des produits chimiques, à des émissions gazeuses résultant de la dégradation thermique de certains matériaux et à des poussières lors des phases de broyage mécanique. Il est donc important d'anticiper ces risques lors de la conception de ces nouveaux procédés et de mettre en place des mesures de prévention adaptées (automatisation, travail en systèmes clos, encoffrement, captage, ventilation...).

La réduction des émissions de GES par les procédés industriels

La réduction des émissions de GES des procédés industriels peut s'effectuer en modifiant les procédés à la source ou en agissant sur les puits de carbone.

L'intensification des procédés est un exemple de rupture technologique, permettant de coupler la rentabilité économique et la réduction à la source de l'empreinte carbone. Des secteurs comme la chimie ou la pharmacie se sont ainsi engagés depuis plus d'une trentaine d'années dans cette voie, qui consiste souvent à passer de procédés

batch à des procédés continus, de plus petite taille, à meilleur rendement, permettant une suppression ou un recours réduit aux solvants, des gains énergétiques et une diminution de la production de sous-produits.

Cette approche a nécessité le développement de nouveaux concepts et outils pour le génie des procédés basés sur la multifonctionnalité, la flexibilité, l'utilisation de nouvelles sources d'énergie (lumière, ultrasons par exemple), la miniaturisation et l'optimisation de la structuration interne des réacteurs. Aussi a-t-on vu l'émergence d'une nouvelle génération d'appareils comme les mélangeurs statiques, ou les réacteurs échangeurs caractérisés par une grande complexité de fabrication.

L'intensification des procédés est associée à un meilleur contrôle des paramètres de conduite que sont la température ou les quantités de matière mises en jeu. Les échanges de chaleur comme de matière sont facilités, permettant de mieux contrôler les réactions et de prévenir ou stopper leur emballement. La mise en jeu de volumes réactionnels et de flux de matières plus faibles lors des transports dans les tuyauteries représente autant de facteurs d'amélioration de la fiabilité en matière de sécurité.

L'intensification des procédés permet donc souvent une réduction, voire une suppression du risque lié à l'exposition à des produits chimiques potentiellement dangereux.

Les progrès apportés par l'intensification des procédés présentent toutefois quelques limites. La complexité des modules thermiques ou réactionnels est un facteur défavorable à leur maintenance et à leur nettoyage. Leur encrassement est alors générateur de zones de surchauffe et de surpression néfastes à la conduite du procédé. Il peut aussi être source d'accidents, en phase de post-production, provoqués par la difficulté d'accéder à certaines zones du procédé. Par ailleurs, le recours à des sources d'activation plus intenses comme les ultrasons, le plasma froid ou les micro-ondes, induit de nouveaux risques, associés par exemple aux rayonnements ou aux fréquences sonores, qu'il est nécessaire d'évaluer. Enfin, la conduite des équipements multifonctionnels nécessite une attention plus soutenue. Cette haute technicité est renforcée par un changement d'échelle temporelle avec des temps caractéristiques, passant de l'heure à la seconde voire moins. Elle s'accompagne donc d'une charge mentale plus lourde pour les opérateurs affectés au contrôle de telles installations.

Par ailleurs, et même si la réduction à la source des émissions de CO₂ reste la priorité, la recherche de puits de carbone pour les émissions résiduelles est nécessaire. Elle passe notamment par le déploiement du CCUS (*Carbon Capture, Utilisation and Storage*), qui repose sur un processus composé



VALORISATION SANS TRANSFORMATION	VALORISATION PAR TRANSFORMATION CHIMIQUE	VALORISATION PAR TRANSFORMATION BIOLOGIQUE
<p>Utilisation industrielle : agent neutralisant du pH, utilisation alimentaire, CO₂ supercritique, fluide caloporteur, agent d'inertage</p> <p>Récupération assistée d'hydrocarbures : amélioration des rendements d'extraction du pétrole ou du gaz</p> <p>Récupération de la chaleur de géothermie profonde (encore au stade recherche)</p>	<p>Synthèse organique par carboxylation : urée, acide salicylique, carbonates cycliques utilisés en tant que monomères</p> <p>Production de méthane, méthanol et d'additifs de carburants selon différentes voies (hydrogénation, réformage, réduction électrolytique, thermochimie) (étape pilote)</p> <p>Minéralisation (étape pilote)</p>	<p>Culture de microalgues : production de biomasse valorisable en secteur agroalimentaire, pharmaceutique ou de l'énergie</p> <p>Biocatalyse : production de molécules organiques à haute valeur ajoutée dans le domaine des carburants ou de la pharmacie (encore au stade recherche).</p>

↑ TABLEAU 3
Voies de valorisation du CO₂.

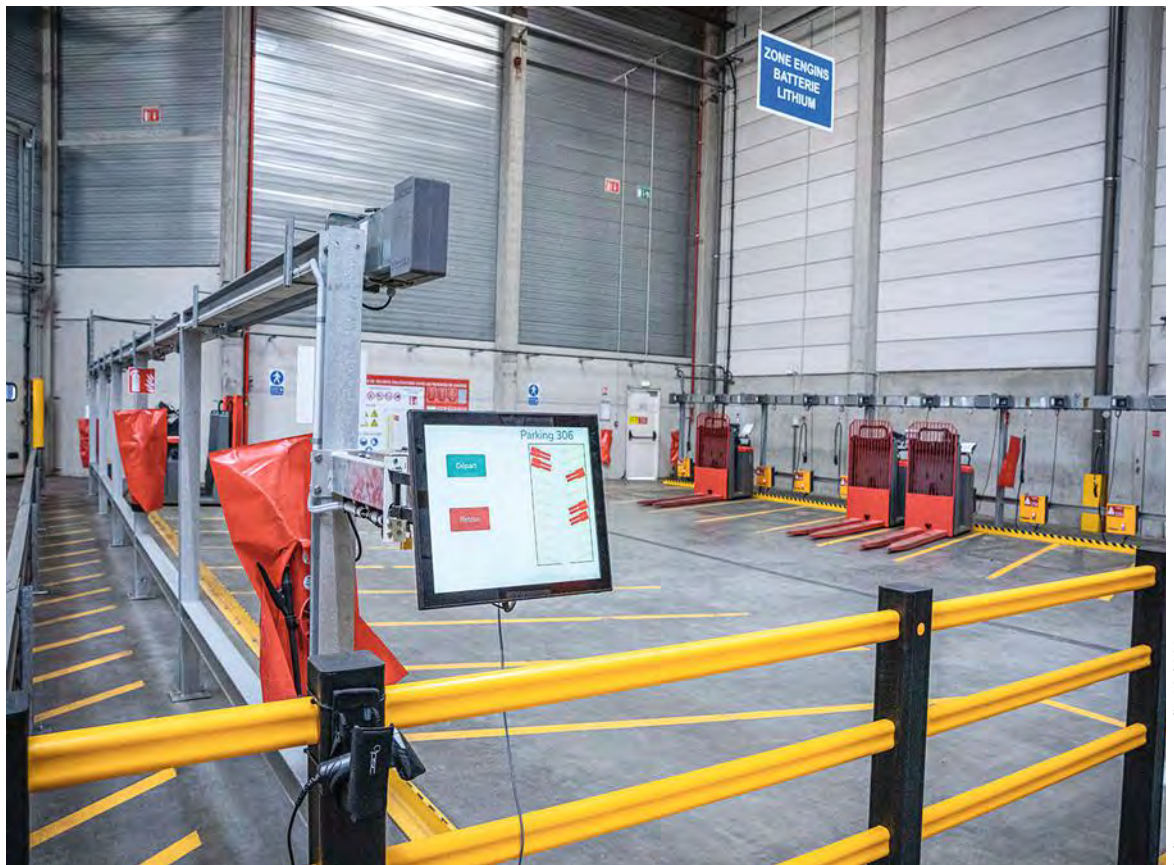
d'une étape de captage du CO₂ à la source d'émission, d'une étape de transport sous forme liquéfiée ou à l'état supercritique, et d'une étape de stockage avant utilisation en tant que ressource ou, sur du long terme, dans des sites adaptés. C'est un des leviers permettant de réduire l'émission de CO₂ des secteurs industriels fortement émetteurs de carbone, comme la métallurgie, la chimie, la pétrochimie ou les cimenteries.

Le captage du CO₂ dans l'industrie peut s'effectuer selon trois approches :

- en pré-combustion, par séparation de l'hydrogène du composé carboné source d'énergie;
- en post-combustion, par traitement des fumées;
- par oxy-combustion, par remplacement de l'air

par l'oxygène seul, permettant de concentrer le CO₂ pour faciliter sa séparation de la vapeur d'eau.

La nature des solvants mis en jeu en pré- ou en post-combustion va varier en fonction des conditions de pression en CO₂. En pré-combustion, la capture du CO₂ fait appel préférentiellement à des solvants comme le méthanol, le glycérol ou à des composés CMR (cancérogènes, mutagènes ou reprotoxiques) comme la N-méthyl-2-pyrrolidone. En post-combustion, l'usage de solvants aqueux à base d'amines ou d'ammoniac est cité pour atteindre une bonne séparation du CO₂. Outre leur toxicité propre, ils peuvent aboutir à la formation de composés cancérogènes comme les nitrosamines [4].



Zone de parking et de rechargement de chariots à batteries au lithium.

© Vincent Nguyen pour IINRS / 2024

La valorisation du CO₂ en tant que ressource s'effectue par différentes voies plus ou moins matures technologiquement dont quelques illustrations sont données dans le *Tableau 3* [5]. On distinguera deux modes de valorisation : la valorisation sans transformation, comme l'utilisation du CO₂ sous forme supercritique, et la valorisation avec transformation, qu'elle soit chimique ou biologique.

À l'horizon 2050, la minéralisation et l'hydrogénation représentent les voies à plus fort potentiel de valorisation.

Cependant, cette solution ne permet pas une consommation suffisante des quantités de CO₂ émises. Le recours au stockage géologique de CO₂ est une alternative possible, mais ne doit être envisagé qu'en dernière étape dans une stratégie de décarbonation, d'après l'Ademe [6]. Il s'agit alors d'exploiter des gisements d'hydrocarbures taris, ou des réservoirs d'eau salée situés en grande profondeur. Ces solutions se heurtent néanmoins à une forte opposition sociétale et peu de zones géographiques d'implantation sont en mesure d'accueillir de telles installations.

Si l'évaluation des risques professionnels et les démarches de prévention à mettre en œuvre dans le cadre du CCUS sont semblables pour les secteurs de l'énergie, de la pétrochimie ou de la chimie, la gestion du CO₂ nécessite une attention particulière. Pour effectuer son transfert depuis l'installation de capture vers la zone de valorisation ou de stockage, il est généralement comprimé pour atteindre l'état supercritique. Une perte de confinement peut survenir par rupture d'appareil ou de canalisations suite à des surpressions ou à de la corrosion due à la présence d'impuretés (espèces soufrées, eau). Les conséquences, aussi bien en matière de santé et sécurité au travail qu'environnementales, peuvent alors être graves. En effet, le CO₂ présente un danger à des concentrations élevées par appauvrissement de l'oxygène et du fait de sa toxicité propre. Sa valeur limite d'exposition professionnelle indicative sur la durée d'un poste de travail de 8 heures est de 5000 ppm. Lorsque la concentration en CO₂ dans l'air augmente, des céphalées surviennent et peuvent aboutir à des étourdissements. Le système cardiovasculaire peut aussi être atteint, avec apparition de palpitations et d'une élévation de la pression artérielle. L'exposition à une forte concentration peut s'avérer mortelle, avec des effets sur l'amplitude et la fréquence respiratoires, qui peuvent évoluer vers des convulsions voire un coma. La mise en place du CCUS doit donc s'accompagner d'un renforcement de la maîtrise du risque CO₂, en particulier en phase dense ou supercritique.

Conclusion

Les entreprises sont de plus en plus impactées par le réchauffement climatique et la limitation des

émissions de GES. Que ce soit d'un point de vue réglementaire, économique, environnemental ou sociétal, elles ont l'obligation de mettre en place des mesures pour réduire leur empreinte carbone. Cette prise en compte ne doit pas se faire au détriment de la santé et de la sécurité des salariés ; les logiques environnementales et de prévention des risques professionnels doivent se compléter et non s'opposer.

Il est primordial d'accompagner les salariés et les employeurs impactés dans leur quotidien par ces changements profonds, qu'ils en soient acteurs ou non. Cette démarche passe par une identification des conséquences en matière de risques professionnels sur un large périmètre d'activités, en particulier celles en forte mutation et évolution, avec pour objectif de proposer, non seulement des mesures de prévention, mais aussi des approches adaptées à tous les acteurs et permettre ainsi de coupler décarbonation et santé et sécurité au travail. ●

1. Giec: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

2. La neutralité carbone implique un équilibre entre les émissions de carbone et l'absorption du carbone de l'atmosphère par les puits de carbone. On estime que les puits naturels de carbone (sols, forêts, océans...) éliminent entre 9,5 et 11 gigatonnes (Gt) de CO₂ par an (voir: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/626092/IPOL_STU\(2018\)626092_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/626092/IPOL_STU(2018)626092_EN.pdf)), alors que les émissions mondiales de CO₂ ont atteint 37,8 Gt en 2021.

3. COP-21 : 21^e Conférence des Parties, Paris, 2015.

BIBLIOGRAPHIE

[1] CITEPA – Émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques en France 1990-2023. Rapport Secten, édition 2024. Accessible sur : https://ressources.citepa.org/Comm_Divers/Secten/Citepa_Secten%202024.pdf

[2] MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE – Data Lab : Chiffres clés des énergies renouvelables, édition 2024 et DATA LAB : Chiffres clés du climat, édition 2023. Accessible sur : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-energies-renouvelables-2024/livre> et: <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-du-climat-2023/livre>

[3] MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE – Plan de sobriété énergétique : une mobilisation générale. Dossier de presse, octobre 2022. Accessible sur : <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/dp-plan-sobriete.pdf>

[4] KOORNNEEF J. ET AL. – The environmental impact and risk assessment of CO₂ capture, transport and storage. An evaluation of the knowledge base. *Progress in energy and combustion science*, 2012, pp. 62-86.

[5] VALORISATION DU CO₂ – Parties 1 et 2 : voies directes et voies par transformations biologiques ou chimiques. *Techniques de l'ingénieur*, 2016.

[6] ADEME – Le captage et stockage géologique du CO₂ (CSC) en France. Le CSC, un potentiel limité pour la réduction des émissions industrielles. Ademe, 2020. Accessible sur : <https://librairie.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/81-captage-et-stockage-geologique-de-co2-csc-en-france.html>

Actualité juridique

PRÉVENTION DES RISQUES PROFESSIONNELS DES TRAVAILLEURS SAISONNIERS

37^e Congrès de médecine et de santé au travail, du 4 au 7 juin 2024 (Montpellier).

Pour en savoir plus : <https://www.medecine-sante-travail.com>

PÔLE
INFORMATION
JURIDIQUE
INRS,
département
Études, veille
et assistance
documentaires

Particulièrement présents dans certains domaines d'activité (tourisme, restauration, animation, agriculture), les travailleurs saisonniers constituent une population professionnelle hétérogène, aussi bien au regard de leur niveau de qualification et d'expérience, que de leurs conditions de vie.

De nombreux jeunes travailleurs, encore en formation, exercent leurs premières activités professionnelles pour de courtes périodes, dans le cadre d'un contrat de travail saisonnier. D'autres travailleurs saisonniers enchaînent les saisons et travaillent de façon pérenne dans ces activités.

C'est dans ce contexte que le sujet de la santé et de la sécurité des travailleurs saisonniers a été abordé lors du 37^e Congrès de médecine et de santé au travail, qui s'est tenu du 4 au 7 juin 2024 à Montpellier. Divers experts (médecins du travail, juristes, ergonomes...) se sont particulièrement intéressés :

- aux éléments permettant de repérer et d'évaluer les situations les plus à risque (niveau de précarité, état de santé, conditions de travail...);
- aux modalités particulières du suivi de leur état de santé;
- aux modalités d'intervention des acteurs de la prévention dans des contextes particuliers.

Enfin, les participants au congrès ont réfléchi aux moyens permettant de sensibiliser et former au mieux les différentes parties prenantes de la santé au travail que sont les employeurs, les salariés et leurs représentants et les équipes pluridisciplinaires des services de prévention et de santé au travail (SPST).

Une population particulièrement vulnérable face aux risques professionnels

Les différents débats menés au cours du congrès ont mis en évidence que les saisonniers forment une population de travailleurs vulnérables dans la mesure où il s'agit souvent de jeunes travailleurs,

peu expérimentés, présents pour une courte durée sur une activité saisonnière, ayant des difficultés d'accès à un hébergement de qualité, aux soins, et ne connaissant pas forcément les règles de protection prévues par le droit du travail.

Au regard de ces éléments, et bien que les dispositions générales applicables en matière de droit social et de santé et sécurité au travail leur soient applicables au même titre que les salariés non saisonniers, la réglementation s'est adaptée en prévoyant des dispositions particulières, telles qu'il en existe pour les jeunes travailleurs ou les salariés intérimaires. Cet article fait le point sur la réglementation qui leur est applicable.

Les critères permettant de conclure un contrat de travail pour des emplois saisonniers

Tel que le précise l'article L. 1242-2 du Code du travail, un contrat de travail à durée déterminée (CDD) peut être conclu pour l'exécution d'une tâche précise et temporaire, et pour des emplois à caractère saisonnier. On parle alors de « CDD saisonniers ». L'activité saisonnière autorisant le recours à ce type de contrat doit correspondre à des tâches appelées à se répéter chaque année, selon une périodicité à peu près fixe, en fonction du rythme des saisons ou des modes de vie collectifs (animateur sportif ou socioculturel, plagiste, cueillette de fleurs ou de fruits...).

Le caractère régulier, prévisible, cyclique de la répétition d'une activité permet de différencier le travail saisonnier du simple accroissement d'activités. C'est ainsi qu'une activité touristique (lieux culturels, activités sportives en montagne, à la mer...), caractérisée par un accroissement de visiteurs chaque année, à dates à peu près fixes, est une activité saisonnière au sens du Code du travail. Il est alors possible de conclure des contrats saisonniers avec des salariés, pour la période recevant le plus grand nombre de visiteurs.



© Fabrice Dimier pour l'INRS/2017

C'est ce qu'a décidé la Cour de cassation concernant les CDD successifs conclus avec une salariée, affectée au poste d'hôtesse de caisse à la tour Eiffel, sur une période de cinq ans : les deux premières années, pendant les vacances scolaires, puis les trois années suivantes, sur les 5 ou 6 mois de l'année pendant lesquels le plus grand nombre de touristes visitent la tour Eiffel. Pour les magistrats, l'activité touristique était bien caractérisée par un accroissement du nombre de visiteurs, chaque année, à des dates à peu près fixes, ce qui justifiait la signature de contrats saisonniers¹.

En revanche, une entreprise dont l'activité de vente se poursuit sans interruption pendant toute l'année ne peut, pour faire face à une augmentation temporaire de la demande de la clientèle (suite à des campagnes publicitaires ou promotionnelle par exemple), recourir à des contrats saisonniers. C'est ainsi que la Cour de cassation a considéré qu'une entreprise qui fabrique et commercialise des articles de camping en toute saison, n'a pas d'activité saisonnière. Une telle activité ne peut justifier le recours à des CDD saisonniers². Dans cette hypothèse, seuls des contrats pour le motif d'accroissement temporaire d'activité peuvent être conclus.

À noter : la distinction entre le travail saisonnier et le simple accroissement d'activité a des conséquences pratiques. En effet, sauf convention ou

accord collectif contraire, l'indemnité de fin de contrat (ou « indemnité de précarité ») versée en principe à la fin du CDD n'est pas due dans le cadre des contrats saisonniers, tandis qu'elle doit l'être pour les contrats conclus pour accroissement temporaire d'activité.

La réglementation applicable aux salariés saisonniers

Il est important de rappeler que les travailleurs saisonniers disposent des mêmes droits que l'ensemble des travailleurs. Les dispositions prévues par le Code du travail concernant, en particulier la durée du travail, la rémunération, la santé et la sécurité au travail, leur sont applicables.

Afin d'améliorer leur situation et leur garantir une certaine stabilité, le régime juridique du CDD saisonnier fait toutefois l'objet de certaines adaptations, avec en particulier la possibilité de :

- conclure des contrats sans terme précis³ ;
- conclure dans certains cas des CDD successifs avec le même salarié⁴ ;
- prévoir dans le contrat une clause de reconduction pour la saison suivante⁵.

Des dispositions spécifiques concernant les modalités de calcul de l'ancienneté⁵ et du repos compensateur sont également prévues. Les modalités du suivi de l'état de santé des travailleurs saisonniers font également l'objet de certaines adaptations.



Les dispositions applicables en matière de prévention des risques professionnels

Comme pour tous ses salariés, l'employeur est responsable de la santé et de la sécurité des saisonniers qu'il a engagés. Il est tenu à une obligation de sécurité et, à ce titre, il doit prendre les mesures nécessaires pour assurer leur sécurité et protéger leur santé physique et mentale et veiller à ne pas les affecter à certains travaux particulièrement dangereux.

Travaux interdits aux salariés saisonniers

Chaque employeur doit veiller à ne pas affecter de travailleurs saisonniers à certains travaux particulièrement dangereux, expressément listés à l'article D. 4154-1 du Code du travail. Les interdictions qui y sont mentionnées concernent l'exécution de travaux les exposant à certains agents chimiques dangereux ou aux rayonnements ionisants. Le directeur régional des entreprises, de la concurrence, de la consommation, du travail et de l'emploi peut toutefois exceptionnellement accorder une dérogation à cette interdiction. La demande d'autorisation doit alors lui être adressée par lettre recommandée avec avis de réception, accompagnée de l'avis du comité social et économique (CSE), ainsi que de l'avis du médecin du travail.

À noter : au-delà de ces dispositions, l'employeur devra veiller à ne pas affecter de jeunes de moins de 18 ans à des travaux les exposant à des risques pour leur santé, leur sécurité, leur moralité ou excédant leurs forces. Ce principe général est décliné par le Code du travail, travaux par travaux. À titre d'exemples, sont strictement interdits aux jeunes travailleurs d'au moins 15 ans et de moins de 18 ans, les travaux les exposant à des agents biologiques des groupes 3 ou 4⁶ ; à des vibrations mécaniques lorsque le niveau de vibration dépasse les valeurs d'exposition journalière⁷, ainsi qu'à des températures extrêmes susceptibles de nuire à leur santé⁸.

Évaluation des risques et mise en place d'une démarche de prévention

Dans le cadre de cette obligation générale d'assurer la sécurité et de protéger la santé des salariés, l'employeur doit évaluer les risques professionnels auxquels sont exposés les travailleurs saisonniers, préalablement à leur affectation à leur poste de travail et retranscrire les résultats dans le document unique.

En fonction des résultats de l'évaluation des risques, il doit mettre en place des mesures de prévention adaptées, même si celles-ci ne sont applicables que pour une courte durée. Il pourra être accompagné par le SPST, qui pourra le conseiller concernant les risques professionnels et l'amélioration des conditions de travail et par le CSE, s'il existe.

Au regard des secteurs ayant plus particulièrement recours à des travailleurs saisonniers (tourisme, agriculture, animation...), ces derniers peuvent être plus exposés à des horaires atypiques (travail de nuit, horaires décalés), à des températures extrêmes, au port de charges, à des manutentions, à du travail physique. Ils peuvent également être exposés à des risques de pratiques addictives (alcool, tabac).

À noter : la question de l'hébergement temporaire de ces travailleurs revêt une importance primordiale, de mauvaises conditions de logement pouvant avoir des conséquences sur leur santé physique et mentale. Ainsi, bien que la réglementation ne rende pas obligatoire l'hébergement des salariés par l'employeur, en pratique, il est souvent nécessaire. Dans ce cas, si l'employeur héberge ses salariés, il doit le faire dans des conditions de salubrité satisfaisantes, que l'Inspection du travail peut être amenée à contrôler.

Formation renforcée à la sécurité

Tel que le précise l'article L. 4142-2 du Code du travail, les salariés titulaires d'un CDD, affectés à « des postes de travail présentant des risques particuliers pour leur santé ou leur sécurité », doivent



© Cédric Pasquini pour l'INRS/2019

bénéficier d'une formation renforcée à la sécurité, ainsi que d'un accueil et d'une information adaptés à l'activité de l'entreprise dans laquelle ils sont employés.

À noter : il n'existe pas de définition juridique des « risques particuliers » au sens de cet article, mais il est possible de se référer à la circulaire 18/90 du 30 octobre 1990 relative au contrat de travail à durée déterminée et au travail temporaire⁹ pour établir la liste de ces postes.

L'employeur qui recourt à des salariés saisonniers doit donc lister les postes de travail pour lesquels il est nécessaire de mettre en place une formation renforcée à la sécurité. Cette liste de postes de travail est établie après avis du médecin du travail et du CSE, s'il existe. Elle est tenue à la disposition de l'agent de contrôle de l'inspection du travail.

La formation pourra notamment porter sur les risques auxquels ils sont susceptibles d'être exposés, les règles de sécurité sur le lieu de travail, l'utilisation, l'entretien et les vérifications des équipements de protection individuelle (EPI), les mesures de prévention à respecter en fonction des risques spécifiques, etc.

Accident du travail et contrat de travail saisonnier

Le salarié victime d'un accident du travail dans le cadre de l'exécution d'un contrat saisonnier bénéficie des mêmes droits que les autres salariés.

Les modalités du suivi de l'état de santé des travailleurs

Tel que le précise l'article L. 4625-1 du Code du travail, la protection des travailleurs saisonniers doit être équivalente à celle des autres travailleurs et les règles et modalités de suivi adaptées ne peuvent avoir pour effet la modification de la périodicité des examens médicaux définis par le Code du travail.

En complément à ces dispositions législatives, les modalités du suivi de santé des salariés saisonniers sont fixées par l'article D. 4625-22 du Code du travail et varient en fonction de la durée du contrat et des risques auxquels ils sont exposés.

Pour les salariés saisonniers recrutés pour une durée au moins égale à 45 jours de travail effectif et affectés à des emplois présentant des risques particuliers, mentionnés à l'article R. 4624-23 du Code du travail¹⁰, un examen médical d'embauche est obligatoire. Cet examen, réalisé par le médecin du travail, a notamment pour objets :

- de s'assurer que le travailleur est médicalement apte au poste de travail auquel l'employeur envisage de l'affecter ;
- de rechercher si le travailleur n'est pas atteint d'une affection dangereuse pour les autres travailleurs ;

- d'informer le travailleur sur les risques des expositions au poste de travail et le suivi médical nécessaire, ainsi que les moyens de prévention à mettre en œuvre.

Sont dispensés de cet examen médical d'embauche les salariés saisonniers :

- recrutés pour un emploi équivalent à ceux précédemment occupés si aucune inaptitude n'a été reconnue lors du dernier examen médical intervenu au cours des 24 mois précédents ;
- ainsi que ceux affectés à des risques particuliers pour une durée inférieure à 45 jours.

Pour les salariés saisonniers recrutés pour une durée inférieure à 45 jours (quels que soient les risques auxquels ils sont exposés) et ceux qui ne sont pas affectés à des postes à risque (quelle que soit la durée du contrat), le SPST organise des actions de formation et de prévention.

Ces actions, qui peuvent être communes à plusieurs entreprises, seront animées par des professionnels de santé au travail (médecins du travail, médecin praticien correspondant ou, sous l'autorité du médecin du travail, collaborateur médecin, interne et infirmier).

Elles pourront porter sur les risques professionnels spécifiques auxquels sont exposés les saisonniers concernés (horaires atypiques, bruit, travail exposant à la chaleur ou en ambiances froides, port de charges...) et les mesures de prévention à respecter, telles que le port des EPI. Des conseils et des informations en matière d'hygiène de vie peuvent également y être abordés.

Le CSE doit être consulté sur ces actions. Enfin, il convient de noter que le travailleur saisonnier, comme tous les autres salariés, peut bénéficier des autres visites accessibles à l'ensemble des travailleurs :

- visite de préreprise et de reprise du travail ;
- visites effectuées à la demande de l'employeur, du salarié ou du médecin du travail. ●

1. Cour de cassation, chambre sociale, 12 octobre 1999, n° 97-40.915.

2. Cour de cassation, chambre sociale, 26 octobre 1999, n° 97-42.776.

3. Article L. 1242-7 du Code du travail.

4. Art. L. 1244-1 du Code du travail.

5. Art. L. 1244-2 du Code du travail.

6. Art. D. 4153-19 du Code du travail.

7. Art. D. 4153-20 du Code du travail.

8. Art. D. 4153-36 du Code du travail.

9. Circulaire 18/90 du 30 octobre 1990 relative au contrat de travail à durée déterminée et au travail temporaire. Accessible sur : <https://www.lexbase.fr/texte-de-loi/circ-drt-n-9018-du-30101990-4392/L2859AIQ.html>

10. Les postes présentant des risques particuliers sont ceux exposant les travailleurs à l'amiante, au plomb, aux agents CMR, aux agents biologiques des groupes 3 et 4, aux rayonnements ionisants, au risque hyperbare, au risque de chute de hauteur lors des opérations de montage et de démontage d'échafaudages.

Actualité juridique

ACCIDENT DU TRAVAIL D'UN APPRENTI DANS SON CENTRE DE FORMATION

Cour de cassation (deuxième chambre civile), 6 juin 2024, n° 21-23.216.

Accessible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr/juri/id/JURITEXT000049689606>

PÔLE
INFORMATION
JURIDIQUE
INRS,
département
Études, veille
et assistance
documentaires

Faits et procédure

Un apprenti a fait une chute de grande hauteur alors qu'il était en formation d'élagueur dans un centre de formation professionnelle et de promotion agricole (CFPPA), sous l'autorité de ses formateurs, qui étaient chargés de lui apprendre les techniques pour grimper aux arbres.

Son contrat d'apprentissage prévoyait que cette formation s'effectuait tant en entreprise, auprès du maître d'apprentissage (employeur), qu'au CFPPA. La chute étant survenue alors qu'il était en formation pendant l'exécution de son contrat d'apprentissage, celle-ci a été reconnue comme un accident du travail.

À noter : L'article L. 6222-32 du Code du travail précise que lorsque l'apprenti fréquente le centre de formation, il continue à bénéficier du régime de Sécurité sociale sur les accidents du travail et les maladies professionnelles dont il relève en tant que salarié.

Plusieurs actions procédurales ont été engagées par l'apprenti afin d'obtenir réparation des préjudices subis :

- devant la juridiction chargée du contentieux de la Sécurité sociale : en application du régime spécifique de responsabilité en cas d'accident du travail, l'apprenti a saisi une juridiction chargée du contentieux de la Sécurité sociale, afin de faire reconnaître la faute inexcusable du CFPPA, en appelant le maître d'apprentissage (l'employeur de l'entreprise) en la cause. En appel, la cour a considéré que le CFPPA avait en effet commis une faute inexcusable, dont devait répondre l'employeur ;
- devant la juridiction de droit commun : afin d'obtenir l'indemnisation des préjudices n'ayant pas déjà été réparés par la Sécurité sociale, l'apprenti, sa tutrice ainsi que d'autres personnes n'ayant pas la qualité d'ayants droit, ont formé un recours devant la juridiction de droit commun (tribunal de grande instance au moment des faits) en se retournant, d'une part, vers l'établissement public gérant le centre de formation et, d'autre part, vers les deux

formateurs préalablement condamnés par jugement correctionnel pour blessures involontaires.

À noter : une action pénale avait en effet été préalablement engagée à l'encontre des deux formateurs devant le tribunal correctionnel, lequel les a condamnés pour blessures involontaires sur la personne de l'apprenti.

La cour d'appel a rejeté le recours de l'ensemble des demandeurs pour irrecevabilité, sur le fondement de l'article L. 454-1 du Code de la Sécurité sociale. Selon cet article, si la lésion dont est atteint l'assuré social est imputable à une personne autre que l'employeur ou ses préposés, la victime ou ses ayants droit conserve contre l'auteur de l'accident le droit de demander la réparation du préjudice causé, conformément aux règles de droit commun, dans la mesure où ce préjudice n'est pas réparé par application de la législation sur les accidents du travail.

Tel que le rappelle la cour d'appel, un centre de formation d'apprentis (CFA) ne peut pas être considéré comme un tiers à l'employeur. En revanche, les demandeurs qui n'ont pas la qualité d'ayant droit de l'apprenti peuvent demander réparation de leurs préjudices selon les règles de droit commun. L'apprenti et sa tutrice ont alors formé un pourvoi en cassation.

Décision de la Cour de cassation

Dans cette affaire, l'apprenti réclamait l'application de la règle particulière prévue par l'article L. 454-1 du Code de la Sécurité sociale permettant au salarié victime d'une lésion imputable à un tiers à l'employeur d'agir contre celui-ci pour obtenir réparation du préjudice causé, qui n'aurait pas été indemnisé par la juridiction de Sécurité sociale. Selon lui, il convenait en effet dans cette affaire d'assimiler le CFPPA à un tiers, qui lui devait donc réparation du préjudice subi, selon les règles de droit commun.

La Cour de cassation rejette le pourvoi de l'apprenti et de la tutrice et confirme la position de la cour d'appel en rappelant que l'accident a eu lieu pendant

sa formation au sein du CFPPA, sous l'autorité des formateurs, dans le cadre de son contrat d'apprentissage qui se déroule tant en entreprise qu'au centre de formation. La règle particulière soulevée par l'apprenti ne peut donc pas s'appliquer, le CFPPA ne peut pas être considéré comme un tiers à l'employeur.

En revanche, les demandeurs qui n'ont pas la qualité d'ayant droit de l'apprenti peuvent demander réparation de leurs préjudices selon les règles de droit commun. Cet arrêt est ainsi l'occasion d'apporter quelques précisions concernant la procédure qui peut être engagée en cas d'accident du travail d'un apprenti, avant de s'intéresser au cadre réglementaire et en particulier, aux dispositions spécifiques prévues en matière de santé et de sécurité applicables à ces salariés en formation.

Dispositions applicables en cas d'accident d'un apprenti au sein d'un CFA

Conformément aux dispositions de l'article L. 6222-24 du Code du travail, le temps consacré par l'apprenti à la formation dispensée dans les CFA est compris dans l'horaire de travail, sauf lorsqu'il s'agit de modules complémentaires au cycle de formation, librement choisis par l'apprenti et acceptés par le CFA.

Dès lors, si un accident survient au cours de la formation, il s'agit d'un accident du travail. Dans ce cas de figure, afin d'obtenir réparation de divers préjudices et bénéficier d'une indemnité forfaitaire supplémentaire, l'apprenti victime de l'accident peut engager une action devant les juridictions de Sécurité sociale (c'est ce qu'il a fait en l'espèce).

Si l'accident a été provoqué par un tiers, l'apprenti peut également demander réparation du préjudice causé en se fondant sur les règles de responsabilité civile de droit commun. La demande ne peut toutefois porter que sur la réparation du préjudice qui n'est pas prise en charge par la législation relative aux accidents du travail et maladies professionnelles. L'employeur peut lui aussi exercer contre le tiers une action en réparation de son préjudice. Conformément aux dispositions de l'article L. 454-1 du Code de la Sécurité sociale, la caisse d'assurance maladie, qui est tenue de verser à la victime ou ses ayants droit les prestations et indemnités prévues par la législation professionnelle, peut quant à elle demander au tiers responsable de l'accident ou de la maladie le remboursement des sommes payées.

La notion de tiers responsable

Le tiers responsable s'entend de la personne autre que l'employeur ou son préposé ayant participé à la réalisation du dommage. Aux termes des dispositions de l'article 1242 du Code civil, le préposé est celui qui agit pour le compte d'une autre personne, laquelle possède à son égard un pouvoir de surveillance, de direction et de contrôle. En l'espèce,

le CFPPA, comme tout CFA, ne pouvait être considéré comme un tiers à l'employeur.

L'action de la victime ou de ses ayants droit

Le recours de la victime ou de ses ayants droit contre le tiers responsable a pour objet d'obtenir la réparation des préjudices qui n'auraient pas été indemnisés par la juridiction de Sécurité sociale en application des règles relatives aux accidents du travail. En effet, lorsque l'intégralité du préjudice subi n'est pas indemnisée par les prestations indemnitaires qui lui ont été versées, elle peut obtenir du tiers auteur de l'accident une indemnisation complémentaire en application du droit commun de la responsabilité civile. En cas de décès de la victime, ses ayants droit peuvent obtenir du tiers auteur de l'accident l'indemnisation complémentaire qu'aurait pu obtenir la victime¹.



© Gaël Kerbaol / INRS / 2018

Cadre réglementaire applicable aux apprentis

Le principe : application des mêmes règles pour tous

Conformément aux dispositions de l'article L. 6222-23 du Code du travail, les apprentis bénéficient des dispositions applicables à l'ensemble des salariés dans la mesure où elles ne sont pas contraires à celles qui sont liées à leur situation de jeune travailleur en formation. Leurs conditions de travail sont en principe identiques à celles des autres salariés de l'entreprise, sous réserve de certaines particularités en matière de durée du travail et de sécurité notamment.

À noter : les apprentis peuvent être embauchés en CDD ou en CDI à partir du CAP jusqu'au niveau Bac + 5. Ils doivent en principe avoir entre 16 et 29 ans révolus en début d'apprentissage. Par exception, les jeunes d'au moins 15 ans peuvent être apprentis

Action de sensibilisation et de formation à la santé et à la sécurité au travail organisée dans le cadre d'un « Challenge acteurs PRAP » destiné à des élèves d'un lycée professionnel.



s'ils ont été scolarisés jusqu'à la fin de la classe de troisième. Un contrat peut être conclu jusqu'à la veille des 30 ans de l'intéressé, même si « *sa date de début d'exécution intervient postérieurement, dans un délai raisonnable, ne remettant pas en cause la continuité et la cohérence du parcours de formation* ».

Une alternance entre formation théorique et pratique

L'employeur doit assurer la formation pratique de l'apprenti en lui attribuant des tâches, en lien avec sa formation théorique dispensée par le CFA et lui permettant de progresser. Il s'engage à prendre part aux activités destinées à coordonner la formation au CFA et en entreprise, à l'inscrire et le faire participer aux épreuves du diplôme ou du titre préparé.

L'apprenti doit en outre être suivi par un maître d'apprentissage et bénéficier d'une véritable formation. Si l'apprenti exerce des fonctions similaires à celles des autres salariés de l'entreprise, sans réelle formation associée, l'employeur détourne alors le contrat d'apprentissage de son objet, qui peut être requalifié en contrat à durée indéterminée et justifier l'indemnisation du préjudice subi par le travailleur².

Bien que les apprentis bénéficient en grande partie des mêmes règles que les autres salariés, compte tenu de leur vulnérabilité, des dispositions spécifiques sont toutefois prévues par le Code du travail. Elles concernent notamment la durée du travail, l'interdiction de les affecter à des postes dangereux et le suivi de leur état de santé.

Dispositions particulières concernant la durée du travail de l'apprenti

L'apprenti majeur est soumis à la durée du travail applicable dans l'entreprise. S'il est mineur, des dispositions spécifiques s'appliquent, il ne peut notamment ni travailler plus de 8 heures par jour, ni plus de 35 heures par semaine (temps de formation en CFA compris).

Le travail de nuit est, en principe, interdit aux apprentis de moins de 18 ans mais, dans certains secteurs d'activité, une dérogation peut être accordée par l'inspecteur du travail pour une durée maximale d'une année, renouvelable (hôtellerie, restauration, boulangerie, pâtisserie, spectacles, courses hippiques)³.

Des dispositions spécifiques sont en outre prévues, si certains apprentis de moins de 18 ans sont amenés à travailler les dimanches et jours fériés dans certains secteurs également⁴ (à titre d'exemples : pâtisserie, boucherie, charcuterie, fromagerie-crèmerie, poissonnerie...⁵).

Interdiction d'affecter l'apprenti à des travaux dangereux pour sa santé et sa sécurité

→ Travaux interdits à tous les apprentis

Il est interdit d'affecter l'apprenti à des travaux dangereux pour sa santé ou sa sécurité sous peine de l'amende prévue pour les contraventions de cinquième classe⁶.

Le Code du travail ne précise pas quels travaux sont qualifiés de dangereux. En effet, s'il est interdit d'affecter les apprentis mineurs à certains travaux (*cf. paragraphe suivant*), il est plus difficile de savoir ce qui est visé pour les apprentis majeurs.

Toutefois, le contrat d'apprentissage étant un contrat à durée déterminée (CDD), les apprentis ne doivent pas en principe être employés pour effectuer des travaux les exposant aux agents chimiques dangereux ou aux rayonnements ionisants listés à l'article D. 4154-1 du Code du travail. Par dérogation, l'employeur peut y être autorisé par la direction régionale de l'économie, de l'emploi, du travail et des solidarités (Dreets).

Il convient aussi de ne pas s'arrêter à cette liste et de prêter une attention particulière aux travaux identifiés comme dangereux dans l'entreprise, notamment lors de l'élaboration de la liste des postes à risques particuliers nécessitant un suivi individuel renforcé ou en raison d'accidents ou d'incidents répétés. En cas de doute, l'employeur peut contacter l'inspection du travail afin de s'assurer que des travaux auxquels il compte affecter un apprenti ne sont pas dangereux pour sa santé et sa sécurité. Il peut également s'adresser à son service de prévention et de santé au travail pour s'assurer de la compatibilité des travaux envisagés avec l'état de santé de l'apprenti.

Enfin, il convient de noter que dans une circulaire destinée au secteur public⁷, il est précisé que la liste des travaux interdits s'appliquant aux apprentis mineurs, peut, dans certains cas, s'appliquer aux apprentis majeurs. L'employeur peut donc également s'appuyer sur cette liste pour déterminer quels sont les travaux dangereux pour la santé ou la sécurité d'un apprenti majeur.

→ Travaux interdits aux apprentis mineurs

Conformément aux dispositions spécifiques applicables aux jeunes travailleurs, les apprentis de moins de 18 ans ne sont pas autorisés à effectuer certaines catégories de travaux les exposant à des risques pour leur santé, leur sécurité, leur moralité ou excédant leurs forces. La liste de ces « travaux interdits » est fixée par les articles D. 4153-15 et suivants du Code du travail.

→ Déclaration d'affectation à des travaux réglementés⁸

Des dérogations sont toutefois possibles pour certains de ces travaux dits « travaux réglementés ».

Ainsi, l'employeur et/ou le directeur du CFA qui souhaitent affecter un apprenti mineur à des travaux réglementés doivent notamment :

- avoir procédé, préalablement à l'affectation au poste de travail, à une évaluation des risques existants pour le travailleur ;
- avoir mis en œuvre les mesures de prévention nécessaires ;
- lui avoir dispensé une formation à la sécurité adaptée à son âge, son niveau de formation et son expérience professionnelle ;
- s'assurer que l'encadrement de l'apprenti est assuré par une personne compétente durant l'exécution des travaux ;
- avoir obtenu, pour chaque jeune, un avis médical d'aptitude délivré chaque année, soit par le médecin du travail pour les salariés, soit par le médecin chargé du suivi médical des étudiants.

→ Retrait d'affectation à certains travaux⁹

L'agent de contrôle de l'inspection du travail peut décider du retrait d'affectation d'un apprenti mineur, dès lors que celui-ci est affecté à :

- un ou des travaux strictement interdits ;
- des travaux réglementés et placé dans une situation l'exposant à un danger grave et imminent pour sa vie ou sa santé.

Ce retrait est immédiat. Lorsque l'employeur ou le chef de l'établissement d'enseignement a pris toutes les mesures pour faire cesser la situation de danger grave et imminent, il en informe l'agent qui devra se positionner sur une autorisation ou un refus de reprise des travaux dans un délai de deux jours ouvrés.

Suspension du contrat en cas de situation dangereuse

En cas de risque sérieux d'atteinte à la santé ou à l'intégrité physique ou morale de l'apprenti, le contrat peut être suspendu¹⁰. Il s'agit d'une procédure d'urgence s'appliquant aux situations exposant l'apprenti à un danger particulièrement grave, tel que des violences physiques ou morales graves, une mise en danger de sa santé et de sa sécurité (utilisation de substances ou de préparations dangereuses, conduite de machines dangereuses, défaut de conformité des installations de l'entreprise par exemple).

Suivi de l'état de santé de l'apprenti

L'apprenti bénéficie de dispositions particulières concernant les modalités de son suivi de santé, liées à la particularité de son statut. Celles-ci sont détaillées dans le focus juridique publié sur le site Internet de l'INRS : « *Quelles sont les modalités de suivi de l'état de santé des apprentis* ¹¹ ? ».

Les principales dispositions sont les suivantes :

- si l'apprenti n'est pas exposé à des risques particu-



© Vincent Nguyen pour l'INRS/2022

liers au cours de son contrat, il bénéficiera d'une visite d'information et de prévention au plus tard dans les deux mois qui suivent l'embauche ou bien avant l'affectation au poste lorsque l'apprenti est mineur ou lorsqu'il est affecté à un travail de nuit¹² ;

- si l'apprenti est affecté à un poste l'exposant à des risques particuliers (amiante, rayonnements ionisants, risque de chute de hauteur lors des opérations de montage et de démontage d'échafaudages...) ou qu'il a moins de 18 ans et qu'il est affecté à des travaux dangereux dans le cadre de dérogations, il doit bénéficier d'un examen médical d'aptitude, réalisé par le médecin du travail, au plus tard dans les deux mois suivant son embauche.

L'inaptitude médicale constatée par le médecin du travail peut justifier la rupture du contrat d'apprentissage. Compte tenu de la finalité de l'apprentissage, l'employeur n'est pas tenu de procéder au reclassement de l'apprenti. ●

1. Article L. 454-1 du Code de la Sécurité sociale.

2. Cour de cassation, chambre sociale, 12 février 2013, n° 11-27.525.

3. Articles R. 3163-1 et suivants du Code du travail.

4. Les secteurs dans lesquels des dérogations sont possibles pour le travail de nuit sont différents de ceux dans lesquels des dérogations sont envisageables pour qu'un jeune travaille le dimanche.

5. Articles R. 3164-1 et R. 3164-2 du Code du travail.

6. Articles L. 6222-30 et R. 6227-5 du Code du travail.

7. Circulaire du 8 avril 2015 relative à la mise en œuvre de l'apprentissage dans le secteur public non industriel et commercial.

8. Articles L. 4153-9 et R. 4153-40 et suivants du Code du travail. Pour en savoir plus, voir le dossier web INRS « jeunes travailleurs » : <https://www.inrs.fr/demarche/jeunes-travailleurs/reglementation.html>

9. Articles L. 4733-1 et suivants du Code du travail.

10. Articles L. 6225-4 et suivants du Code du travail.

11. Voir : <https://www.inrs.fr/publications/juridique/focus-juridiques/focus-suivi-sante-apprentis.html>

12. Article R. 4624-18 du Code du travail.

Focus normalisation

L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA SANTÉ ET LA SÉCURITÉ AU TRAVAIL ET SUR LA NORMALISATION

Le changement climatique se fait de plus en plus sentir, pas uniquement par des phénomènes météorologiques extrêmes, comme les périodes de canicule, les inondations, ou les feux de forêt, mais également par la prolifération d'insectes ou le bouleversement des périodes de floraison. La protection de la santé et de la sécurité au travail doit s'adapter à cette évolution.

THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH AND STANDARDISATION – Climate change is increasingly palpable, as evidenced not only by the extreme weather phenomena such as heat waves, floods and forest fires, but also by the proliferation of insects and the upheaval of flowering times. Preservation of occupational safety and health must adapt to this development.

STEFAN
KREMPL
Journaliste
indépendant

KAN Brief

Cet article est issu du bulletin d'information KAN Brief n° 1/24 (consultable sur : www.kan.de/fr) de la *Kommission Arbeitsschutz und Normung* (KAN). The English version of this article is accessible at www.kan.de/en

Comme l'ont relevé des scientifiques européens, l'année 2023 a été la plus chaude depuis 125 000 ans. Selon le Service officiel de météorologie allemand (DWD), il n'a jamais fait aussi chaud depuis les premiers enregistrements de températures¹. L'Europe subit aussi de plus en plus les conséquences du changement climatique planétaire. Cela provoque des phénomènes météorologiques extrêmes toujours plus nombreux, tels que les longues périodes de forte chaleur propices aux incendies de forêt, ou encore de fortes pluies, des inondations et des crues soudaines. L'exposition aux UV et à l'ozone augmente. On observe une prolifération d'insectes invasifs, tels que des variétés de moustiques et de tiques jusqu'alors inconnues sous les latitudes tempérées, et susceptibles de transmettre des maladies. La prolongation des périodes de plantation et de floraison peut provoquer des réactions allergiques plus fréquentes, telles que le rhume des foins, l'asthme ou les dermatites de contact. Pour la santé et la sécurité au travail (SST) et les normes et réglementations existantes dont elles font l'objet, l'aggravation des conditions climatiques représente aussi un défi de taille. Selon une expertise, publiée en 2023 pour le ministère fédéral du Travail par l'Alliance allemande pour le chan-

gement climatique et la santé (KLUG) et le *Centre for Planetary Health Policy* (CPHP)², le changement climatique devrait rendre les risques auxquels sont exposés les travailleurs plus intenses et plus fréquents. Pour permettre à chacun de continuer à travailler longtemps et en bonne santé, il est donc nécessaire de prendre des mesures de prévention à un stade précoce, tant en « protégeant le climat » (mitigation)³ qu'en s'adaptant aux conséquences du changement climatique (adaptation). Selon les chercheurs, en Europe, la chaleur représente déjà le plus grand danger pour la santé. Elle est l'une des causes de l'augmentation du stress professionnel et de l'absentéisme, qui s'accompagnent de baisses importantes de productivité. Dès 2021, le groupe de réflexion dédié à la société du travail numérique au sein du ministère allemand en charge du Travail et des Affaires sociales émettait une mise en garde⁴, expliquant que, même dans des pays industrialisés, il existe des régions (comme, aux États-Unis, la « Sun Belt », située au sud du 37^e Parallèle), où la température dépasse la « température de fonctionnement » de l'être humain pendant un nombre de journées en nette croissance. Cela entraîne des risques pour l'organisme : déshydratation, fatigue générale, troubles de la concentration, troubles cardiovasculaires, troubles de la fonction rénale, coups de

chaleur... La chaleur peut, indirectement, augmenter le risque d'accidents du travail, dus non seulement à une chute de la capacité de concentration, mais aussi, par exemple, à une forte transpiration des mains ou à des lunettes embuées. Le port de certains équipements de protection individuelle (EPI) pendant le travail pourrait en outre avoir un impact négatif sur le bien-être corporel, en raison d'une transpiration accrue. L'Institut fédéral de la sécurité et de la santé au travail (BAuA) constate quant à lui dans un rapport⁵ que l'équilibre du bilan thermique du corps humain, nécessaire à chaque individu, peut être mis en danger lorsque celui-ci travaille par fortes chaleurs. Lors d'un travail physique, une grande quantité de chaleur est généralement produite dans l'organisme et un EPI pourrait alors l'empêcher de s'évacuer. Mais inversement, le fait de ne pas porter d'EPI signifie un risque accru d'exposition à des substances dangereuses ou à des agents pathogènes. La chaleur peut en outre favoriser la libération de substances, telles que le formaldéhyde ou des plastifiants, par les matériaux mis en œuvre. La question se complique aussi du fait que

la durabilité des matériaux, exigée notamment par la législation européenne sur les produits chimiques, concerne également par principe les composants des EPI ou des extincteurs⁶.

En plus des dangers imputables à la chaleur, l'augmentation du rayonnement ultraviolet (UV) solaire représente un défi pour la SST. Des lunettes et produits de protection solaire, ainsi que des textiles spéciaux figurent parmi les EPI contre les rayons UV, utilisés notamment dans les secteurs de la construction, de l'agriculture, des services de livraison, des piscines et de la garde d'enfants. Au vu du nombre croissant de cancers de la peau, on mesure l'importance de la protection solaire. Il existe déjà diverses normes européennes et internationales qui concernent les caractéristiques des produits dont sont composés ces EPI.

De nouvelles normes pour un monde en mutation

D'autres activités de normalisation sont menées par la Commission VDI du Din⁷ dédiée à la pureté de l'air. Son domaine de travail englobe déjà des questions telles que l'origine et la prévention d'émissions

Le changement climatique provoque des phénomènes météorologiques extrêmes, tels les épisodes de canicule, qui peuvent mettre en danger la santé des salariés.



atmosphériques d'agents toxiques, la problématique de l'élimination des déchets et des résidus, l'utilisation de la chaleur (exploitation de la chaleur d'origine industrielle, sinon perdue), la météorologie environnementale et l'effet des émissions, ainsi que la technologie d'épuration des gaz d'échappement et les techniques de dépoussié- rage. Les praticiens aspirent aussi à trouver des réponses aux questions concernant la sécurité lors du recyclage ou de la réutilisation des matériaux quand des substances dangereuses risquent d'être libérées. L'approche « *Safety by Design* » – et donc l'intégration directe de mesures de protection dès la conception des machines et des produits – devrait aider à atteindre cet objectif.

En outre, c'est souvent dans les pays en développement et émergents que s'effectuent le recyclage et la production des matières premières destinées aux technologies respectueuses du climat, réclamées par le Pacte vert pour l'Europe⁸. Le ministère allemand du Travail préconise donc l'élaboration et la diffusion de normes communes pertinentes, ainsi que la mise en place de règles internationales concernant le respect de standards sociaux et de travail dans les chaînes d'approvisionnement. Il s'agit d'aller au-delà d'une approche de travail « en silos » et de rechercher des solutions intégrées qui allient à la fois la SST, la sécurité des produits et la sécurité environnementale. La numérisation et la mise en place de l'économie circulaire promue par l'UE offrent l'opportunité de mettre en pratique de telles approches transversales.

D'après Stefan Bauer, expert en changement climatique et en SST auprès du BAuA, il est également urgent de prendre des mesures architecturales et techniques pour protéger de la chaleur en été, ce qui inclut des zones d'ombrage et autres solutions extérieures de protection solaire, des systèmes de refroidissement régénératifs et à bonne efficacité énergétique, ainsi que des mesures d'urbanisme adéquates, comme la végétalisation des façades et des espaces extérieurs afin de réduire la surchauffe à l'intérieur des bâtiments. Il serait bon d'élargir l'exigence de « *températures intérieures favorables à la santé* » contenue dans l'Ordonnance allemande sur les lieux de travail, pour y prescrire, plus globalement, un « *climat intérieur favorable à la santé* ». Le Din travaille à l'élaboration de normes pertinentes, notamment sur la protection thermique des bâtiments, ou sur des méthodes de mesure et d'évaluation standardisées. Il estime toutefois qu'à ce jour, le changement climatique n'est pas encore suffisamment ancré dans les normes, et qu'il faut donc encourager l'échange d'expérience entre différents secteurs afin de contribuer dans toute l'Europe à l'élaboration de normes résistantes au changement climatique.

Le passage à une nation industrielle climatiquement neutre exige une transformation verte radicale dans tous les domaines de l'économie et de la société⁹, comme le souligne le Din, qui travaille en étroite concertation avec les instituts concernés d'autres pays et les organisations européennes et internationales: le Comité européen de normalisation (CEN) et l'Organisation internationale de normalisation (Iso).

La Commission européenne fait également pression dans ce sens. En février 2022, elle a présenté une nouvelle stratégie de normalisation, dont l'enjeu était d'influer davantage sur l'évolution mondiale, en s'assurant que les normes soutiennent les transitions numérique et verte. La loi européenne sur le climat, liée au Pacte vert pour l'Europe, exige que les émissions nettes de gaz à effet de serre tombent à zéro à l'horizon 2050. Dans le bilan global, les États membres ne devront plus émettre que la quantité de polluants qu'ils seront capables de compenser, par exemple par un reboisement ou par le stockage de CO₂. La loi allemande sur la sécurité et la santé au travail stipule également que les risques doivent être combattus à la source. Limiter le réchauffement climatique constitue donc également une mesure importante de prévention en matière de SST. ●

1. *Dates des premiers enregistrements de températures en Europe : 1833 pour la Belgique ; 1855 pour la France ; 1881 pour l'Allemagne.*

2. Voir : www.arbeit-sicher-und-gesund.de/fileadmin/PDFs/klug-gutachten-klimawandel-und-gesundheit-auswirkungen-auf-die-arbeitswelt_stand-feb-2023.pdf (en allemand).

3. *La mitigation est spécifique à la prévention de risques majeurs naturels. Cela conduit à réduire les conséquences de certains aléas (inondations, coulées de boue, avalanches...) pour faire en sorte que le coût des dommages liés à la survenue de phénomènes climatologiques ou géologiques soit supportable par tous. Ceci amène l'État et les collectivités locales à engager des actions qui y contribuent et à impliquer les particuliers, qui doivent agir sur leurs biens propres afin d'en réduire la vulnérabilité.*

4. Voir : www.denkfabrik-bmas.de/fileadmin/user_upload/Auswirkungen_Klimawandel_auf_Technologie_und_Arbeitssicherheit.pdf (en allemand).

5. Voir : www.baua.de/EN/Service/Publications/Report/Gd108.html (en anglais).

6. *Au niveau européen, une interdiction des produits chimiques fluorés dits « éternels » (PFAS) est discutée. L'inquiétude des fabricants est justifiée : il n'existe pas encore d'alternatives, notamment pour les EPI des policiers, des pompiers ou du personnel médical. Une intensification des activités de recherche et de normalisation pourrait éventuellement pallier ce déficit de matériaux / produits de substitution.*

7. Din : Deutsches Institut für Normung (Institut allemand de normalisation).

8. Voir : <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/48598> (en anglais).

9. Voir : www.din.de/en/innovation-and-research/climate-change (en anglais).

Participez à la recherche



Risque : instabilité des marchandises dans le transport routier

→ Arrimage des charges : quelles pratiques et quels accidents ?

Votre entreprise...

- a une activité de transport routier de marchandises (TRM) et emploie des conducteurs de poids lourd, chefs de quai, gestionnaires, responsables de sécurité ;
- réceptionne des marchandises et emploie des manutentionnaires, caristes, responsables logistiques, chefs de quai...

L'INRS a besoin de votre participation à une enquête sur les pratiques liées à l'arrimage de marchandises. Le recueil de ces informations aidera l'INRS à dresser un état des lieux sur les situations ayant pu occasionner un accident lors des phases de transport ou de déchargement, à des fins d'amélioration de la prévention des risques professionnels et des pratiques, pour un arrimage plus sûr.

> Comment se déroulera l'étude ?

L'étude, effectuée sur la base d'un questionnaire à compléter en ligne ou en version papier (fichier PDF transmis sur demande par mail à jerome.rebelle@inrs.fr), est ouverte de **septembre 2024 à mai 2025**. Ses résultats seront publiés dans les revues de l'INRS.

Le temps nécessaire pour répondre au questionnaire est d'environ 15 minutes.

Les réponses, totalement anonymes, resteront confidentielles (entreprise et répondant non identifiés) et ne seront conservées que le temps de traiter les données de l'étude.

Vous souhaitez participer ?

Les retours des questionnaires sont attendus
au plus tard le **30 mai 2025**.

Pour toute question, contacter Jérôme Rebelle,
département Ingénierie des équipements de travail:
jerome.rebelle@inrs.fr

L'accès au questionnaire se fait sur un site sécurisé. Pour y accéder :

https://manager-enquetes.inrs.fr/SurveyServer/s/cpi/Defaults_d_arrimage_et_accidents_de_PL/questionnaire.htm#2



PARIS
DANGER!
BAUCHEUR INTERDIT
RUE DE MOYABRE
N° URGENCE : 112

Dossier

RISQUES BIOLOGIQUES : DES PRATIQUES ET DES OUTILS POUR LA PRÉVENTION

❶ Effets sur la santé des expositions professionnelles aux agents biologiques et rôle des services de prévention et de santé au travail

P. 28

❷ Évaluation des risques biologiques : un nouvel outil numérique

P. 35

❸ Évaluation et prévention des risques biologiques liés aux bioaérosols par inhalation

P. 41

❹ Ventiler les locaux de travail pour prévenir les risques biologiques

P. 46

❺ Retour d'expérience en centre de tri de déchets recyclables : métrologie et recommandations pour la prévention

P. 51

❻ Un risque biologique émergent : *Ostreopsis*, une microalgue responsable de syndromes grippaux

P. 56

❼ Des futurs salariés aux préventeurs : former pour prévenir

P. 61

Ce dossier dresse un panorama des actions qu'il est possible d'entreprendre pour prévenir les risques biologiques dans de nombreux secteurs professionnels, en commençant par décrire leurs effets sur la santé et la démarche qu'il convient de suivre pour les évaluer et les prévenir. Afin d'aider les entreprises, un nouvel outil numérique a été développé, présenté dans ce dossier, qui décrit aussi d'autres démarches utiles à la prévention, telles que la quantification des agents biologiques dans l'atmosphère de travail et la réduction des expositions aux bioaérosols (captage à la source, ventilation...). Un cas concret en entreprise permet d'illustrer l'application de ces mesures. Il importe que les entreprises maîtrisent cette démarche de prévention, car de nouveaux agents biologiques pathogènes peuvent émerger dans l'environnement professionnel. C'est dans ce but que l'INRS propose des formations variées pour tous les personnels amenés à faire face aux risques biologiques en milieu professionnel.

BIOLOGICAL RISKS: PRACTICES AND TOOLS FOR PREVENTION – This dossier gives an overview of the actions that can be undertaken to prevent biological risks in many business sectors, starting with a definition of their health effects and the approach that should be followed to assess and prevent them. To assist companies, a new digital tool has been developed the features of which are presented. This dossier also describes other approaches useful for prevention, such as the quantification of biological agents in the work atmosphere and the reduction in bioaerosol exposure (collection at the source, ventilation, etc.). A concrete case in a company illustrates the application of these measures. It is important for companies to master this prevention approach, since new biological pathogens may emerge in the work environment. This is why INRS offers training for all workers required to face biological risks in the work environment.

EFFETS SUR LA SANTÉ DES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES AUX AGENTS BIOLOGIQUES ET RÔLE DES SERVICES DE PRÉVENTION ET DE SANTÉ AU TRAVAIL

Certains agents biologiques peuvent être à l'origine d'infections, d'allergies, d'intoxications voire de cancers. En milieu professionnel, les risques biologiques concernent de nombreux secteurs d'activité. En fonction de l'évaluation des risques, les professionnels de santé des services de prévention et de santé au travail (SPST) effectuent le suivi individuel de l'état de santé des salariés exposés en tenant compte de situations particulières (grossesse, état immunitaire...) et conseillent l'employeur sur les mesures de prévention et notamment les vaccinations, ainsi que sur la mise en place de conduites à tenir en cas d'accident (accident avec exposition au sang, maladie contagieuse...).

MARIE-
CÉCILE
BAYEUX-
DUNGLAS,
NAÏMA
BERTHOL,
MYRIAM
BOUSELHAM,
ÉRIC
DURAND-
BILLAUD
INRS,
département
Études
et assistance
médicales

On parle de risque biologique en milieu professionnel lorsqu'une personne est susceptible d'être exposée, dans le cadre de son travail, à un ou plusieurs agents biologiques pouvant nuire à sa santé.

Il existe une multitude d'agents biologiques, et la plupart ne sont pas pathogènes pour l'humain. Certains secteurs d'activité utilisent les agents biologiques de façon intentionnelle, notamment les secteurs des biotechnologies tels que la production de médicament, ou l'épuration des eaux usées. Néanmoins, ce risque peut être aussi présent dans les secteurs d'activité où l'utilisation des agents biologiques n'est pas délibérée.

L'article R. 4421-2 du Code du travail définit les agents biologiques comme étant des micro-organismes, y compris les micro-organismes génétiquement modifiés, des cultures cellulaires et des endoparasites humains susceptibles de provoquer une infection, une allergie ou une intoxication.

Ils comprennent notamment des bactéries, des virus, des parasites, des champignons microscopiques. Les prions, bien que n'étant pas des micro-organismes, sont des agents infectieux classés dans la liste des agents biologiques pathogènes.

Effets sur la santé

Les effets sur la santé résultant d'une exposition à des agents biologiques peuvent être de type infectieux, allergique, toxinique et cancérogène.

Infections

Le risque infectieux est de loin le plus fréquent des risques biologiques. Les infections résultent de la pénétration et de la multiplication d'un agent infectieux dans un être vivant, généralement appelé « hôte ».

Les agents biologiques peuvent pénétrer dans l'organisme par différentes voies : les voies respiratoire, digestive, cutanéomuqueuse ou l'inoculation.

Les maladies pouvant être transmises sont extrêmement variées et peuvent toucher des organes divers avec des niveaux de gravité très différents (conjonctivite, lésion cutanée, pneumopathie, hépatite...).

Le Code du travail classe les agents biologiques, en fonction de leur risque infectieux, en quatre groupes : de 1 à 4 (article R. 4421-3 du Code du travail). Ce classement tient compte de la pathogénicité chez l'homme, du danger pour les travailleurs, des possibilités de propagation dans la



© Gaël Kerbaol / INRS / 2024

collectivité, et de l'existence d'une prophylaxie ou d'un traitement efficace (Cf. *Tableau 1*).

De ce classement, qui est un outil d'aide à l'évaluation des risques, vont découler des obligations ou des recommandations à mettre en œuvre pour l'utilisation de ces agents biologiques ou pour le travail en leur présence [1-3].

L'arrêté du 16 novembre 2021 [4] fixe la liste des agents biologiques pathogènes des groupes 2, 3 et 4. Il n'existe pas de liste des agents du groupe 1. Cependant, le fait qu'un agent biologique ne soit pas classé dans les groupes 2, 3 ou 4 ne signifie pas automatiquement qu'il soit non pathogène

pour l'homme, notamment s'il s'agit d'un nouvel agent infectieux qui n'est pas encore classé.

Allergies

Les allergies résultent d'une réaction inadaptée des défenses immunitaires de l'organisme, suite à une exposition à un allergène. Un agent biologique peut être à l'origine de manifestations allergiques. C'est le cas, par exemple, de certaines moisissures ou de certaines bactéries actinomycètes comme les mycobactéries, lorsqu'elles pénètrent dans les voies respiratoires. Cela se manifeste le plus souvent par une rhinite, un asthme ou une

Le lavage des mains, une mesure d'hygiène simple qui permet de limiter les risques de contamination au travail.

↓ **TABLEAU 1**
Classification des agents biologiques par groupe de danger (pour le risque infectieux).

GRUPE	PATHOGÉNICITÉ CHEZ L'HOMME	DANGER POUR LES TRAVAILLEURS	PROPAGATION DANS LA COLLECTIVITÉ	EXISTENCE D'UNE PROPHYLAXIE ET/OU D'UN TRAITEMENT EFFICACE	EXEMPLES DE MALADIES INFECTIEUSES
1	Non	–	–	–	–
2	Oui	Oui	Peu probable	Généralement Oui	Coqueluche Grippe
3	Oui	Oui	Possible	Généralement Oui	Tuberculose Hépatite B
4	Oui	Oui	Risque élevé	Généralement Non	Maladie à virus Ebola Variole



pneumopathie d'hypersensibilité (atteinte du tissu pulmonaire).

Le seuil de déclenchement de ces effets est très variable d'un individu à l'autre et, pour un même individu, ce seuil peut varier au cours du temps. Dans l'arrêté du 16 novembre 2021, les agents biologiques pouvant avoir des effets allergisants sont signalés par la lettre A [4]. Ce sont essentiellement des champignons.

Effets toxiques

Les effets toxiques relèvent de l'action de différents types de toxines.

- Les exotoxines sont secrétées par certaines bactéries et peuvent avoir des effets divers sur la santé (exemple : tétanos). Dans la liste des agents biologiques pathogènes, ceux qui sont susceptibles de produire ces exotoxines sont indiqués par la lettre T.
- Les endotoxines sont des constituants de la paroi de certaines bactéries (dites « à Gram négatif »), présentes par exemple dans les eaux usées, le compost, les ordures ménagères...

Les endotoxines sont libérées lors de la division cellulaire et de la mort des bactéries et persistent longtemps dans l'environnement. Lorsqu'elles sont inhalées, elles peuvent provoquer des pathologies telles que :

- une fièvre passagère, accompagnée de courbatures ressemblant à un début d'état grippal, appelé syndrome toxique des poussières organiques (ODTS pour *Organic Dust Toxic Syndrome*) faisant suite à une exposition massive à des endotoxines ;

- une atteinte bronchopulmonaire pouvant devenir chronique (évolution possible vers une insuffisance respiratoire), lors d'expositions répétées à des endotoxines.

- Les mycotoxines sont produites par quelques moisissures, dans certaines conditions d'humidité et de température et sur certains substrats (céréales, épices...). Leurs effets par ingestion d'aliments contaminés sont bien connus : certaines sont toxiques pour le foie, d'autres pour le rein, plusieurs pour le système nerveux et le système immunitaire. Enfin, certaines mycotoxines sont classées cancérigènes par le Centre international de recherche contre le cancer (Circ).

Cancers

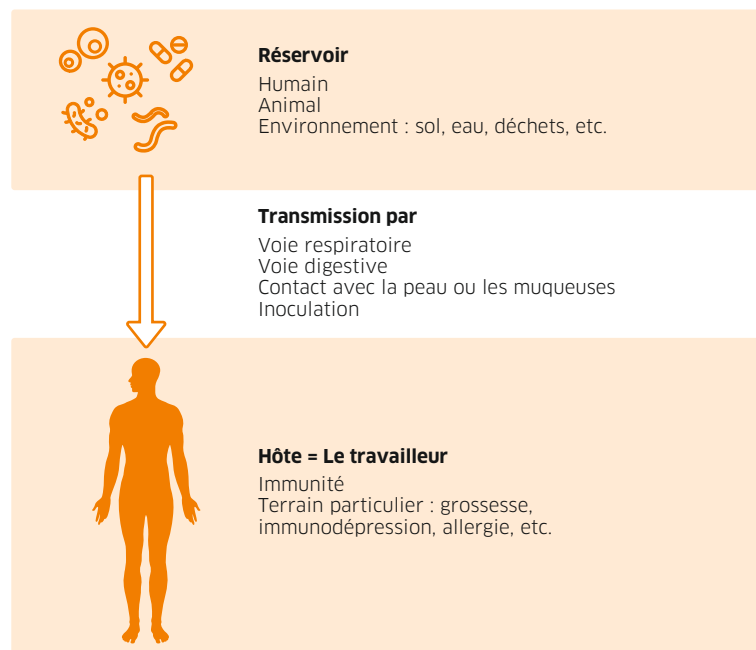
Plusieurs agents biologiques et toxines sont classés par le Circ. Certains virus et certaines mycotoxines (aflatoxines) peuvent provoquer des cancers. Les cancers du foie en rapport avec des aflatoxines sont liés à l'ingestion régulière d'aliments contaminés, et ce mode d'exposition n'est habituellement pas observé en milieu professionnel.

Par ailleurs, il est connu que certaines infections peuvent provoquer un cancer. Ainsi, une infection chronique par le virus de l'hépatite B peut évoluer vers un cancer du foie.

Maladies professionnelles

Certaines maladies en lien avec l'exposition à des agents biologiques figurent dans un tableau de maladie professionnelle du régime général (RG) ou du régime agricole (RA), par exemple : les hépatites virales (tableaux n° 45 du RG ou n° 33 du RA), la tuberculose (tableaux n° 40 du RG ou n° 16 du RA), la fièvre typhoïde (tableau n° 76 du RG), l'ornithose-psittacose (tableaux n° 87 du RG ou n° 52 du RA), les rhinites et asthmes (tableaux n° 66 du RG ou n° 45A du RA), les affections respiratoires consécutives à l'inhalation de poussières textiles végétales (tableaux n° 90 du RG ou n° 54 du RA).

↓ FIGURE 1
Chaîne de transmission pour évaluer les risques biologiques en milieu professionnel.



Évaluation des risques biologiques

La démarche d'évaluation des risques biologiques est le plus souvent qualitative. Elle s'appuie sur l'analyse de la chaîne de transmission (Cf. Figure 1). Dans un premier temps, il s'agit de repérer si le travailleur est en présence d'un « réservoir » où sont susceptibles de se développer des agents biologiques potentiellement pathogènes. Il peut s'agir d'un réservoir humain, animal, végétal ou environnemental (terre, eau, déchets, objets souillés). Il peut être facile à repérer s'il contient un agent biologique bien identifié qui est l'objet même du travail (par exemple, une utilisation délibérée en biotechnologie, la culture d'un agent biologique pathogène dans un laboratoire de recherche, un patient atteint d'une maladie contagieuse bien

définie...). Mais dans la plupart des cas, on ne connaît pas précisément les agents biologiques contenus dans le réservoir. La présence d'humidité et de matière organique ou inorganique dans l'environnement de travail, qui est un facteur favorisant le développement d'agents biologiques, représente alors un bon indice, qui devra être confronté notamment aux données de la littérature. Ainsi, les fientes d'oiseaux, les végétaux moisissus ou encore les eaux usées sont des exemples de réservoirs auxquels peuvent être confrontés les travailleurs. La connaissance du réservoir peut orienter sur les agents biologiques qui y sont potentiellement présents.

Les agents biologiques pathogènes peuvent se transmettre à l'humain selon des voies de transmission spécifiques (par exemple, par voie respiratoire pour la tuberculose pulmonaire, par voie digestive pour le virus de l'hépatite A). À partir de leurs voies de transmission habituelles, on s'attache à définir quelles expositions observées lors de l'activité peuvent entraîner une contamination. En milieu professionnel, les travailleurs sont ainsi susceptibles d'être exposés aux agents biologiques pathogènes de différentes façons :

- par inhalation de particules solides ou liquides ;
- par contact avec la peau ou les muqueuses (yeux, nez, bouche), en cas de projection ou par l'intermédiaire des mains contaminées ;
- par inoculation : piqûre ou coupure avec des objets contaminés, morsure d'animal ou piqûre d'insecte ;
- par ingestion, par exemple en portant les mains ou un objet souillé à la bouche.

Une fois le réservoir repéré, il convient donc, d'analyser les procédés de travail afin d'identifier les modes d'exposition compatibles avec la voie de transmission des agents biologiques contenus dans le réservoir.

L'évaluation des risques biologiques étant, dans la plupart des cas, qualitative, la métrologie n'est pas utilisée en routine dans le repérage de ces expositions, sauf circonstances spécifiques.

Enfin, l'état de santé du travailleur (immunité, allergie, grossesse...) joue un rôle dans le risque de développer une pathologie suite à une exposition. Le médecin du travail doit prendre en compte ces éléments dans l'évaluation des risques pour le travailleur. La prévention des risques biologiques consiste ensuite à rompre la chaîne de transmission en agissant prioritairement sur le réservoir, puis sur l'exposition. Certaines mesures de prévention médicales peuvent également être nécessaires (Cf. § – Rôle des SPST, p. 33).

Secteurs d'activité les plus concernés

Les situations de travail à risque sont nombreuses et diverses (Cf. Tableau 2, p. 32). Le plus souvent,



© Patrick Delapierre pour l'INRS / 2011

il s'agit de situations pouvant exposer à des réservoirs susceptibles de contenir différents agents biologiques.

Les données de la dernière enquête Sumer¹ [5] mettent en évidence que, en 2017, 19 % des salariés du secteur privé se disaient exposés à au moins un agent biologique pendant la semaine précédant l'enquête, soit 9 points de plus qu'en 1994. « La hausse a été forte surtout entre 2003 et 2010, liée en partie à la pandémie grippale H1N1 survenue en 2009, qui a conduit à ce que les préventeurs soient plus sensibilisés au repérage des risques biologiques » [5]. La très grande majorité des salariés exposés l'étaient dans un contexte d'exposition potentielle « supérieure au risque communautaire », plutôt que dans un contexte d'utilisation délibérée d'agents biologiques. Les expositions surviennent principalement au contact d'un réservoir humain. Les employés de commerce et de services (notamment « aides-soignants » et

Le personnel soignant est tout particulièrement exposé aux risques biologiques.



ACTIVITÉS PROFESSIONNELLES EN CONTACT FRÉQUENT AVEC :	PRINCIPAUX SECTEURS CONCERNÉS
<ul style="list-style-type: none"> des personnes ou des produits biologiques d'origine humaine (sang, urines, selles, sécrétions respiratoires, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> Activités de soins Aide à la personne Accueil de jeunes enfants Enseignement Commerce Accueil Maintien de l'ordre Transport de passagers Laboratoires de biologie Thanatopraxie...
<ul style="list-style-type: none"> des animaux ou des produits biologiques d'origine animale (sang, urines, déjections...) ou des produits d'origine animale (viande, lait, plumes, pelages, laine, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> Élevage Abattoirs Équarrissage Animaleries Parcs zoologiques Soins vétérinaires Métiers de la forêt et de la nature Transformation de produits animaux (viande, poisson, œufs, lait...) Tannerie...
<ul style="list-style-type: none"> des végétaux 	<ul style="list-style-type: none"> Agriculture Industries des fibres végétales Transformation de produits végétaux...
<ul style="list-style-type: none"> de la terre 	<ul style="list-style-type: none"> Métiers de la forêt et de la nature Gestion et entretien des espaces verts Bâtiments et travaux publics Archéologie Mines...
<ul style="list-style-type: none"> des matières grasses ou huileuses 	<ul style="list-style-type: none"> Mécanique Usinage Production de biocarburants Entretien et maintenance Agroalimentaire...
<ul style="list-style-type: none"> des surfaces sales 	<ul style="list-style-type: none"> Nettoyage Entretien et maintenance...
<ul style="list-style-type: none"> des archives, des cartons ou des papiers moisis 	<ul style="list-style-type: none"> Bibliothèque Nettoyage Collecte et tri des déchets...
<ul style="list-style-type: none"> des déchets organiques entreposés au chaud 	<ul style="list-style-type: none"> Collecte, tri et transformation de déchets organiques Agroalimentaire Restauration Méthanisation Compostage...
<ul style="list-style-type: none"> des matériaux organiques recyclés 	<ul style="list-style-type: none"> Collecte, tri et traitement des matelas Textiles...
<ul style="list-style-type: none"> de l'eau (eau stagnante, eaux usées, eau industrielle...) 	<ul style="list-style-type: none"> Traitement, épuration et transport de l'eau (égouts, stations d'épuration...) Nettoyage Abattage de poussières Entretien des berges Activités nautiques Travaux publics...
<ul style="list-style-type: none"> des agents biologiques de façon délibérée 	<ul style="list-style-type: none"> Laboratoires de recherche Industries de biotechnologie (dépollution, production de produits pharmaceutiques, de biocarburants...) Industries agroalimentaires (fabrication de saucissons, affinage de fromages...).

↑ TABLEAU 2 Types d'activités professionnelles et principaux secteurs concernés par les risques biologiques.

« aides à domicile, aides ménagères, travailleuses familiales ») sont les plus exposés et connaissent la plus forte hausse par rapport à 2003. Cette augmentation s'explique par un meilleur repérage des risques biologiques par les professionnels de santé, mais aussi par la professionnalisation des métiers.

Par ailleurs, on observe également une progression dans le secteur de l'agriculture (+ 15 points par rapport à 2003), secteur dans lequel près d'un salarié sur deux est exposé en 2017.

Rôle des SPST : suivi individuel de l'état de santé, vaccination...

L'évaluation des risques biologiques au poste de travail est réalisée par l'employeur et doit tenir compte des effets potentiels sur la santé, sans oublier les effets sur la reproduction, en particulier sur la grossesse. Dès lors qu'il existe une exposition potentielle à un agent biologique des groupes 2, 3 ou 4, il y a un risque biologique. Pour rappel, le Code du travail interdit l'exposition en rapport avec certains travaux comportant des risques biologiques pour des populations spécifiques (Cf. Encadré). L'employeur inscrit dans le document unique d'évaluation des risques professionnels (DUERP) les résultats de cette évaluation et les mesures de prévention à mettre en œuvre. Il transmet le DUERP, ainsi que ses mises à jour, à son service de prévention et de santé au travail (SPST). Les SPST peuvent aider les entreprises à évaluer les risques biologiques, notamment dans le repérage des réservoirs d'agents biologiques potentiellement pathogènes et l'identification des situations de travail susceptibles d'être exposantes.

Les modalités du suivi individuel de l'état de santé sont adaptées en fonction des résultats de l'évaluation des risques. Lorsqu'il existe un risque biologique au poste de travail, la visite d'information et de prévention initiale ou l'examen médical d'aptitude à l'embauche doit avoir lieu avant l'affectation au poste [6]. Un suivi individuel renforcé est requis pour les postes susceptibles d'exposer les travailleurs à un agent biologique du groupe 3 ou 4 [7]. Les expositions professionnelles et les différents éléments de ce suivi sont tracés dans le dossier médical de santé au travail.

Le suivi individuel de l'état de santé est l'occasion d'interroger le salarié sur son état de santé (une éventuelle altération de son système immunitaire, un terrain allergique, des traitements immunosuppresseurs, etc.). Certaines situations peuvent en effet conduire à un risque accru de contracter une infection, parfois même par un agent habituellement non pathogène. De même, certaines pathologies du salarié peuvent être aggravées en cas d'exposition à un agent biologique potentiel-

lement pathogène. Par ailleurs, certaines maladies infectieuses confèrent une immunité prolongée, limitant le risque pour le travailleur de les contracter de nouveau. La vaccination permet également d'éviter le développement de certaines infections. Il est donc important pour le professionnel de santé au travail de connaître l'état de santé et le statut immunitaire du salarié.

C'est également l'opportunité pour le professionnel de santé du SPST de rappeler au salarié les risques présents au poste de travail, les moyens de s'en protéger et en particulier les mesures d'hygiène à respecter, rempart essentiel contre les contaminations.

ENCADRÉ

INTERDICTIONS EN RAPPORT AVEC CERTAINS TRAVAUX EXPOSANT AUX RISQUES BIOLOGIQUES POUR DES POPULATIONS SPÉCIFIQUES

Le Code du travail interdit :

- d'affecter les jeunes âgés de moins de 18 ans à des travaux les exposant aux agents biologiques des groupes 3 ou 4 (art. D. 4153-19), à des travaux d'abattage, d'euthanasie et d'équarrissage d'animaux et à des travaux en contact d'animaux féroces ou venimeux (art. D. 4153-37) ;
- d'exposer une femme enceinte au virus de la rubéole ou au toxoplasme sauf s'il est prouvé qu'elle est suffisamment protégée contre ces agents par son état d'immunité (art. D. 4152-3).

En fonction notamment des résultats de l'évaluation des risques au poste de travail et des recommandations vaccinales en vigueur, le médecin du travail propose à l'employeur les vaccinations à recommander aux travailleurs non immunisés contre les agents biologiques auxquels ils peuvent être exposés. Compte tenu des caractéristiques du poste occupé, le médecin du travail évalue, au cas par cas, si le salarié relève d'une obligation vaccinale. En effet, le Code de la santé publique (article L. 3111-4 [8]) impose différentes vaccinations pour certains professionnels exposés ou exposant les personnes dont ils ont la charge (cela concerne principalement les professionnels de santé et assimilés, ainsi que les thanatopracteurs : vaccin DTP², vaccin contre l'hépatite B). Il s'agit d'une obligation individuelle contractuelle. Le non-respect de cette obligation peut conduire à un aménagement du poste, un changement d'affectation, voire à une rupture du contrat de travail. C'est à l'employeur de vérifier le respect de l'obligation et au salarié de lui transmettre l'attestation renseignée par le médecin du travail. Les vaccinations, recommandées ou obligatoires, en lien avec un risque



professionnel, sont alors à la charge de l'employeur [9]. Elles ne permettent pas de s'affranchir des mesures de protection collective et individuelle. Lors de ce suivi, une attention particulière est portée aux femmes en âge de procréer. Le Code du travail dispose que les travaux pouvant exposer une femme enceinte au virus de la rubéole ou au toxoplasme lui sont interdits, sauf s'il est prouvé qu'elle est suffisamment protégée contre ces agents par son état d'immunité. D'autres infections contractées pendant la grossesse peuvent avoir des effets néfastes et conduire à des formes sévères chez la femme enceinte, comme la grippe ou la Covid-19. Elles peuvent également être dangereuses pour l'enfant à naître, telle l'infection à cytomégalovirus. Les effets varient en fonction de l'agent biologique en cause et de l'âge gestationnel au moment de l'infection (mort fœtale, retard de croissance intra-utérin, malformation, prématurité...). Aussi, il est conseillé aux femmes enceintes,

mais également à celles qui ont un projet de grossesse, d'en informer rapidement le médecin du travail, afin de mettre en place au plus tôt les mesures de prévention adaptées. Tout salarié peut en effet bénéficier à sa demande d'une consultation avec le médecin du travail.

Enfin, le SPST contribue à la rédaction des protocoles à suivre en cas d'accident exposant au sang (AES) ou en cas d'exposition accidentelle à un agent biologique pathogène. Il peut également être sollicité pour accompagner l'employeur et les salariés en cas de survenue d'une maladie contagieuse sur le lieu de travail. La base de données Eficatt de l'INRS peut l'aider dans cette démarche [10].

Lorsqu'il s'avère qu'un travailleur est atteint d'une infection ou d'une maladie inscrite dans un tableau de maladie professionnelle et pouvant résulter d'une exposition à des agents biologiques, tous les travailleurs susceptibles d'avoir été exposés sur le même lieu de travail font l'objet d'un examen médical, assorti éventuellement d'examen complémentaires, et une nouvelle évaluation des risques est effectuée [11].

Par ailleurs, les SPST participent à la veille sanitaire, ainsi qu'à des actions de promotion de la santé sur le lieu de travail dans le cadre de la stratégie nationale de santé.

BIBLIOGRAPHIE

[1] **ARRÊTÉ DU 4 NOVEMBRE 2002** fixant les procédures de décontamination et de désinfection à mettre en œuvre pour la protection des travailleurs dans les lieux où ils sont susceptibles d'être en contact avec des agents biologiques pathogènes pouvant être présents chez des animaux vivants ou morts, notamment lors de l'élimination des déchets contaminés, ainsi que les mesures d'isolement applicables dans les locaux où se trouvent des animaux susceptibles d'être contaminés par des agents biologiques des groupes 3 ou 4. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr

[2] **ARRÊTÉ DU 16 JUILLET 2007 MODIFIÉ** fixant les mesures techniques de prévention, notamment de confinement, à mettre en œuvre dans les laboratoires de recherche, d'enseignement, d'analyses, d'anatomie et cytologie pathologiques, les salles d'autopsie et les établissements industriels et agricoles où les travailleurs sont susceptibles d'être exposés à des agents biologiques pathogènes. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr

[3] **ARRÊTÉ DU 10 JUILLET 2013** relatif à la prévention des risques biologiques auxquels sont soumis certains travailleurs susceptibles d'être en contact avec des objets perforants. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr

[4] **ARRÊTÉ DU 16 NOVEMBRE 2021** fixant la liste des agents biologiques pathogènes. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr

[5] **ÉQUIPE SUMER DE LA DARES** – Chiffres clés sur les conditions de travail et la santé au travail. Synthèse stat', août 2021. Accessible sur : <https://dares.travail-emploi.gouv.fr/publication/chiffres-cles-sur-les-conditions-de-travail-et-la-sante-au-travail>

[6] **ARTICLE R. 4426-7 DU CODE DU TRAVAIL**. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr

[7] **ARTICLES R. 4624-22 À R. 4624-28-3 – SOUS-SECTION 2** : Suivi individuel renforcé de l'état de santé des travailleurs. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr

[8] **ARTICLE L. 3111-4 DU CODE DE LA SANTÉ PUBLIQUE**. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr

[9] **ARTICLE R. 4426-6 DU CODE DU TRAVAIL**. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr

[10] **INRS** – Base de données Eficatt. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/publications/bdd/eficatt.html>

[11] **ARTICLE R. 4426-13 DU CODE DU TRAVAIL**. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr

Conclusion

Les risques biologiques concernent de multiples secteurs professionnels. Pour évaluer ces risques, il est indispensable de repérer les réservoirs d'agents biologiques, puis d'étudier si l'exposition au poste de travail peut permettre la transmission de ces agents biologiques au travailleur. Cela permet ensuite de mettre en place les mesures de prévention adaptées en fonction des expositions à risque au poste de travail. Le SPST prend part de manière pluridisciplinaire à l'évaluation des risques au plus près du salarié et conseille l'employeur sur les mesures de prévention à mettre en place. Le médecin du travail lui propose les vaccinations à recommander et contribue à la rédaction de protocoles en cas d'accident d'exposition. Par ailleurs, les modalités du suivi individuel de l'état de santé des salariés exposés à des agents biologiques varient en fonction de la catégorie des agents biologiques auxquels ils sont exposés. Enfin, les SPST concourent à la traçabilité des expositions professionnelles et à la veille sanitaire. ●

1. Sumer (Surveillance médicale des expositions des salariés aux risques professionnels) est une enquête déclarative d'amplitude nationale, dont les réponses sont recueillies auprès des salariés des secteurs public et privé par les médecins du travail. Voir : Chiffres clés sur les conditions de travail et la santé au travail [5].

2. Vaccin DTP : vaccin contre la diphtérie, le tétanos et la poliomyélite.

ÉVALUATION DES RISQUES BIOLOGIQUES : UN NOUVEL OUTIL NUMÉRIQUE

L'INRS et le réseau Assurance maladie – Risques professionnels ont développé un outil numérique aidant à évaluer les risques biologiques en entreprise et proposant des mesures de prévention. Cet outil, accessible librement sur le site Internet de l'INRS, a été conçu pour permettre aux professionnels, même les moins familiers avec les risques biologiques, d'aboutir à un plan d'action pouvant être intégré au document unique d'évaluation des risques professionnels.

**CHRISTINE
DAVID**
INRS,
département
Expertise
et conseil
technique

La pandémie de Covid-19, qui a touché le monde professionnel, a fait prendre conscience que les risques biologiques pouvaient être présents dans toutes les entreprises et qu'ils nécessitaient des mesures de prévention susceptibles d'impacter l'organisation du travail (Cf. Encadré). Toutefois, les responsables d'entreprise et les préventeurs éprouvent parfois des difficultés à appréhender ce risque. Aussi, l'INRS et le réseau Assurance maladie – Risques professionnels (AM-RP¹) ont développé un outil numérique permettant d'aider les professionnels dans leur démarche d'évaluation. Cet outil propose également des mesures de prévention génériques et permet d'élaborer un support pouvant être intégré au document unique d'évaluation des risques professionnels (DUERP). Ce nouvel outil d'évaluation des risques biologiques repose sur des questions simples, auxquelles il est possible de répondre sans connaissance particulière en biologie. Toutefois, pour répondre de façon plus pertinente, il est recommandé de consulter, au préalable, trois vidéos de 3 minutes chacune [1] ou un court document « *L'essentiel sur les risques biologiques* » [2], en accès libre sur le site de l'INRS, expliquant la démarche d'évaluation et de prévention des risques biologiques. Les questionnaires ont été conçus pour les entreprises de tous secteurs professionnels (à l'exception des laboratoires et des milieux de soins, qui nécessitent un questionnement plus précis) : agro-alimentaire, abattoir, textile, papier et carton, chimie, pharmaceutique, métallurgie, automobile, ameublement, construction / déconstruction, maintenance, assainissement, déchets, équarrissage, dépollution, commerce, transports (de passagers, animaux, denrées alimentaires, déchets...),

hébergement, restauration, nettoyage, tertiaire, aide à domicile, santé animale...

Quel que soit le secteur, la démarche d'évaluation des risques biologiques se fonde sur ce que l'on appelle « *la chaîne de transmission* » [2-3]. Cette chaîne est composée de trois maillons qu'il s'agit de caractériser :

- le réservoir d'agents biologiques : l'organisme (humain, animal, végétal), l'environnement (eau, sol, surface, produit) où se développent les agents biologiques, et auquel le travailleur est confronté lors de ses tâches;
- la voie de transmission de l'agent biologique (qui peut pénétrer par voie respiratoire, par voie digestive, à travers les muqueuses ou la peau) et l'exposition du travailleur au réservoir (qui peut se produire en inhalant des aérosols², en portant les mains à la bouche, en recevant des projections au visage, en touchant des surfaces contaminées, en se coupant avec des objets contaminés...);
- l'hôte : le travailleur, qui se défend plus ou moins bien contre les agents biologiques pathogènes, selon le niveau de son immunité.

Un travailleur encourt un risque biologique s'il est exposé à un réservoir d'agents biologiques pathogènes et si cette exposition correspond à la voie de transmission de ces agents biologiques.

La première étape de l'outil, dite « évaluation des risques », aide l'utilisateur à repérer les réservoirs et les expositions, pour en déduire les risques. L'outil propose, dans la deuxième étape « mesures de prévention », une liste de mesures parmi lesquelles il reste à sélectionner les plus adaptées à la situation de travail. La troisième et dernière étape se conclut par un « plan d'action » téléchargeable.



ENCADRÉ

**LA PANDÉMIE DE COVID-19 :
UN APPRENTISSAGE À MARCHÉ FORCÉE
DE LA PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES**

Lors de la pandémie de Covid-19, le virus Sars-CoV-2, transmissible par voie respiratoire, pouvait toucher de nombreux travailleurs. Les entreprises ont donc dû rapidement mettre en œuvre des mesures de protection, pour assurer à la fois la continuité de leurs activités et la sécurité des travailleurs.

En appliquant la démarche de prévention des risques biologiques, depuis longtemps éprouvée (voir étapes 1 et 2), l'INRS et le réseau AM-RP ont pu proposer aux entreprises de nombreuses mesures de prévention. Les mesures mises en œuvre à cette occasion ont pu, depuis, faire l'objet d'un retour d'expérience et être inscrites dans les DUERP, soit parce qu'elles améliorent de façon pérenne les conditions de travail, soit parce qu'elles pourront être efficacement déployées lors d'une nouvelle épidémie liée à un agent biologique transmissible par voie respiratoire.

Parmi ces mesures de prévention, la ventilation des locaux de travail a fait l'objet de nombreuses études depuis lors, afin d'en optimiser l'usage et les coûts (Cf. pp. 46-50 l'article de R. Guichard et al., dans ce dossier). La pandémie a été l'occasion pour certaines entreprises de revoir leur système de ventilation et de le maintenir dans le temps. Autre point mis en exergue lors de la pandémie : les moyens devant être déployés pour permettre aux travailleurs de respecter les mesures d'hygiène (points d'eau munis de savon, d'essuie-mains, de poubelle, gel hydroalcoolique...). Ces mesures ayant pu être appliquées lors de la pandémie, notamment dans les véhicules des travailleurs effectuant des travaux salissants (stations d'épuration, égoutiers...), doivent être maintenues, même hors de toute période pandémique.

Étape n° 1 : évaluation des risques

Avant toute chose, l'utilisateur de l'outil doit définir les tâches qu'il souhaite analyser, sachant qu'à son poste de travail un travailleur peut accomplir différentes tâches. Par exemple, à un poste donné, un salarié peut effectuer des opérations de tri, d'emballage, de nettoyage de sa zone de travail, etc. Il convient de prendre connaissance des procédures, mais surtout, d'observer le travail réellement effectué, qui peut différer quelque peu du travail prescrit.

Pour chaque tâche, il s'agit d'observer :

- l'environnement professionnel du travailleur, afin de repérer les réservoirs possibles : avec quels personnes, animaux, matériaux, produits, fluides est-il en contact ?
- le type d'interactions du salarié avec cet environnement professionnel : peut-il inhaler des aérosols, recevoir des projections vers le visage, toucher le réservoir, être piqué ou coupé avec des objets souillés par le réservoir, être mordu, griffé...?

Une fois ces observations effectuées, l'outil peut être utilisé de façon optimale.

La première étape consiste à répondre, par oui ou par non, à des questions permettant d'identifier les réservoirs (Cf. Figure 1). Il est demandé si, lors de la tâche, l'opérateur peut être mis en présence : d'humains, d'animaux, de matériaux souillés (cartons, textiles, surfaces...), de produits environnementaux (végétaux, terre, eaux) et industriels (boues de station d'épuration, graisses, huiles...). Certains réservoirs nécessitant plus de précisions donnent lieu à une seconde série de questions (Cf. Figure 2, p. 38). Chaque réservoir sélectionné ouvre une courte liste de questions concernant les expositions (Cf. Figure 3, p. 38). Ces questions ont été choisies en fonction des tâches qui pourraient être effectuées en lien avec ce réservoir, en tenant compte de tous les secteurs professionnels possiblement concernés.

Une fois toutes les questions passées en revue, l'outil compile les réponses et présente un « récapitulatif des risques identifiés » (Cf. Figure 4, p. 38). Le type de risque identifié est indiqué en rappelant les réservoirs et les expositions ayant conduit à cette conclusion. Il est alors possible de passer à la deuxième étape en cliquant sur le bouton « Sélection des mesures de prévention ».

Étape n° 2 : mesures de prévention

Pour chaque risque identifié lors de l'étape précédente, l'outil propose des mesures de prévention qui peuvent s'appliquer au plus grand nombre de situations professionnelles.

Ces mesures restent générales et suivent la démarche de prévention, qui consiste à rompre la chaîne de transmission, le plus en amont possible, en agissant prioritairement sur le réservoir. Dans ce cas, différentes mesures peuvent être appliquées, par exemple :

- concevoir des installations de façon à limiter la formation de biofilm (film déposé sur les surfaces et contenant de nombreux agents biologiques) ;
- disposer ou entreposer les citernes à eau à l'abri de la chaleur (qui favorise la multiplication des agents biologiques) ;
- nettoyer les locaux et le matériel afin d'éliminer certains agents biologiques et supprimer leurs sources de nourriture pour éviter qu'ils se multiplient ;
- ventiler correctement les locaux pour limiter l'humidité (qui favorise la multiplication des agents biologiques) ;
- rechercher et supprimer les sources d'humidité ;
- désinfecter lorsque cela est nécessaire ;
- dépister et traiter au plus tôt les individus infectés ;
- lutter contre la prolifération des insectes et des rongeurs susceptibles de transmettre les agents pathogènes...

S'il n'est pas possible d'agir sur le réservoir, ou

pour compléter les actions sur le réservoir, il convient de limiter l'exposition des travailleurs, en mettant en œuvre des mesures collectives, par exemple :

- isoler les individus contagieux ;
- substituer les procédés exposants par des procédés pas ou peu exposants (nettoyer avec des lingettes humides ou aspirer plutôt qu'utiliser un jet d'eau ou un jet d'air générant des aérosols et des projections) ;
- capter les aérosols au plus près de leur source d'émission et rejeter l'air aspiré à l'extérieur du bâtiment, loin des prises d'air neuf ;
- séparer les zones contaminées et les zones non contaminées ;
- appliquer, quand cela est possible, le principe de « marche en avant » (circulation des zones propres vers les zones sales, sans possibilité de retour en arrière) ;
- utiliser des conteneurs spécifiques, adaptés, pour éliminer les déchets contaminés...

Enfin, pour compléter ces mesures, il peut s'avérer nécessaire d'agir au niveau de chaque travailleur, et notamment de :

- fournir des équipements de protection individuelle (EPI) choisis selon la morphologie de chaque travailleur ;
- constituer une trousse de secours permettant notamment au personnel de protéger ses plaies par un pansement imperméable ;
- mettre à disposition des moyens (vestiaires, lavabos équipés de savon et d'essuie-mains, poubelles, douches) permettant aux travailleurs de respecter les mesures d'hygiène :
 - se laver les mains après avoir ôté ses EPI, après être passé aux toilettes, avant de quitter son poste de travail, avant de manger ;
 - prendre une douche après avoir effectué des travaux salissants...

↑ FIGURE 1 Questions relatives aux réservoirs possiblement présents sur les lieux de travail (capture d'écran).

© INRS / 2024

L'activité se déroule-t-elle en présence d'eau ? Oui

Exemples de secteurs concernés : traitement, épuration, transport de l'eau, nettoyage, abattage de poussières, entretien des berges, activités nautiques, travaux publics...

Il s'agit :

- d'eau potable ?
- d'un cours d'eau (rivière, torrent, canal...) ?
- d'eau stagnante (mare, bassin de rétention...) ?
- d'eau utilisée dans un procédé industriel ?
- d'eau de citernes (réservoirs, récupérateurs, cuves...) ?
- d'eau usée ?

↑ FIGURE 2 Une deuxième série de questions peut permettre de préciser le réservoir (capture d'écran).

© INRS / 2024

L'activité se déroule-t-elle en présence d'eau ? Oui

Exemples de secteurs concernés : traitement, épuration, transport de l'eau, nettoyage, abattage de poussières, entretien des berges, activités nautiques, travaux publics...

Il s'agit :

- d'eau potable ?

Abattage de poussières, brumisation, douches...

Précisez les expositions potentielles :

- Cette eau est utilisée pour une tâche pouvant générer des aérosols.
- Cette eau alimente des douches mises à disposition des salariés.
- Cette eau alimente des fontaines à eau.
- Pas d'exposition observée

- d'un cours d'eau (rivière, torrent, canal...) ?
- d'eau stagnante (mare, bassin de rétention...) ?
- d'eau utilisée dans un procédé industriel ?
- d'eau de citernes (réservoirs, récupérateurs, cuves...) ?
- d'eau usée ?

↑ FIGURE 3 Questions sur les expositions possibles à partir du réservoir sélectionné (capture d'écran).

© INRS / 2024

inrs Santé et sécurité au travail

Outil d'évaluation des risques biologiques

Risques identifiés

Les réservoirs et les expositions que vous avez indiqués dans la page précédente permettent d'identifier les risques biologiques listés ci-dessous.

1 Evaluation des risques — 2 Mesures de prévention — Plan d'action

Récapitulatif des risques identifiés

Risque de contamination par des légionelles pouvant se multiplier dans les circuits d'eau mal conçus, mal entretenus ou peu utilisés

Exposition par inhalation d'aérosols d'eau potable provenant de circuits mal conçus, mal entretenus ou peu utilisés
Exposition par inhalation d'aérosols de douches

Retour

Sélection des mesures de prévention

↑ FIGURE 4 Récapitulatif des risques identifiés (capture d'écran).

Dans certaines situations, une vaccination peut être indiquée par le médecin du travail qui accompagne l'entreprise dans l'évaluation et la prévention des risques biologiques, et qui peut également proposer des conduites à tenir en cas de blessure ou de projection susceptibles d'entraîner des risques pour la santé.

Des liens vers des ressources disponibles sur le site de l'INRS permettent d'en savoir plus sur les mesures proposées, qu'il s'agisse de mesures techniques comme la ventilation ou les EPI ou, plus largement, de mesures de prévention concernant l'ensemble d'une filière.

Enfin, quelle que soit l'entreprise, l'information et la formation de tout le personnel sont indispensables pour obtenir une complète compréhension de la nécessité et du choix des mesures de prévention.

Parmi les mesures de prévention proposées par l'outil, telles que celles décrites plus haut, l'utilisateur doit ensuite sélectionner les mesures devant être mises en œuvre, celles déjà appliquées, ou encore celles sans objet dans son contexte professionnel. Il a également la possibilité d'ajouter des mesures de prévention plus spécifiques de son activité (Cf. Figure 5).

La sélection des mesures de prévention, effectuée pour chaque risque, permet à l'outil de proposer un plan d'action, auquel l'utilisateur accède à la fin de cette étape.

Étape n°3 : plan d'action

Le plan d'action qui résulte des réponses de l'utilisateur se présente sous la forme d'un fichier Excel téléchargeable et modifiable à volonté (Cf. Figure 6).

Ce plan d'action récapitule les risques (ligne orange du fichier), en indiquant les réservoirs

Sélectionnez les mesures de prévention

Risque de contamination par des légionelles pouvant se multiplier dans les circuits d'eau mal conçus, mal entretenus ou peu utilisés

Exposition par inhalation d'aérosols d'eau potable provenant de circuits mal conçus, mal entretenus ou peu utilisés

A faire Fait Sans objet

- Concevoir des installations de façon à limiter la formation de biofilm.
ED 6526 "Prévention du risque légionellose dans les installations sanitaires provisoires de chantier"
- Entretien des installations d'eau (lutter contre la corrosion, l'entartrage et la formation de biofilm).
- Faire couler l'eau des circuits peu utilisés avant de s'en servir.
- Contrôler la qualité microbiologique de l'eau.
- Faire une recherche de légionelles en cas de non-utilisation des circuits d'eau durant 6 semaines.
ED 4417 "Les légionelles en milieu de travail"
- Limiter l'usage du jet d'eau générant des projections et des aérosols.

+ Ajouter une mesure de prévention

Exposition par inhalation d'aérosols de douches

A faire Fait Sans objet

- Concevoir des installations de façon à limiter la formation de biofilm.
ED 6526 "Prévention du risque légionellose dans les installations sanitaires provisoires de chantier"
- Entretien des installations d'eau (lutter contre la corrosion, l'entartrage et la formation de biofilm).
- Contrôler le débit et la température de l'eau.
- Faire couler l'eau des douches toutes les semaines pour éliminer le volume d'eau ayant stagné dans les canalisations à partir du chauffe-eau (pompeau dans le bac pour éviter les aérosols).
- Contrôler la qualité microbiologique de l'eau.
- Faire une recherche de légionelles en cas de non-utilisation des circuits d'eau durant 6 semaines.
ED 4417 "Les légionelles en milieu de travail"

+ Ajouter une mesure de prévention

Retour

Plan d'action

← FIGURE 5 Mesures de prévention à sélectionner (capture d'écran).

INRS Outil d'évaluation des risques biologiques : plan d'action

Ce plan d'action vous permet de mettre en œuvre les mesures de prévention contre les risques biologiques identifiés lors des différentes tâches.

Vous pouvez reformuler les mesures sélectionnées pour les adapter à la situation de travail. Ces actions s'inscrivent dans une démarche globale de prévention des risques professionnels et devront alimenter la mise à jour de votre Document Unique d'Évaluation des Risques Professionnels.

Entreprise : (indiquez le nom de votre entreprise ici)
Adresse :
Réfèrent :
Date :

Risque de contamination par des légionelles pouvant se multiplier dans les circuits d'eau mal conçus, mal entretenus ou peu utilisés						
Exposition par inhalation d'aérosols d'eau potable provenant de circuits mal conçus, mal entretenus ou peu utilisés						
Actions (mesures)	Statut	Début	Effectué le	Responsable	Budget	Observations
Concevoir des installations de façon à limiter la formation de biofilm. ED 6526 "Prévention du risque légionellose dans les installations sanitaires provisoires de chantier" (https://www.inrs.fr/media.html?ref=INRS-ED%204417)	A faire					
Entretien des installations d'eau (lutter contre la corrosion, l'entartrage et la formation de biofilm).	A faire					
Faire couler l'eau des circuits peu utilisés avant de s'en servir.	A faire					
Contrôler la qualité microbiologique de l'eau.	A faire					
Faire une recherche de légionelles en cas de non-utilisation des circuits d'eau durant 6 semaines. ED 4417 "Les légionelles en milieu de travail" (https://www.inrs.fr/media.html?ref=INRS-ED%204417)	Fait					
Limiter l'usage du jet d'eau générant des projections et des aérosols.	Sans objet					
Exposition par inhalation d'aérosols de douches						
Actions (mesures)	Statut	Début	Effectué le	Responsable	Budget	Observations
Concevoir des installations de façon à limiter la formation de biofilm. ED 6526 "Prévention du risque légionellose dans les installations sanitaires provisoires de chantier" (https://www.inrs.fr/media.html?ref=INRS-ED%204417)	Fait					
Entretien des installations d'eau (lutter contre la corrosion, l'entartrage et la formation de biofilm).	A faire					
Contrôler le débit et la température de l'eau.	Fait					
Faire couler l'eau des douches toutes les semaines pour éliminer le volume d'eau ayant stagné dans les canalisations à partir du chauffe-eau (pompeau dans le bac pour éviter les aérosols).	A faire					
Contrôler la qualité microbiologique de l'eau.	A faire					
Faire une recherche de légionelles en cas de non-utilisation des circuits d'eau durant 6 semaines. ED 4417 "Les légionelles en milieu de travail" (https://www.inrs.fr/media.html?ref=INRS-ED%204417)	Fait					

Le service de prévention et de santé au travail accompagne l'entreprise sur l'évaluation des risques biologiques professionnels et les mesures nécessaires afin de les prévenir. Les modalités de suivi individuel de l'état de santé du travailleur seront adaptées aux risques encourus au poste de travail, ainsi qu'à l'état de santé du travailleur. La démarche globale de prévention des risques élaborée par l'employeur pourra, sur proposition du médecin du travail, intégrer des vaccinations et une conduite à tenir en cas d'exposition accidentelle.

Capture d'écran réalisée par l'outil "Évaluation et prévention des risques biologiques" de l'INRS le 15/11/2024 à 11:37:33.

↑ FIGURE 6 Plan d'action pouvant être intégré au DUER (capture d'écran).



Atelier d'accrochage de volailles équipé d'un système d'aspiration des poussières et de ventilation pour prévenir notamment les risques d'ornithose.



© Patrick Delapierre pour l'INRS / 2019

et les expositions à l'origine de ce risque (ligne grise), ainsi que les mesures de prévention qui s'y rattachent.

Des rubriques additionnelles (colonnes de droite) permettent de préciser, pour chaque action de prévention, le début et la fin de mise en œuvre, la personne responsable et le budget alloué.

Ce fichier étant modifiable, ces rubriques peuvent être changées et d'autres peuvent être ajoutées.

Accès à l'outil d'évaluation des risques biologiques

Toute personne peut accéder librement à l'outil d'évaluation des risques biologiques *via* le site de l'INRS (www.inrs.fr/evalrb). La page d'accueil propose un mode d'emploi très simple, en cliquant sur le bouton « Comment utiliser l'outil ». Il décrit les différentes étapes de l'outil, conçu pour une prise en main rapide.

À la fin du mode d'emploi, un lien « Contacter l'INRS » permet également d'adresser à l'INRS toute question relative à l'outil.

Une fois l'évaluation commencée, l'utilisateur peut retourner à la page précédente et la modifier, puis poursuivre sa démarche. Il est également possible d'interrompre à tout moment l'évaluation en cours, pour la reprendre ultérieurement. Il suffit pour cela d'enregistrer l'évaluation, qui est alors téléchargée dans un fichier spécifique (noté "nom".evalrb), qui pourra être ouvert lors de la connexion suivante.

En respect du règlement général sur la protection des données (RGPD), toutes les informations sai-

sies sont stockées localement sur l'ordinateur de l'utilisateur, aucune n'est stockée en ligne.

Conclusion

Ce nouvel outil facilite l'évaluation des risques biologiques professionnels de chaque tâche, et permet d'obtenir un plan d'action pouvant être intégré dans le DUERP de l'entreprise. Il permet également d'accéder à une documentation plus détaillée sur les risques biologiques. Libre d'accès et facile d'utilisation, son emploi devrait permettre une meilleure prise en charge des risques biologique en entreprise.

Cet outil a fait l'objet d'un webinaire de présentation, diffusé le 7 novembre 2024 et accessible en rediffusion sur le site de l'INRS : www.inrs.fr. ●

1. Le réseau Assurance maladie – Risques professionnels comprend : La Direction des risques professionnels (DRP) de la Cnam, les Carsat/Cramif/CGSS, l'INRS et Eurogip.

2. Aérosols : particules liquides ou solides très petites (< 100 µm) pouvant rester en suspension dans l'air.

BIBLIOGRAPHIE

[1] INRS – Vidéos : Anim-403 – Les agents biologiques. Anim-404 – L'évaluation des risques biologiques. Anim-405 – Comment rompre la chaîne de transmission des agents biologiques ? Accessibles sur : www.inrs.fr

[2] INRS – L'essentiel sur les risques biologiques. ED 6495. Accessible sur : www.inrs.fr

[3] INRS – Les risques biologiques en milieu professionnel. ED 6034. Accessible sur : www.inrs.fr

ÉVALUATION ET PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES LIÉS À L'EXPOSITION AUX BIOAÉROSOLS PAR INHALATION

Dans de nombreux secteurs, les travailleurs peuvent être exposés par inhalation à des agents biologiques susceptibles de provoquer des effets sur leur santé. Cet article fait le point sur les outils à disposition des préventeurs pour évaluer les risques liés aux bioaérosols et mettre en place des mesures de prévention adaptées.

PAULINE LOISON,
LISE ALONSO
INRS,
département
Métrologie
des polluants

PHILIPPE DUQUENNE
INRS,
département
Ingénierie
des procédés

Les bioaérosols sont définis comme des particules porteuses d'entités d'origine biologique en suspension dans l'air. Celles-ci (telles que les cellules, le mycélium, les spores, leurs composants et leurs métabolites¹⁾) peuvent être émises dans l'air des lieux de travail, à partir des procédés dans lesquels elles sont impliquées, ou lors de la manipulation de matières contaminées. Ainsi, des expo-

sitions par inhalation de bactéries, champignons, virus, endotoxines et mycotoxines aéroportées ont été démontrées dans de nombreuses situations professionnelles et dans des secteurs variés, tels que ceux de la santé, l'agriculture, l'agroalimentaire, la gestion des déchets ou l'assainissement [1-2]. Les micro-organismes sont indispensables à la vie (à la base des chaînes alimentaires, mais aussi à l'intérieur des organismes macroscopiques, permettant



Entreprise
du secteur
agroalimentaire :
poste de
pesée équipé
d'un dosseret
aspirant.

© Guillaume J. Plisson pour l'INRS / 2023

notamment les fonctions de digestion), mais certains d'entre eux peuvent présenter des effets néfastes sur la santé. Ainsi, les expositions professionnelles aux bioaérosols peuvent être à l'origine de troubles de la santé des travailleurs, infectieux, immuno-allergiques ou toxiques. Dans certaines situations de travail concernées par l'exposition aux bioaérosols, il peut donc être nécessaire de réaliser une évaluation du risque biologique et de proposer des actions de prévention.

L'objectif de l'article est de faire le point sur les outils destinés à évaluer les risques d'exposition par inhalation de bioaérosols et sur les mesures de prévention qui peuvent être mises en place, à l'exclusion des risques de contamination par voies cutanée ou digestive.

Évaluation qualitative des risques liés à l'exposition par inhalation de bioaérosols

Pour une situation de travail donnée, l'évaluation des risques liés aux bioaérosols consiste à identifier les étapes qui peuvent conduire à une exposition des travailleurs aux micro-organismes ou à

leurs composés, et à la pénétration de ces derniers dans les voies respiratoires.

Il s'agit d'abord d'identifier les réservoirs (Cf. Figure 1 p. 30) et de préciser les dangers que représentent ces micro-organismes, si la composition du réservoir est connue. Dans le cas contraire, le recueil d'informations sur l'activité de l'entreprise ou les connaissances scientifiques relatives à un secteur peuvent aider à ce diagnostic. Ensuite, il s'agit de préciser quels sont les procédés et les tâches susceptibles d'être à l'origine d'émissions d'aérosols dans l'environnement de travail. Les facteurs et les conditions de travail qui gouvernent les émissions (tâches de travail exposantes, fréquence et intensité d'exposition, etc.) doivent être pris en compte. L'étape suivante consiste à identifier les modalités de transport des aérosols dans l'environnement de travail, de l'émission jusqu'aux voies respiratoires des travailleurs. Un risque existe si l'inhalation est compatible avec le mode de transmission de l'agent biologique. La dernière étape concerne l'examen des circonstances d'exposition qui peuvent conduire à l'inhalation des aérosols par les travailleurs. Toutes ces étapes sont illustrées par la méthode d'évaluation des risques biologiques liés à l'inhalation d'agents biologiques développée pour le secteur du compostage [3]. L'évaluation qualitative peut ne pas suffire à proposer des mesures de prévention, et une évaluation quantitative impliquant de la métrologie aux postes de travail peut alors être nécessaire.

Métrologie




La réalisation de mesurages nécessite d'établir une stratégie d'intervention visant à définir les agents biologiques à rechercher et les moyens à déployer pour réaliser l'évaluation d'une situation d'exposition professionnelle. Pour évaluer l'exposition des salariés, le prélèvement individuel des bioaérosols dans la zone respiratoire des travailleurs est à privilégier, puisqu'il permet notamment la prise en compte des déplacements, des activités et du geste professionnel. Pour caractériser la concentration des bioaérosols dans un local, un prélèvement d'ambiance peut être réalisé en plaçant les dispositifs de prélèvement à hauteur des voies respiratoires. La détection et la quantification des bioaérosols nécessitent de tenir compte des exigences spécifiques à la manipulation et à l'analyse d'agents biologiques. Ainsi, toutes les étapes de mesure des bioaérosols doivent être réalisées en conditions stériles et avec du matériel dédié, depuis la préparation des dispositifs de prélèvements jusqu'à l'analyse des échantillons. Par consensus, la fraction inhalable est la fraction visée lors du prélèvement des bioaérosols.

La base de données MétoPol [4] regroupe l'ensemble des méthodes de mesure développées et

Entretien de réseau de canalisation à l'aide d'un robot-caméra.



© Patrick Delapierre pour l'INRS / 2024

POLLUANTS	MICRO-ORGANISMES CULTIVABLES BACTÉRIES ET CHAMPIGNONS CAPABLES DE FORMER DES COLONIES	ENDOTOXINES COMPOSANTS DE LA PAROI DE CERTAINES BACTÉRIES	MYCOTOXINES SUBSTANCES SÉCRÉTÉES PAR CERTAINS CHAMPIGNONS
Méthode MétroPol	M-147	M-454	M-45 / M-46 / M-48 / M-306 M-339 / M-426
Prélèvement (débit)	<ul style="list-style-type: none"> • Cassette fermée 37 mm • Membrane PC (2 L.min⁻¹) 	<ul style="list-style-type: none"> • Cassette fermée 37 mm • Membrane PC ou PTFE ou filtre FV (2 L.min⁻¹) 	<ul style="list-style-type: none"> • CIP 10-I • Mousse en polyuréthane (10 L.min⁻¹) 
Transport/ conservation de l'échantillon	<ul style="list-style-type: none"> • Cassette complète à 4°C • Analyse dans les 24 heures 	<ul style="list-style-type: none"> • Cassette complète à T°C ambiante • Analyse dans les 8 jours 	<ul style="list-style-type: none"> • Coupelle à T°C ambiante • Analyse dans les 30 jours
Analyse	Comptage des colonies sur milieu gélosé après incubation appropriée	Dosage et détection par spectrophotométrie (LAL)	Dosage par chromatographie en phase liquide, détection par fluorimétrie (et UV pour la M-426)
Expression du résultat	UFC.m ⁻³ (Unités formant colonies par mètre cube d'air)	UE.m ⁻³ (Unités endotoxines par mètre cube d'air)	ng.m ⁻³ (Nanogrammes par mètre cube d'air)

validées par l'INRS dans un objectif d'harmonisation des pratiques dans le réseau Assurance maladie – risques professionnels (AM-RP). Concernant les bioaérosols, cette base de données comprend trois sortes de méthodes : la mesure des bactéries et moisissures cultivables (M-147), la méthode associée au prélèvement et au dosage des endotoxines (M-454) et les méthodes de mesure d'une ou de plusieurs mycotoxines (M-45, M-46, M-48, M-306, M-une synthèse de ces méthodes).

La méthode de mesure des micro-organismes cultivables (M-147) repose sur un prélèvement d'air réalisé à l'aide d'une cassette fermée, suivi d'un dénombrement des bactéries et des moisissures qui se développent sur les milieux de culture après étalement et incubation aux conditions appropriées [4]. Il est possible d'identifier une ou plusieurs espèces obtenues après culture par spectrométrie de masse (MALDI-ToF) ou séquençage de l'ADN (méthode de Sanger), par exemple. Cette méthode fait actuellement l'objet d'une mise à jour, afin d'identifier les milieux et les concentrations en antimicrobiens nécessaires les plus appropriés.

En effet, dans certains environnements de travail, les milieux de culture utilisés ne sont pas suffisamment discriminants entre bactéries et moisissures, ce qui peut empêcher un dénombrement et donc une évaluation correcte de l'exposition aux micro-organismes.

Le prélèvement des endotoxines (méthode M-454) est associé à un dosage spectrophotométrique. Cette méthode de mesure a récemment été optimisée, permettant notamment le transport des échantillons récoltés à température ambiante, au contraire des échantillons dédiés à la quantification par culture [6].

Concernant les mycotoxines, la méthode de prélèvement est différente et utilise un CIP10 (capteur individuel de poussières), équipé d'une coupelle rotative contenant une mousse filtrante en polyuréthane et d'un sélecteur de la fraction inhalable. Les prélèvements ainsi réalisés peuvent être conservés jusqu'à 30 jours à température ambiante avant d'être analysés (extraction à l'aide d'un mélange de solvants, concentration sur colonne d'immuno-affinité, et dosage par chromatographie en phase liquide) [7].

La caractérisation des bioaérosols peut se faire en utilisant d'autres approches ne faisant pas encore l'objet de méthodes MetroPol. Les méthodes basées sur la biologie moléculaire, par exemple, peuvent être utiles pour caractériser de manière complémentaire l'exposition professionnelle aux bioaérosols. Le principe de cette technique repose sur l'utilisation du génome des micro-organismes pour leur identification ou leur quantification. La culture des micro-organismes n'est pas une étape nécessaire, ce qui permet d'avoir une vision plus globale des espèces en présence au-delà des seuls micro-organismes cultivables. La PCR quantitative (qPCR²) peut par exemple permettre d'identifier ou de quantifier spécifiquement un groupe (e.g. les moisissures), un genre (e.g. les *Penicillium*) ou bien une espèce microbienne précise (e.g. le *Penicillium nalgiovense*). La qPCR spécifique requiert la connaissance préalable du micro-organisme cible. Lorsqu'un diagnostic plus complet est nécessaire pour évaluer l'exposition, le séquençage haut débit permet de réaliser un *screening* sans *a priori* des micro-organismes en présence et de connaître leur abondance relative. L'identification jusqu'à l'espèce peut être limitée, en raison des outils bio-

↑ **TABLEAU 1**
Présentation synthétique des méthodes MetroPol disponibles pour la mesure des bioaérosols dans l'air des lieux de travail. PC = Polycarbonate. PTFE = Teflon. FV= Fibres de verre.





© Grégoire Maisonneuve pour l'INRS / 2023

Opérateur s'équipant d'EPI pour réaliser le nettoyage d'un éclosoir au détergent.

informatiques utilisés ou des bases de données à disposition. L'utilisation de la biologie moléculaire est également une voie d'étude concernant la métrologie des virus, pour lesquels la culture peut parfois s'avérer complexe. Enfin, la métrologie en temps réel des bioaérosols, reposant par exemple sur la fluorescence naturelle de certains composés spécifiques aux micro-organismes, fait également partie des perspectives d'avenir. Ces appareils peuvent apporter des éléments sur la granulométrie des particules émises et permettre de diagnostiquer rapidement des situations de travail dégradées et d'identifier des actions correctives à mettre en place [8].

Interprétation des résultats de mesurage

Plusieurs éléments peuvent être utilisés pour interpréter les résultats de mesurages obtenus : les mesures de référence, les données contextuelles et les bases de données. L'évaluation quantitative des bioaérosols comprend toujours des mesures de référence réalisées dans des lieux supposés non contaminés par les activités de l'entreprise (bureau, air extérieur) pour évaluer le « bruit de fond ». Ces mesures de référence réalisées hors de la zone de travail d'intérêt permettent de vérifier

que les bioaérosols détectés dans l'atmosphère de travail sont bien générés par l'activité de l'entreprise. L'air extérieur est une référence incontournable, car généralement faiblement contaminé. Ces mesures de référence jouent un rôle important dans l'interprétation des données (par comparaison) et peuvent présenter un intérêt pédagogique pour démontrer l'origine de la pollution. Les données contextuelles apportent des éléments complémentaires à la compréhension de l'exposition professionnelle. Ces données peuvent être environnementales (température, humidité relative, etc.) ou organisationnelles (durée d'exposition, type de tâches effectuées au cours de la journée, etc.).

À long terme, l'exploitation de nombreux résultats de mesure compilés dans des bases de données permet une analyse robuste de ces données et la création d'outils d'aide à l'interprétation, tels que des valeurs guides. En 2015, des valeurs guides endotoxines ont ainsi été proposées grâce à l'exploitation de 1044 mesures. De même, des valeurs guides bactéries et moisissures cultivables ont été élaborées en 2023, après l'exploitation de plus de 5 000 données regroupées dans la base de données Colchic³ et représentant 11 années de mesures.

Ces valeurs permettent d'harmoniser l'interprétation des résultats d'exposition aux polluants ciblés et aident à prioriser et à mettre en place les actions de prévention. L'utilisation de nouvelles méthodes de mesure conduira nécessairement à une réflexion autour d'outils similaires (base de données appropriées, établissement de valeurs guides, etc.).

Mesures de prévention

L'évaluation du risque conduit à la mise en place des actions de prévention. La prévention du risque biologique lié à l'exposition aux micro-organismes implique la mise en place de moyens techniques ou organisationnels visant à agir le plus en amont possible en vue de supprimer le danger si cela est possible et réduire les expositions. Plusieurs niveaux d'intervention sont envisageables.

- Un premier niveau d'action possible concerne la suppression des matières contenant des agents biologiques (par exemple, éliminer régulièrement les poussières déposées sur les surfaces dans un centre de tri des ordures ménagères, avec un risque de ré-aérosolisation) ou l'élimination de ces derniers dans les matières (utilisation de biocides dans un réseau de fluide de coupe). Cependant, une telle action n'est pas forcément possible lorsque les micro-organismes concernés sont impliqués dans un procédé de fabrication (par exemple, dégradation du compost, affinage des fromages, etc.) et, dans ce cas, une action à un autre niveau sera nécessaire. La substitution des micro-organismes présents dans les matières par des agents biologiques présentant moins de

danger constitue une alternative (moisissures couvrant certains produits de charcuterie).

- Le deuxième niveau d'action vise à limiter l'émission à la source des agents biologiques. Pour cela, il est possible de modifier les paramètres du procédé ou les modalités de réalisation d'une tâche afin de les rendre moins émissifs (par exemple, proscrire l'utilisation de jet d'eau ou d'air à haute pression favorisant la création d'aérosols). Un capotage et/ou une ventilation localisée peuvent aussi être employés afin de réduire les concentrations en micro-organismes à l'émission (capotage des machines d'usinage des métaux).
- La mise en place d'une ventilation générale constitue un troisième niveau d'action qui permet de limiter la concentration en micro-organismes dans l'air ambiant de l'environnement de travail (par exemple, plénums soufflant dans les cabines de tri des déchets ou lors de l'abattage des volailles), comme décrit dans l'article suivant (Cf. pp. 46-50).

Pour certaines situations de travail, les actions de prévention doivent être effectuées au plus près du salarié à son poste de travail. Des modifications organisationnelles dans le temps et l'espace peuvent être réalisées afin d'éloigner les travailleurs des sources d'émissions et des zones polluées (mécanisation de procédés). Des réflexions techniques autour de la réalisation des gestes et tâches visant à limiter les expositions (geste de broyage de fromages lors de l'affinage, par exemple) peuvent également être menées.

En dernier recours, des équipements de protection individuelle (EPI) peuvent être employés ; toutefois, ces EPI peuvent représenter une contrainte pour le travailleur et leur efficacité de protection peut être limitée par un choix inadapté ou un port inapproprié⁴.

En général, des actions à plusieurs niveaux sont nécessaires pour limiter les expositions et les risques associés, et l'information ainsi que la formation du personnel sont essentielles (Cf. pp. 61-64).

Conclusion

Pour prévenir les risques liés aux bioaérosols, une analyse des situations de travail est nécessaire afin de mettre en évidence les réservoirs d'agents biologiques, les procédés propices à une émission ou les circonstances d'exposition représentant un risque et sur lesquelles il est possible d'agir en prévention. L'outil « Évaluation des risques biologiques » (Cf. Article pp. 35-40) peut aider à cette analyse.

De même, L'approche métrologique permet d'évaluer l'exposition aux bioaérosols et fournit des informations utiles pour mettre en place des moyens de prévention adaptés et vérifier leur efficacité. La base de données MétroPol met ainsi à disposition des méthodes validées, et de nouvelles

sont développées progressivement afin d'évaluer de façon plus exhaustive l'exposition aux bioaérosols. Les valeurs guides définies par le réseau AM-RP permettent d'interpréter de manière harmonisée les résultats de mesure ainsi obtenus. *In fine*, l'évaluation du risque doit permettre de définir les actions de prévention à mettre en place pour limiter ces risques en agissant à différents niveaux : suppression de réservoirs, modification de tâches et de procédés, ou encore action sur la ventilation générale.

Une journée technique sur le thème des bioaérosols a été organisée par l'INRS le 26 novembre 2024. Les interventions sont accessibles en rediffusion sur le site de l'INRS : www.inrs.fr ●

1. *Métabolites : molécules produites par les réactions chimiques se déroulant dans l'organisme.*

2. *qPCR : Polymerase chain reaction quantitative ou PCR en temps réel. Technique d'amplification d'une séquence spécifique d'ADN, permettant de connaître en temps réel la quantité d'ADN produite.*

3. *La base de données Colchic regroupe l'ensemble des mesures d'expositions effectuées sur les lieux de travail obtenues à l'aide des méthodes harmonisées, éditées dans la base de données MétroPol. Voir : <https://www.inrs.fr/publications/hst/bases-de-donnees.html>*

4. *Sur les EPI, leurs port et ajustement, voir : Dossier – Les EPI : dernier rempart contre le risque. Hygiène & sécurité du travail, 2024, 276, DO 45, pp. 22-48. Accessible sur : <https://www.hst.fr>*

BIBLIOGRAPHIE

[1] **OPPLIGER A., DUQUENNE P.** – Chapter 8: Highly contaminated workplaces, in *environmental mycology*. In : VIEGAS C. ET AL. (dir.s) – *Public health : Fungi and mycotoxins risk assessment and management*. Amsterdam, Academic Press, 2016, pp. 79-105.

[2] **SIMON X., DUQUENNE P.** – Expositions professionnelles aux aérosols de moisissures : exemple dans une cave d'affinage de fromages. *Hygiène & sécurité du travail*, 2013, 232, pp. 52-55. Accessible sur : www.hst.fr

[3] **BURZONI S.** – Risque biologique dans le secteur du compostage : élaboration d'une méthode d'aide à son évaluation. *Hygiène & sécurité du travail*, 2024, 275, pp. 64-70. Accessible sur : www.hst.fr

[4] **INRS** – Base de données Metropol. Accessible sur : www.inrs.fr/publications/bdd/metropol

[5] **DAVID C. ET AL.** – Valeurs guides bactéries et moisissures cultivables : interprétation des résultats de métrologie des bioaérosols. *Hygiène & sécurité du travail*, 2023, 271, pp. 55-63. Accessible sur : www.hst.fr

[6] **LOISON P., ALONSO A., COULAIS C., SIMON X.** – Optimisation de la méthode de mesure des endotoxines dans l'air des lieux de travail. *Hygiène & sécurité du travail*, 2024, 274, pp. 51-56. Accessible sur : www.hst.fr

[7] **JARGOT D., MELIN S., NDAW S.** – Mycotoxines dans l'air des lieux de travail : les méthodes de mesure évoluent. *Hygiène & sécurité du travail*, 2018, 251, pp. 70-75. Accessible sur : www.hst.fr

[8] **MARCHAND G. ET AL.** – *Évaluation des bioaérosols et des composés gazeux émis lors des compostages de résidus agroalimentaires et résidentiels*. Québec, IRSST, Rapport Scientifique R-960, 2017.

VENTILER LES LOCAUX DE TRAVAIL POUR PRÉVENIR LES RISQUES BIOLOGIQUES

Pour prévenir les risques liés à des agents biologiques en suspension dans l'air des locaux de travail, plusieurs mesures de protection collective basées sur la ventilation peuvent être mises en œuvre. Il s'agit prioritairement de confiner les procédés exposants, capter les bioaérosols au plus proche de leur source et renouveler l'air des locaux de travail. Dans le cas d'une ventilation générale permettant de diluer les bioaérosols émis par voie respiratoire, la mesure de concentration en dioxyde de carbone peut servir d'indicateur du renouvellement de l'air. Il est possible de limiter le coût énergétique de ces mesures en ventilant les locaux où et quand cela est nécessaire, et en installant des récupérateurs de chaleur. D'autres solutions, comme le recyclage d'air après filtration, peuvent venir en complément des apports d'air neuf en cas de nécessité, sous réserve de respecter différentes précautions.

ROMAIN
GUICHARD,
JONATHAN
CHÉRON,
EMMANUEL
BELUT
INRS,
département
Ingénierie des
procédés

La ventilation des locaux de travail pour la prévention des risques biologiques a pour objectif de réduire la concentration de polluants présents dans l'air intérieur. Ces polluants incluent des agents biologiques pathogènes tels que certaines bactéries, virus ou champignons. Leurs origines peuvent être variées, allant des travailleurs eux-mêmes (possibles vecteurs d'agents pathogènes : virus de la Covid-19, etc.) aux activités réalisées dans les locaux de travail. La réglementation distingue les locaux à pollution non spécifique, où les agents biologiques sont uniquement liés à la présence des travailleurs, des locaux à pollution spécifique, où ces agents sont émis par l'activité et les procédés [1].

Les polluants biologiques peuvent présenter un risque pour la santé des travailleurs en se transmettant notamment par la voie respiratoire, lorsqu'ils sont émis dans l'air sous la forme de particules solides ou liquides (gouttelettes) contenant des agents contaminants. Le comportement de ces bioaérosols entre leur émission et leur inhalation est influencé par de nombreux facteurs. Les particules peuvent être transportées dans l'air, s'évaporer, sédimenter et se déposer sur des surfaces en fonction de leur taille, de leur densité et des conditions environnementales, telles que la température, l'humidité, la vitesse et la turbulence de l'air. La connaissance des caractéristiques des bioaérosols émis est un préalable pour dimensionner le système de ventilation le plus adapté (Cf. Encadré).

Selon la démarche de prévention, après avoir mis en place des mesures de substitution et de réduction des sources de polluants, il est essentiel de s'intéresser aux moyens de protection collective basés sur la ventilation pour limiter l'exposition des travailleurs aux agents biologiques dangereux. Ces moyens visent en priorité à confiner et à capter les bioaérosols au plus près de leur source d'émission, à compenser l'air extrait et à assurer un renouvellement efficace de l'air. Quel que soit le système de ventilation installé, l'entreprise doit disposer d'un dossier d'installation de ventilation, établi lors de sa réception, qui permet de réaliser l'entretien et le contrôle du système de ventilation afin de conserver ses performances initiales [2].

Confinement, captage à la source et compensation d'air

En isolant les sources de pollution biologique, le confinement empêche la dispersion des agents pathogènes dans l'atmosphère de travail. Il s'agit en pratique de réaliser une enceinte de confinement statique, qui peut être mise en dépression par une extraction d'air afin de renforcer la protection des travailleurs. Par exemple, les boîtes à gants utilisées dans les laboratoires d'analyses vétérinaires ou médicales reposent sur ce principe. Dans le cas où il n'est pas possible d'isoler complètement la source de pollution, le captage à la source est utilisé pour aspirer le flux de polluants au plus près de leur émission, permettant également d'éviter leur dispersion dans l'atmosphère

ENCADRÉ

« LES AÉROSOLS » : UNE THÉMATIQUE DE L'INRS EN SANTÉ ET EN SÉCURITÉ AU TRAVAIL À L'HORIZON 2028

Poussières, fumées, brouillards, particules fines... Autant de noms pour désigner des polluants omniprésents dans l'air des lieux de travail, et que l'on regroupe sous l'appellation d'aérosols.

Plus précisément, le terme « aérosol » désigne un ensemble de particules liquides ou solides en suspension dans l'air, et en interaction avec ses différents constituants. Conventionnellement, on considère que seules les particules de moins de 100 µm de diamètre aérodynamique* restent suffisamment longtemps en suspension pour former un aérosol.

Les aérosols peuvent être sources de risques biologiques, par inhalation, par voie cutanée, ou par ingestion. Ces aérosols ont particulièrement été mis sur le devant de la scène lors de la pandémie de Covid-19, comme vecteur débattu de transmission. Cet épisode a révélé des lacunes persistantes, notamment en ce qui concerne la réduction à la source de la production d'aérosols et les processus régissant leur transport en situation réelle. Les aérosols biologiques sont particulièrement concernés, car leur dangerosité évolue parfois rapidement lors de leur dissémination, du fait de l'inactivation de leur contenu ou de leur dégradation au cours de leur vieillissement dans l'air.

Au regard de ces enjeux pour la santé et la sécurité au travail, l'INRS a souhaité mettre en place un ensemble d'actions coordonnées sur les aérosols dans son plan stratégique à l'horizon 2028. Cette thématique propose une approche transversale et concertée de la prévention du risque aérosol, selon une vision globale du cycle de vie de ces polluants, allant de leur production (la source) à l'exposition des salariés, en passant par les phénomènes de transfert dans les atmosphères de travail et dans les dispositifs de prélèvements.

*Diamètre de la sphère de masse volumique 1 000 kg.m⁻³ ayant la même vitesse de sédimentation que la particule considérée.

de travail. Par exemple, dans un cabinet dentaire, le système d'aspiration haute vitesse permet de capter efficacement les aérosols formés à partir de fluides et de débris buccaux lors des interventions, limitant ainsi fortement le risque de contamination. Afin d'optimiser son efficacité, le système de captage doit être adapté à la nature du polluant émis et aux caractéristiques de l'émission (température, vitesse, débit et direction). L'air



© Guillaume J. Plisson pour l'INRS/2023

ainsi capté est ensuite transporté par un réseau de ventilation et rejeté à l'extérieur après épuration [3]. Un autre exemple est l'utilisation d'une enceinte ventilée dans le secteur agroalimentaire (Cf. Photo 1).

La mise en œuvre d'un système de captage à la source doit être accompagnée d'une réflexion sur la compensation de l'air capté. En effet, tout air prélevé dans un local doit être compensé pour maintenir l'équilibre entre les quantités d'air entrantes et sortantes. Cela évite la mise en dépression des locaux de travail qui pourrait compromettre l'efficacité des systèmes de confinement, de captage et de la ventilation générale. De plus, la compensation d'air contribue au renouvellement de l'air en diluant les polluants non captés [4].

Ventilation générale

Dans les locaux à pollution spécifique, la ventilation générale est un complément indispensable au

↑ PHOTO 1
Enceinte ventilée limitant la dispersion d'agents biologiques (bactéries et moisissures) issus de saucissons dans l'industrie agroalimentaire.





© Grégoire Maisonneuve pour l'INRS/2017

↑ PHOTO 2
Laboratoire de virologie maintenu en dépression afin d'éviter toute fuite de micro-organismes vers le milieu extérieur.

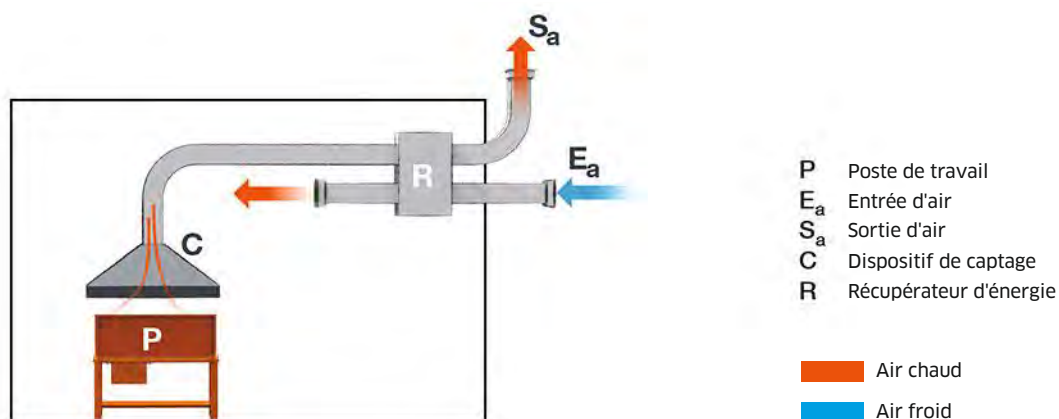
captage à la source, car elle permet de diluer les polluants qui n'ont pas été captés directement à l'émission. Elle constitue également une méthode efficace pour réduire l'exposition des travailleurs aux polluants provenant de sources diffuses qui ne peuvent pas être captées. Son fonctionnement repose sur un apport d'air neuf diffusé dans le local de travail de la façon la plus homogène. Il est possible d'y associer un contrôle de la température et de l'humidité ambiante, afin d'éviter la multiplication des agents biologiques tels que les moisissures. Les débits minimaux à mettre en œuvre ne peuvent être inférieurs à ceux prévus pour les locaux à pollution non spécifique [5].

La ventilation générale doit respecter plusieurs principes essentiels pour assurer son fonctionnement optimal. Le positionnement, la géométrie et la taille des entrées et des sorties d'air doivent être judicieusement choisis de sorte à favoriser la répartition de l'air, tout en évitant les courants d'air et les sensations d'inconfort thermique pour les occupants [3]. Dans le cas général, chaque entrée d'air doit être compensée par une sortie correspondante afin de maintenir l'équilibre des pressions dans le local. Cependant, certains environnements particuliers comme les salles propres, souvent utilisées en contexte de risque biologique, peuvent être maintenus en dépression par rapport aux zones environnantes pour éviter la propagation des contaminants d'une zone à l'autre (Cf. Photo 2). Enfin, la ventilation générale peut nécessiter l'intégration de systèmes de filtration pour épurer l'air avant insufflation dans le local et avant rejet à l'extérieur.

Dans le cas des locaux à pollution non spécifique, il peut être difficile d'estimer les apports d'air neuf lorsque les entrées d'air neuf sont diffuses ou que la ventilation est naturelle par ouverture des fenêtres ou des portes. La mesure de la concentration en dioxyde de carbone (CO₂) peut alors servir d'indicateur du renouvellement de l'air d'un local de travail [6]. L'air d'un local à pollution non spécifique est ainsi considéré comme correctement renouvelé lorsqu'il présente une augmentation de la concentration en CO₂ par rapport à l'air extérieur inférieure à 400 ppm [7]. Cette mesure permet d'identifier les locaux dans lesquels les apports d'air neuf sont insuffisants par rapport à la réglementation en vigueur et aux recommandations en matière de prévention [8]. Des outils de calcul permettent d'estimer au préalable la concentration en CO₂ attendue dans un local de travail [9] et d'adapter en conséquence les mesures à suivre : réduction du nombre d'occupants simultanés, diminution de la durée de présence maximale des occupants ou amélioration du taux de renouvellement d'air par modification du système de ventilation. Ces méthodes peuvent être appliquées dans de nombreux contextes où l'occupation d'un local est variable, à l'instar des salles de réunion, des salles de formation ou des modules de chantier.

Compatibilité avec les objectifs de sobriété énergétique

Les débits de ventilation à mettre en œuvre sont fonction de la source de pollution émise. Ainsi, toute réduction de l'émission contribue, au-delà de la prévention des risques professionnels à la source, à limiter les besoins en ventilation et la consommation énergétique associée. Par exemple, dans le cas d'un soin dentaire, le rinçage préalable de la bouche d'un patient, l'utilisation de tampons



↑ FIGURE 1 Schéma de principe d'une installation de ventilation à double flux permettant de récupérer des calories de l'air extrait pour préchauffer l'air entrant.

salivaires ou d'une digue dentaire sont autant de mesures qui permettent de limiter l'émission de bioaérosols. On peut ensuite travailler sur les systèmes de captage en les rendant plus enveloppants. Une meilleure efficacité de captage permet alors de limiter les besoins en ventilation générale, qui sert à diluer les bioaérosols non captés. Un travail sur l'efficacité de captage représente aussi une piste de réduction des débits d'extraction et de compensation d'air, qui concourt à maintenir un niveau de protection constant.

La ventilation modulée est à explorer pour limiter les consommations d'énergie liées au conditionnement de l'air des locaux de travail. Il s'agit d'adapter les débits de captage et les apports d'air neuf au besoin réel en matière de prévention des risques, au moyen d'une ventilation à débit variable.

Un débit minimal est alors utilisé lorsque les locaux sont inoccupés, un débit nominal (intermédiaire) lorsque l'occupation des locaux est normale, et un débit plus élevé en cas de situation exceptionnelle. Ce fonctionnement, basé par exemple sur une programmation horaire, un déclenchement manuel ou automatique lié à l'utilisation d'une machine, ou encore la détection d'un polluant dans l'air par un capteur, nécessite un entretien rigoureux et doit permettre un niveau de protection équivalent à un fonctionnement continu. Cela n'est possible que si la source de bioaérosols est clairement identifiée lors de la conception, qu'elle soit liée à la présence de personnes ou à une activité bien précise.

La dernière piste pour limiter la consommation d'énergie liée au conditionnement de l'air est d'envisager la récupération de calories sur l'air extrait. De préférence, un échangeur de chaleur sera mis en place afin de préchauffer l'air introduit dans les locaux par échange thermique avec l'air extrait, réduisant ainsi les besoins en chauffage (Cf. Figure 1). Ce système, communément appelé

« ventilation à double flux », doit être entretenu pour conserver son efficacité initiale. Des échangeurs de chaleur assurant une étanchéité parfaite entre l'air extrait et l'air neuf doivent être choisis, et ils doivent être réalisés dans des matériaux résistant aux polluants potentiellement présents dans l'air extrait afin que cette étanchéité soit garantie dans le temps.

Pour réduire les besoins en chauffage, il peut enfin être envisagé de recycler une partie de l'air extrait afin de le réintroduire dans le même local après filtration. Le recyclage de l'air nécessite de nombreuses précautions décrites dans les articles R. 4222-14 à R. 4222-17 du Code du travail [10] :

- l'air provenant d'un local à pollution spécifique ne peut être recyclé que s'il est efficacement épuré pour tous les polluants émis. Pour cette raison, il est conseillé de privilégier une filtration à haute efficacité dans le cas des bioaérosols, ce qui nécessite un entretien rigoureux du système de ventilation. L'air recyclé ne peut être envoyé dans d'autres locaux que si la pollution de tous les locaux concernés est de même nature. En cas de recyclage, les concentrations de poussières et substances dans l'atmosphère du local doivent demeurer inférieures aux valeurs limites d'exposition professionnelle réglementaires, qu'elles soient contraignantes ou indicatives. Il faut noter que certains agents biologiques peuvent se développer sur les filtres et dans les condensats des centrales de traitement de l'air, induisant un risque de réintroduction d'un air pollué dans les locaux. Cette situation doit être évitée par une maintenance minutieuse des installations ;
- les installations de recyclage doivent comporter un système de surveillance permettant de détecter les défauts des dispositifs d'épuration. En cas de défaut, les mesures nécessaires doivent être prises immédiatement par l'employeur pour





© Claude Almodovar pour l'INRS / 2016

maintenir le respect des valeurs limites d'exposition professionnelle réglementaires contraignantes, le cas échéant en arrêtant le recyclage ;

- en cas de recyclage de l'air, les conditions de celui-ci sont portées à la connaissance du médecin du travail, des membres du CSE ou, à défaut, des délégués du personnel. Ces personnes sont également consultées sur toute nouvelle installation ou toute modification des conditions de recyclage.

L'arrêté du 8 octobre 1987 modifié relatif au contrôle périodique des installations d'aérations et d'assainissement des locaux de travail [11] définit le contenu du dossier d'installation et les contrôles périodiques à effectuer. Dans le cas d'une installation avec recyclage, les contrôles périodiques doivent être effectués au moins tous les six mois.

Conclusion

La ventilation des locaux de travail, qu'elle repose sur le confinement des procédés, le captage à la source ou la ventilation générale, est essentielle pour limiter l'exposition aux bioaérosols. Le confinement et le captage à la source permettent de limiter la dispersion des polluants émis dans le local de travail, tandis que la ventilation générale assure le renouvellement de l'air de façon à diluer les polluants résiduels. Ces mesures doivent cependant rester compatibles avec des objectifs de sobriété énergétique. Pour y répondre, de nombreux leviers existent, qui aident à optimiser le fonctionnement des systèmes de ventilation sans compromettre la qualité de l'air intérieur des lieux de travail. ●

Laboratoire pharmaceutique de production de vaccins et de médicaments pour animaux.

BIBLIOGRAPHIE

[1] **CODE DU TRAVAIL** – Article R. 4222-3. Accessible sur : https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000018532336

[2] **INRS** – *Le dossier d'installation de ventilation*. ED 6008. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206008>

[3] **INRS** – *Principes généraux de ventilation*. ED 695. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20695>

[4] **INRS** – *La compensation contrôlée d'une installation de ventilation*. ED 86. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%2086>

[5] **CODE DU TRAVAIL** – Articles R. 4222-6 et R. 4222-11. Accessibles sur : https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000018532316

[6] **GALLAND B., GÉRARDIN K.** – Mesure en temps réel du dioxyde de carbone dans les espaces de travail. *Hygiène & sécurité du travail*, 2022, 266, NT 96, pp. 43-52. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2096>

[7] **GUICHARD R., GÉRARDIN F.** – Améliorer la ventilation des locaux de travail du tertiaire, pendant et après la pandémie de covid-19. *Hygiène & sécurité du travail*, 2021, 264, NT 92, pp. 53-61. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2092>

[8] **HAUT CONSEIL DE LA SANTÉ PUBLIQUE** – *Avis du 08/02/2024 - Adaptations envisageables en matière d'aération et de ventilation des locaux, autres que ceux d'habitation ou d'hébergement, dans un contexte de sobriété énergétique*.

Accessible sur : <https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=1385>

[9] **INRS** – *Ventilation et CO₂ : outil de calcul*. Outil n°97. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil97>

[10] **CODE DU TRAVAIL** – Articles R. 4222-14 à R. 4222-17. Accessibles sur : https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006072050/LEGISCTA000018488886/

[11] **ARRÊTÉ DU 8 OCTOBRE 1987 MODIFIÉ** relatif au contrôle périodique des installations d'aérations et d'assainissement des locaux de travail. Accessible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000863044/>

RETOUR D'EXPÉRIENCE EN CENTRE DE TRI DE DÉCHETS RECYCLABLES : MÉTROLOGIE ET RECOMMANDATIONS POUR LA PRÉVENTION

Le laboratoire des biocontaminants de la Cramif a effectué des mesures en centre de tri de déchets recyclables. Les résultats ont montré des expositions aux poussières et aux bioaérosols pour les postes de nettoyage et de trieurs en cabine. L'interprétation des résultats, basée sur les valeurs guides définies par le réseau Assurance maladie – Risques professionnels pour les bioaérosols, a permis d'orienter les actions de prévention.

**BRIGITTE
FACON,
VALÉRIE
RENEVOT,
ALEXANDRA
PEDROS**

Caisse régionale
d'assurance
maladie d'Ile-de-
France (Cramif),
Laboratoire des
biocontaminants

**CORINNE
DOGAN**

Cramif, Centre
de mesures
et de contrôles
physiques

Le Laboratoire des biocontaminants (LBC) de la Caisse régionale d'assurance maladie d'Ile-de-France (Cramif) a été sollicité par un contrôleur de sécurité pour une assistance à l'analyse des risques biologiques dans un centre de tri de déchets recyclables. Le constat visuel de poussières en quantité importante dans l'environnement de travail a conduit le contrôleur à s'interroger sur les effets possibles sur la santé des salariés. Étant donné la nature des déchets traités et l'expérience acquise par le réseau Assurance maladie – Risques professionnels (AM-RP) sur ce secteur d'activité [1], la présence d'agents biologiques a été suspectée.

L'établissement réalise le tri des déchets recyclables collectés dans les communes avoisinantes (papiers, cartons, journaux, bouteilles en PET (polyéthylène-téréphtalate), pots de yaourts, barquettes de viande, films plastiques...). Le centre de tri est constitué d'un bâtiment de grandes dimensions, aéré naturellement par des ouvrants. L'activité se déroule de la manière suivante :

- les bennes de collecte déversent au sol les déchets qui sont ensuite stockés en alvéoles. Ils sont repris, chargés dans une trémie et transférés par convoyeur mécanique vers le tri manuel ;
- dans la cabine de pré-tri, les déchets indésirables sont retirés manuellement du flux par quatre opérateurs (gros volumes, métal, déchets électroniques, bois...);
- les déchets sont ensuite acheminés vers les trieurs optiques. Des points de captage localisé sont installés au niveau du convoyage et du tri mécanique

afin de diminuer la dispersion des particules dans le bâtiment ;

- les déchets sont triés manuellement par des opérateurs en cabine principale qui compte quatre lignes de tri : corps creux, corps plats, emballages ménagers résiduels (EMR) et refus ;
- les différents matériaux sont compactés en balle par une presse, puis stockés dans une zone dédiée. Les cabines sont situées à l'intérieur du bâtiment en mezzanine, à proximité des équipements (trieurs, convoyeurs...). Les postes de travail en cabines sont répartis de part et d'autre des tapis de convoyage. Les salariés retirent les déchets du flux en fonction de leur nature et les jettent, *via* des goulottes, dans des alvéoles situées en dessous. En fin de poste et plusieurs fois par jour, ils ramassent et balayent les déchets tombés au sol. Les tâches de tri sont répétitives et réalisées de manière identique tous les jours. Des plénums de soufflage d'air sont positionnés au-dessus des postes de travail afin d'apporter de l'air neuf au niveau des voies respiratoires des trieurs, de rabattre les poussières émises lors du tri vers les goulottes et de placer la cabine en surpression. Les opérateurs de nettoyage réalisent le balayage des installations et du sol. Ils interviennent à tous les niveaux du bâtiment, à proximité des équipements en fonctionnement (convoyeurs, trieurs optiques...). Les tâches sont sensiblement identiques pendant toute la durée du poste, tous les jours de travail.

Méthodologie

Dans un premier temps, le LBC est intervenu dans l'entreprise afin de recueillir les informations



ENCADRÉ

INFORMATIONS À RECUEILLIR POUR ANALYSER LES SITUATIONS DE TRAVAIL EN CENTRE DE TRI DE DÉCHETS RECYCLABLES

- **Informations générales sur l'entreprise**
- **Procédé de production**
 - Implantation géographique - environnement (urbain...) - plans - répartition d'activité dans les locaux - type de lieu de travail.
 - Description du processus - machines et matériels utilisés - flux matières - personnel - répartition des zones - gestion des flux.
 - Produits entrants - intermédiaires - produits fabriqués et coproduits - conditionnements - déchets.
 - Stockage (durée, température...) des produits, sous-produits, déchets - organisation *First in / First out*.
 - Organisation du travail : répartition des postes - horaires - lieux et postes de travail - environnement - équipements et procédures de travail.
- **Risques biologiques : recherche de la chaîne de transmission**
 - Sources potentielles d'agents et produits biologiques.
 - Voies de transmission.
 - Personnes exposées.
- **Analyse des situations de travail**
 - Postes de travail - tâches effectuées - environnement et ergonomie - matériel utilisé et méthodes de travail...
 - Situations d'exposition : source et type de polluants - circonstances d'exposition - tâches ou phases de travail exposantes - fréquence, durée et intensité d'exposition - configuration des postes de travail (proximité de la source de pollution) - salariés exposés - groupes d'exposition similaire (GES).
 - Mesures de protection collective / individuelle - ventilation générale - captages localisés - autres...
 - Postes de nettoyage, de maintenance.
- **Observations *in situ* spécifiques aux centres de tri**
 - Infrastructures : état des matériels et des structures, rangement général, propreté des locaux, présence de poussières, de nuisibles.
 - Protection collective : moyens existants, ventilation mécanique, générale, localisée, fonctionnement, état, localisation, entretien, contrôles périodiques.
 - Existence et état des équipements de protection individuelle (EPI).
 - Poste ou tâche particulière : spécificités, expositions particulières, matériels et moyens de protection.
 - Risques particuliers.

nécessaires à une bonne compréhension de l'activité et du procédé (Cf. Encadré). L'objectif était d'observer les situations de travail, afin de repérer les sources d'agents biologiques, les voies de transmission possibles et les personnes exposées. Sur la base des éléments récoltés, le LBC a décidé de réaliser des mesures d'exposition aux poussières inhalables et aux bioaérosols (endotoxines, bactéries et moisissures cultivables), afin de caractériser les expositions professionnelles. Des mesures d'ambiance et individuelles au niveau

des voies respiratoires des opérateurs ont été organisées selon un plan d'échantillonnage défini à partir des constats et des observations *in situ*.

Les postes de travail en cabine de pré-tri et de tri, ainsi que le poste de nettoyage, repérés comme potentiellement exposants, ont été priorités dans les mesures, réalisées selon les modalités suivantes :

- des prélèvements individuels ont été effectués sur les deux salariés de la cabine de pré-tri, l'un équipé pour les mesures de poussières inhalables et d'endotoxines, l'autre pour les micro-organismes (bactéries et moisissures cultivables) ;
- dans la cabine de tri principale, deux salariés sur la ligne EMR ont été équipés, l'un pour les prélèvements de poussières inhalables et d'endotoxines, l'autre pour les micro-organismes. Le salarié sur la ligne refus a été équipé pour les prélèvements de poussières inhalables et d'endotoxines, les mesures pour les micro-organismes étant réalisées par poste fixe à proximité de la personne ;
- l'opérateur de nettoyage a été équipé pour des prélèvements d'endotoxines et de poussières inhalables ;
- des mesures en point fixe à hauteur des voies respiratoires ont été réalisées dans les cabines de pré-tri, de tri et à proximité des trieurs optiques pour les poussières inhalables, les endotoxines et les micro-organismes.

Il a été procédé, en parallèle, à une mesure de référence pour les endotoxines et les micro-organismes, par prélèvement d'ambiance à l'extérieur, en zone hors pollution spécifique aux activités. Afin de compléter l'analyse des situations de travail, le Centre de mesures et de contrôles physiques de la Cramif (CMP) a également été sollicité pour évaluer le fonctionnement du dispositif de ventilation installé dans les cabines.

Les prélèvements et analyses des polluants ont été menés selon les protocoles décrits dans les fiches MétroPol de l'INRS¹.

Résultats et interprétation

L'ensemble des résultats est présenté dans le *Tableau*. Les valeurs suivantes sont prises en référence :

- pour les endotoxines, les valeurs guides (VG) de 200 et 1000 UE/m³ sont utilisées pour interpréter les résultats de mesure [2] ;
- pour les micro-organismes (bactéries et moisissures cultivables), les valeurs guides de 100 000 et 1 000 000 UFC/m³ sont utilisées [3] ;
- pour les poussières inhalables : la présence d'agents biologiques au sein des poussières leur confère une spécificité à l'origine d'effets particuliers sur la santé. Dans ce cas, les concentrations moyennes en poussières à ne pas dépasser dans les locaux à pollution spécifique [4] ne consti-

		POUSSIÈRES INHALABLES (mg/m ³)	ENDOTOXINES (UE/m ³)	BACTÉRIES ET MOISSURES (UFC/m ³)
Valeur de référence		Concentration maximale en poussière (moyenne à ne pas dépasser dans les locaux à pollution spécifique : 4 mg/m ³)	Valeur guide : 200 UE/m ³	Valeur guide : 100 000 UFC/m ³
Cabine de pré-tri	Trieurs en cabines de pré-tri	1,59	62,7	1 930 000
	Ambiance pré-tri	1,05	53,9	2 100 000
Cabine de tri principale	Trieurs en cabine de tri Ligne EMR	0,41	110,3	856 000
	Trieurs en cabine de tri Ligne refus	0,49	90,8	615 000
	Ambiance tri	0,3	36,3	180 000
Bâtiment général hors cabine	Opérateur de nettoyage	4,56	388,6	/
	Ambiance trieurs optiques en mezzanine	2,91	439,2	2 190 000
Extérieur	Point de référence hors pollution spécifique aux activités	/	1	3 400

tuent pas la bonne référence, et l'interprétation des résultats de mesure se base sur les valeurs guides ci-dessus. La valeur de 4 mg/m³ pour les poussières en fraction inhalable est donc donnée dans le tableau à titre indicatif. En cas de dépassement de cette valeur, la situation est cependant anormale et doit faire l'objet de mesures correctives, car la pénétration d'aérosols et leur dépôt partiel dans les voies respiratoires peuvent nuire à l'organisme.

L'analyse des résultats montre que le poste de nettoyage exposait aux poussières inhalables et aux endotoxines. Les résultats indiquent en effet des dépassements, d'une part, de la concentration moyenne en poussières inhalables à ne pas dépasser dans les locaux à pollution spécifique, et d'autre part, de la VG de 200 UE/m³ des endotoxines, seuil à partir duquel des actions de prévention sont à planifier. La situation d'exposition n'était pas satisfaisante et a nécessité des actions correctives rapides. Il a été également constaté, à l'occasion de ces mesures, que les trieurs en cabine de pré-tri étaient exposés à des concentrations en bactéries et moisissures dépassant nettement la VG de 1 000 000 UFC/m³, seuil d'alerte considéré comme significatif d'une situation d'exposition anormale. Si les résultats de mesures d'endotoxines et de poussières inhalables n'excédaient pas les valeurs de référence, la situation d'exposition aux flores microbiennes a nécessité des actions de prévention immédiates, afin d'améliorer les conditions de travail et de diminuer les risques d'effets sur la santé. Dans la cabine de tri, les concentrations en bac-

téries et moisissures au niveau des voies respiratoires des salariés triant sur les lignes EMR et refus dépassaient les 100 000 UFC/m³, seuil à partir duquel des actions de prévention sont à planifier. Les niveaux de concentration étaient très proches de la valeur d'alerte de 1 000 000 UFC/m³. La situation d'exposition était anormale et suffisamment préoccupante pour mettre en place rapidement des actions afin d'améliorer les conditions de travail, même si, là également, les niveaux d'endotoxines et de poussières ne dépassaient pas les valeurs de référence.

L'environnement de la cabine de pré-tri s'est avéré pollué par des bactéries et des moisissures à des niveaux nettement supérieurs au seuil d'alerte de 1 000 000 UFC/m³.

L'ambiance de la cabine principale était également marquée par la présence de micro-organismes à une concentration supérieure à la VG de 100 000 UFC/m³. Par comparaison, les niveaux ambiants dans la cabine principale étaient bien inférieurs aux résultats des mesures individuelles, du fait de l'éloignement du point de mesure (placé au fond de la cabine) par rapport à la zone de manipulation des déchets (tapis). Par ailleurs, le geste de tri crée une dispersion des particules dans l'environnement proche du trieur, impactant les niveaux d'exposition individuelle.

Hors cabines, les mesures effectuées à proximité des trieurs optiques indiquaient l'existence d'une pollution très marquée par les micro-organismes. Les personnes amenées à travailler à proximité étaient exposées, par exemple les opérateurs de nettoyage intervenant régulièrement dans cette zone.

↑ **TABLEAU**
Présentation
des résultats
de mesures.





↑ PHOTO 1 Plafond de la cabine de tri : défaut d'ajustements et dégradations des plaques de faux-plafond.

© Cramif



↑ PHOTO 2 Dépôts importants de poussières à l'intérieur de la cabine de tri. Lanières dégradées au niveau de l'entrée des déchets.

© Cramif



↑ PHOTO 3 Encrassement du filtre du système de traitement de l'air dans la cabine, lié à un défaut d'entretien.

© Cramif

Recommandations pour la prévention

Dans les activités de tri, les agents biologiques sont issus des déchets et véhiculés par les particules émises pendant le traitement. Certains équipements peuvent être générateurs de poussières. Certaines étapes (déversement, tri mécanique) dispersent aussi très largement les particules dans l'environnement de travail. Par principe, toutes les mesures permettant de limiter la quantité de particules dans l'air sont bénéfiques sur les niveaux d'exposition aux polluants biologiques. Il est donc important de rechercher et de maîtriser les sources de particules au niveau des équipements ou des étapes de tri : trieurs optiques, convoyeurs, cribles, transfert par déversement... De la même manière, les tâches réalisées par les opérateurs doivent être analysées pour repérer les plus émissives en particules. Par exemple, certaines techniques de nettoyage, comme le balayage, sont connues pour disperser les poussières et être à l'origine d'expositions importantes. La manipulation manuelle des déchets est également une tâche très exposante, car les opérateurs se situent au plus près de la source de particules contaminées, en particulier en début de chaîne, où les déchets sont très poussiéreux.

Au vu des résultats de mesures et des constats issus des différentes interventions, des recommandations pour la prévention des risques biologiques ont été émises auprès de l'entreprise, dans le but d'améliorer les situations de travail, jugées exposantes. La priorisation des actions découle de l'interprétation des résultats de mesures qui ont permis d'objectiver certaines situations de travail. En premier lieu, les actions devaient concerner les expositions individuelles jugées les plus alarmantes, en l'occurrence, celles des postes de pré-tri et de nettoyage. Dans le cas présent, des mesures correctives rapides ont été conseillées pour diminuer les expositions à un niveau acceptable. Leur efficacité doit être vérifiée par de nouvelles mesures, jusqu'à l'obtention de résultats satisfaisants. Plusieurs pistes d'amélioration ont été proposées :

- Adapter les méthodes de nettoyage. L'aspiration est à privilégier dans les environnements très empoussiérés (aspiration centralisée, aspirateur industriel ou balayeuse mécanique avec captage des poussières). Un nettoyage régulier permet d'éviter l'accumulation de poussières et un encrassement trop important. Les opérations doivent être réalisées régulièrement et les fréquences adaptées, afin de faciliter la tâche et limiter les dispersions importantes.
- Améliorer la ventilation aux postes de tri en cabine principale et au pré-tri, car des dysfonctionnements et des défauts de conception du dispositif de ventilation ont été constatés par le CMP (débits d'air insuffisants, plénums soufflants mal positionnés, dégradations... Cf. Photo 1).



© Gaël Kerbaol / INRS / 2024

pour évacuer la totalité des poussières et il est conseillé de l'améliorer (Cf. Photo 3). Par ailleurs, tous les systèmes de ventilation doivent être maintenus et entretenus régulièrement pour assurer leur efficacité. La possibilité de mettre en place ou d'ajouter des capotages peut être envisagée, en particulier au niveau des convoyeurs, si cela ne génère pas de risques supplémentaires (incendie/explosion, par exemple) et permet l'accès aux installations pour la maintenance et le nettoyage.

Conclusion

Suite à ces interventions, une réflexion a été engagée par l'entreprise, afin d'améliorer les conditions de travail et de réduire l'exposition des salariés aux poussières et aux polluants biologiques. Un projet de modernisation des cabines, initié quelques mois plus tard, a pris en compte certaines des recommandations émises suite aux interventions du LBC et du CMP. En particulier, une réflexion a été menée sur le système de ventilation des cabines et des améliorations ont été apportées (ajout/remplacement de plénums soufflants aux postes de tri, mise en place d'une nouvelle centrale de traitement d'air...), complétées par d'autres mesures techniques. Afin de vérifier l'efficacité de ces actions, de nouvelles mesures sont prévues. ●

1. Méthodes M-456 (aérosols en fraction inhalable), M-454 (endotoxines) et M-147 (micro-organismes aérobies). Accessibles sur : <https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html>

- Limiter l'entrée des polluants dans les cabines. Les poussières générées par les installations (convoyeurs, trieurs optiques...) sont transportées par les flux d'air. Elles peuvent pénétrer à l'intérieur des cabines *via* les entrées de convoyeurs ou les goulottes et venir contaminer l'ambiance de travail. Les cabines doivent rester en surpression par rapport au reste du bâtiment par introduction d'air, grâce à la ventilation mécanique. Pour cela, les portes et fenêtres des cabines doivent rester fermées. Pour les goulottes, l'installation de fermetures automatiques peut éviter les remontées de particules générées par la chute des déchets. Pour limiter l'entrée des poussières *via* les tapis, des lamelles chevauchantes en plastique en bon état sont généralement suffisantes (Cf. Photo 2). De manière optimale, il est possible de créer un sas d'isolement au niveau du passage des convoyeurs entre l'extérieur et l'intérieur de la cabine, avec une seconde rangée de lanières. Ce sas peut être équipé d'un captage localisé de poussières.
- Réduire la production et la dispersion des particules au cours du procédé de tri. De nombreux équipements sont fortement générateurs de poussières. Certains sont équipés de captages localisés de particules. Malgré cela, les mesures montrent des niveaux de pollution ambiante très élevés, même à proximité de machines équipées de captage, comme c'est le cas pour les trieurs optiques. Le réseau d'aspiration est insuffisant

BIBLIOGRAPHIE

[1] DUQUENNE P., FACON B. – Exposition aux bioaérosols dans les centres de tri des déchets ménagers recyclables. In : DUQUENNE P. ET AL. – Dossier : Les risques biologiques au travail. *Hygiène & sécurité du travail*, 2018, 252, DO 22, pp. 43-50. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=DO%2022>

[2] BALTU I., BERTRAND N., DAVID C. ET AL. – Valeurs guides endotoxines. Interprétation des résultats de métrologie des bioaérosols. *Hygiène & sécurité du travail*, 2015, 239, NT 25, pp. 46-50. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2025>

[3] DAVID C., EMILI A., ALONSO L. ET AL. – Valeurs guides bactéries et moisissures cultivables : Interprétation des résultats de métrologie des bioaérosols. *Hygiène & sécurité du travail*, 2023, 271, NT 109, pp. 55-63. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%20109>

[4] DÉCRET N° 2021-1763 du 23 décembre 2021 portant modification des concentrations moyennes en poussières totales et alvéolaires dans les locaux à pollution spécifique. *Journal officiel*, n° 0299 du 24 décembre 2021, texte n° 34. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr

UN RISQUE BIOLOGIQUE ÉMERGENT : *OSTREOPSIS*, UNE MICROALGUE RESPONSABLE DE SYNDROMES GRIPPAUX

La microalgue *Ostreopsis* peut être à l'origine d'intoxications, aussi bien de professionnels que de personnes fréquentant le littoral lors d'activités de loisirs. Cet article propose, sur la base de publications récentes, une synthèse des connaissances sur cette microalgue, sur les effets sanitaires associés à une exposition, avec une attention particulière pour la population professionnelle exposée.

ISABELLE SPONNE
INRS,
département
Toxicologie et
biométrie

Contexte

Ostreopsis est un genre d'algue invisible à l'œil nu qui peut être à l'origine d'intoxications. Sa présence dans l'eau de mer a été détectée en Méditerranée il y a une vingtaine d'années puis, plus récemment, sur la côte basque. Lorsque les conditions environnementales sont favorables, cette microalgue prolifère massivement (efflorescence¹). Les *Ostreopsis spp.*² produisent des toxines suspectées d'être responsables de différents symptômes majoritairement pseudo-grippaux. Ceux-ci surviennent quelques heures après l'exposition, principalement après l'inhalation d'aérosols. L'intoxication par *Ostreopsis spp.* peut donc affecter les travailleurs dont l'activité professionnelle se situe en mer, ou sur les rives localisées à proximité des lieux d'efflorescence.

Au cours de l'été 2021, 674 victimes d'intoxications ont été recensées par le Centre antipoison (CAP) de Bordeaux. Leur point commun : elles avaient toutes fréquenté les plages de la côte basque, que ce soit pour des activités récréatives ou professionnelles. Certaines de ces personnes, présentes sur les rives notamment pour des raisons professionnelles, ne s'étaient aucunement baignées dans les heures précédant la survenue des symptômes. Ces nombreux cas d'intoxications ont été reliés à des proliférations massives d'une microalgue du genre *Ostreopsis*. En France métropolitaine, les premiers cas symptomatiques associés à ce phénomène d'efflorescence d'*Ostreopsis spp.* ont été décrits au début des années 2000, mais leur localisation était circonscrite aux abords de la Méditerranée. Cette crise sanitaire survenue en

ENCADRÉ 1 NOMENCLATURE

Les cellules du genre *Ostreopsis* sont reconnaissables en microscopie à leur forme ovoïde ressemblant à une « lentille », d'une longueur d'environ 50 µm. À ce jour, douze espèces d'*Ostreopsis* ont été décrites (dont onze sont répertoriées dans le registre mondial des espèces marines). Lorsque les algues sont bien caractérisées, elles sont appelées du nom du genre, commençant par une

majuscule, suivi de celui de l'espèce ; les deux termes étant typographiés en italique (exemple : *Ostreopsis siamensis*). Néanmoins, certaines espèces ne peuvent pas être discriminées sur les seuls critères morphologiques au microscope optique. L'identification génétique s'avère parfois nécessaire, mais l'analyse de la séquence n'est pas toujours disponible.

Lorsque des cellules sont proches morphologiquement d'une espèce décrite sans être caractérisée avec certitude, l'abréviation *cf.*, du latin « confer », précède le nom de l'espèce (ex : *Ostreopsis cf. ovata*). Lorsqu'il n'y a pas d'identification de l'espèce, l'abréviation *sp.* suit le nom du genre. L'abréviation *spp.* désigne plusieurs espèces du genre.

2021 revêt un caractère exceptionnel, tant par sa localisation, au bord de l'Atlantique, que par son ampleur. À la suite de cet épisode, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), saisie par la Direction générale de la santé (DGS), a réuni un groupe de travail et rédigé un rapport d'expertise collectif [1]. Cet article propose, sur la base de ce rapport et de quelques publications récentes, une synthèse des connaissances sur *Ostreopsis spp.*, sur les effets sanitaires associés à une exposition à ces microalgues, avec un focus sur les professionnels qui constituent une population particulièrement touchée par ce nouveau risque.

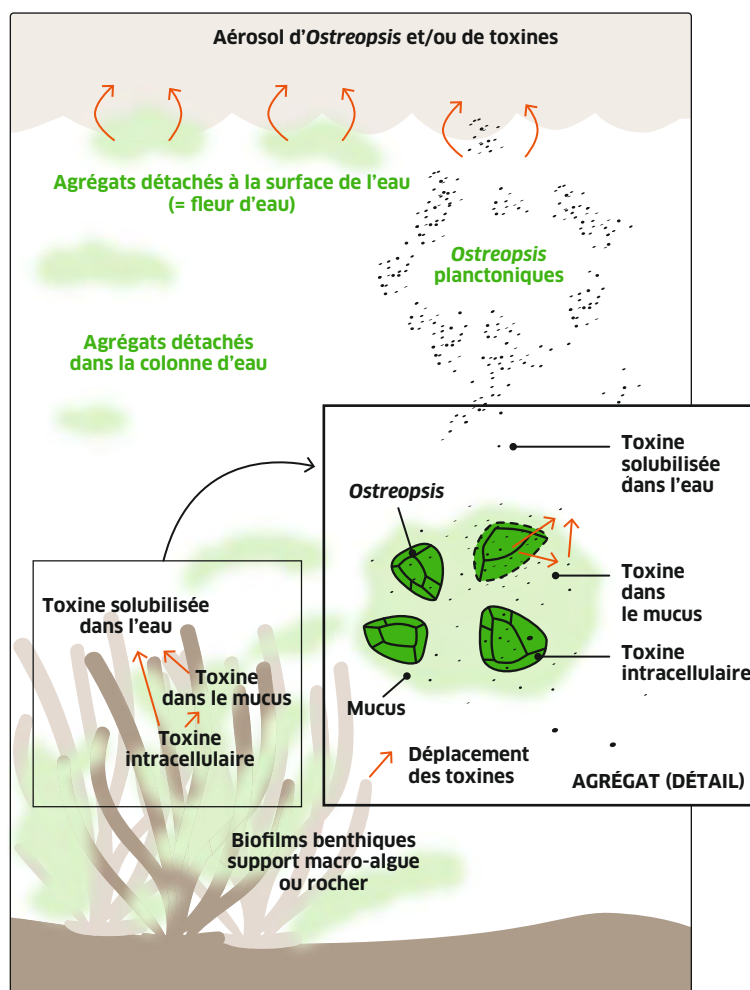
Carte d'identité d'*Ostreopsis*

Ostreopsis est une algue microscopique unicellulaire; *Ostreopsis cf. siamensis* et *Ostreopsis cf. ovata* comptent parmi les espèces retrouvées en France au sein du genre *Ostreopsis* [2]. L'identification de l'espèce n'étant pas toujours certaine, les termes « *Ostreopsis* » pour signifier le genre ou « *Ostreopsis spp.* », englobant toutes les espèces du genre, sont utilisés dans cet article (Cf. Encadré 1).

Ces algues sont principalement benthiques³ et se développent de préférence sur des substrats biotiques⁴ (macroalgues) ou colonisent des supports abiotiques (rochers) dans des zones peu profondes. Lors de la phase planctonique⁵, elles se retrouvent en suspension dans la colonne d'eau⁶ puis peuvent s'agréger en surface, formant des « fleurs d'eau » de coloration brune, visibles à l'œil nu. Les cellules, débris ou contenus cellulaires peuvent alors être transportés dans l'air, à la faveur d'embruns marins. Les conditions environnementales, telles que la température de l'eau et le vent, jouent un rôle déterminant aussi bien pour les épisodes d'efflorescence que pour les transferts dans l'air (aérosolisation) et conditionnent le risque sanitaire (Cf. Figure 1).

Distribution en France

Ostreopsis a longtemps été considérée comme une algue se développant exclusivement dans les eaux chaudes tropicales ; néanmoins, sa présence a été révélée en zone tempérée. En France, différentes espèces d'*Ostreopsis* ont été décrites aux Antilles, sur l'île de La Réunion, en Nouvelle-Calédonie et en Polynésie française. En métropole, elle a été pour la première fois détectée à Villefranche-sur-Mer en 1972. À la suite des premiers signalements sanitaires, survenus au début des années 2000, la présence d'*Ostreopsis spp.* a été particulièrement surveillée sur le pourtour méditerranéen. C'est en 2018 que l'algue a été pour la première fois identifiée sur le littoral atlantique français. En 2021, des cellules d'*Ostreopsis spp.* ont été retrouvées



dans les Landes, au large de Capbreton et dans le lac marin d'Hossegor. Des traces d'ADN de cette algue ont été détectées jusqu'en Bretagne [3-5]. La prolifération des *Ostreopsis spp.* dépend de nombreux paramètres. Un faible hydrodynamisme⁷ est déterminant pour le développement et le maintien de ces algues dans le compartiment benthique. Elles sont donc plus abondantes dans les sites abrités du courant et/ou du vent. La température est également prépondérante, notamment pour la croissance d'*Ostreopsis spp.* La hausse des températures constitue le premier facteur d'expansion de cette algue. Lorsqu'elle est implantée, les épisodes d'efflorescence d'*Ostreopsis* sont plus nombreux pendant l'été. La surveillance d'*Ostreopsis spp.* par dénombrement s'effectue donc habituellement entre les mois de mai et de septembre.

Toxicité et effets sur la santé

Les algues *Ostreopsis spp.* synthétisent différentes toxines appartenant majoritairement à la famille de la palytoxine, une substance hautement toxique

↑ FIGURE 1 Représentation schématique des deux phases, benthique et planctonique, du développement d'*Ostreopsis* (d'après l'Anses [1]).



**ENCADRÉ 2
LA PALYTOXINE**

La palytoxine est une toxine retrouvée dans les coraux mous qui se trouvent à l'état naturel dans l'océan Indo-Pacifique et les mers adjacentes, et qui peuvent servir d'ornement dans les aquariums d'eau de mer. En France, l'exposition à la palytoxine peut concerner des particuliers comme des professionnels du secteur de l'aquariophilie. En fonction du mode d'exposition (contact avec les yeux, avec la peau et par inhalation), elle est responsable d'atteintes oculaires, cutanées ou respiratoires respectivement, mais elle peut avoir des effets autres (neurologiques, musculaires, digestifs...). Ces symptômes interviennent quelques heures après exposition et régressent au bout de sept jours maximum. Les atteintes sont principalement bénignes ou modérées, mais elles peuvent parfois être graves. Entre 2000 et 2017, le réseau des Centres antipoison français a enregistré 23 cas d'intoxications, dont 7 concernaient des accidents professionnels (aquariophilie). Parmi toutes les victimes, plus de 90 % ignoraient les risques et la dangerosité liés à la manipulation des coraux mous [6].

retrouvée dans les coraux mous (Cf. Encadré 2). Du fait de cette analogie structurale, les toxines produites par *Ostreopsis spp.* sont fortement suspectées d'être à l'origine des intoxications associées à cette microalgue. Parmi elles, les ovatoxines suscitent le plus d'intérêt. Une vingtaine de molécules d'ovatoxines ont ainsi été caractérisées; elles peuvent être intracellulaires ou externes à la cellule d'*Ostreopsis* et se retrouver solubilisées dans l'eau. Du fait d'écueils méthodologiques, tels que des difficultés d'extraction en quantité suffisante et l'indisponibilité de toxines pures commerciales, les mécanismes et les seuils de toxicité de ces substances demeurent encore largement méconnus. L'impact d'*Ostreopsis spp.* sur la santé humaine est lié à la quantité des cellules dans les différents compartiments (benthique, colonne d'eau et surface). Une fois détachées de leur substrat, les microalgues *Ostreopsis spp.* se retrouvent dans la

↓ **TABLEAU**
Tableau clinique des expositions à *Ostreopsis spp.* ou aux toxines analogues à la palytoxine (source : Anses [1]).

colonne d'eau et les toxines produites peuvent être aérosolisées. Ce transfert dépend non seulement de l'abondance des cellules à la surface de l'eau, mais également des conditions météorologiques, notamment la présence de vent. Il en découle que les expositions à *Ostreopsis spp.* ou à leurs toxines peuvent avoir lieu par contact avec le substrat colonisé par la microalgue ou avec l'eau de mer, mais également par inhalation d'aérosols marins. Les personnes exposées à *Ostreopsis spp.* ou à leurs toxines, par la baignade ou l'inhalation d'aérosols contaminés, peuvent présenter des symptômes polymorphes, essentiellement d'ordre respiratoire et affectant la sphère ORL (toux, maux de gorge, rhinorrhée⁸, gêne respiratoire), mais aussi d'ordre systémique (fièvre, tremblement, céphalées) ou cutané (éruption). Dans son rapport, l'Anses présente un tableau reliant les expositions et les symptômes (Cf. Tableau).

S'ajoutant à ces différents symptômes aspécifiques, une dysgueusie⁹ avec description d'un goût métallique, peut apparaître dès l'exposition. Elle peut être un signe d'alerte et permettre d'écarter d'autres diagnostics notamment infectieux et allergiques.

Ces différents symptômes apparaissent dans un délai moyen de 6 heures après une exposition, même ponctuelle, et disparaissent généralement sous quelques jours, sans complications. Le nombre et la durée des symptômes peuvent augmenter suite à des expositions régulières. Par ailleurs, les personnes ayant des pathologies respiratoires, telles que l'asthme, doivent être considérées comme particulièrement sensibles.

Expositions professionnelles et prévention du risque

Certaines activités professionnelles, localisées aux abords des sites d'efflorescences d'*Ostreopsis spp.*, conduisent à un risque accru d'exposition. Les maîtres-nageurs sauveteurs, les personnes en charge des prélèvements d'échantillons d'eau de

EXPOSITION	CIRCONSTANCES	TABLEAUX CLINIQUES
Contact cutané seul	Déplacement parmi les macroalgues sur lesquelles sont présentes <i>Ostreopsis spp.</i>	Lésions cutanées isolées, allant de la simple irritation à de véritables nécroses ou ulcères. Absence de signe et symptômes systémiques.
Projection vers les muqueuses Inhalation d'aérosols marins	Baignades, activités nautiques, inhalation d'aérosols lors de séjours à la plage, riverains de la côte.	Goût métallique, rhinorrhée, hypersalivation, conjonctivite, larmoiement, irritation laryngée, irritation cutanée diffuse, asthénie, toux irritative, céphalées.
Projection vers les muqueuses Inhalation de quantités importantes ou mal tolérées ou répétées de microgouttelettes	Professionnels multi-exposés (agents en charge de prélèvements, professionnels de la mer et des activités nautiques), antécédents respiratoires, plongeurs avec bouteilles (pour l'instant, pas de cas rapporté d'intoxication grave lors de la pratique de la plongée avec palmes/masque/tuba).	Tous les symptômes ci-dessus, plus intenses, accompagnés d'un syndrome pseudo-grippal (douleurs musculaires et articulaires, fièvre, frissons, tremblements, syndrome inflammatoire biologique) et potentiellement compliqués de signes de gravité : kératite, ulcères buccaux, dyspnée, cyanose, bronchorrhée, bronchospasme, détresse respiratoire.

mer, le personnel encadrant les activités de loisirs ou encore les commerçants et restaurateurs travaillant en bordure de plages dans les zones envahies, sont considérés comme des populations à risque [7]. En 2016, une étude fait état pour la première fois d'intoxication de professionnels, des restaurateurs, travaillant à proximité d'efflorescences d'*Ostreopsis spp.* sur la côte catalane espagnole [8]. En France, les cas colligés sur la côte basque pour l'année 2021 par le Centre antipoison de Bordeaux confirment que les professionnels constituent une population particulièrement touchée, avec des symptômes plus nombreux et plus persistants que ceux retrouvés chez les personnes présentes pour des activités récréatives (Cf. Encadré 3) [9].

L'évaluation du danger lié aux *Ostreopsis spp.* repose essentiellement sur le dénombrement cellulaire réalisé au microscope optique. Dans son rapport relatif aux proliférations sur le littoral basque, l'Anses recommande d'effectuer ces comptages dans les différents compartiments potentiellement colonisés par les *Ostreopsis spp.* : compartiment benthique, par recueil de macroalgues (nombre de cellules d'*Ostreopsis* par gramme de « poids frais » d'algue) et compartiment planctonique, par prélèvement d'eau de mer dans la colonne d'eau (nombre de cellules d'*Ostreopsis* par litre d'eau). Ces prélèvements sont réalisés dans des zones nécessitant une vigilance particulière :

- sites d'efflorescences d'*Ostreopsis spp.* précédemment identifiés ou suspectés par la présence de fleurs d'eau (cf. Figure 1), par une modification de la couleur de l'eau ou du fait de la perception de goût métallique par des personnes proches de la zone (surveillance environnementale), ou
- sites associés à des signalements d'intoxication survenant sur le même lieu et aux mêmes dates (surveillance sanitaire).

L'Anses définit trois niveaux d'alerte, dont la gradation dépend de la concentration en cellules d'*Ostreopsis* dans les prélèvements de macroalgues ou d'eau et du nombre de cas d'intoxication signalé par le CAP. Ces trois niveaux d'alerte correspondent à ceux décrits dans la note de la DGS de 2010, dans laquelle les niveaux sont basés exclusivement sur la concentration en cellules d'*Ostreopsis* dans la colonne d'eau [10].

Par ailleurs, depuis 2022, une démarche de suivi d'*Ostreopsis spp.* a été engagée sous l'impulsion de la Communauté d'agglomération du Pays basque, gestionnaire des eaux de baignade et coordonnée par le groupement d'intérêt scientifique « Littoral basque ». Des campagnes de prélèvements d'eau et d'algues ont été mises en place, pour quantifier la présence de cette microalgue *Ostreopsis spp.* sur cinq plages de la Côte basque identifiées en 2021 puis en 2024, comme étant des zones de développement de l'algue [11]. En accord avec l'Agence

ENCADRÉ 3

ÉTUDE DES CAS RECENSÉS SUR LA CÔTE BASQUE DU 1^{ER} JUILLET AU 30 SEPTEMBRE 2021 [9]

- Nombre total de cas symptomatiques recensés = 674
- Nombre de professionnels = 90 (loisirs = 584) : dont 75 maîtres-nageurs sauveteurs et 6 équipiers de restaurants en front de mer ;
- Nombre médian de symptômes : activité professionnelle = 7 (loisirs = 5) ;
- Nombre de jours de persistance des symptômes : professionnels = 7,5 (loisirs = 3).

régionale de santé (ARS) de Nouvelle-Aquitaine, quatre niveaux de vigilance ont été définis par les scientifiques. Les niveaux 3 et 4 prévoient des analyses basées sur la biologie moléculaire et permettant de détecter *Ostreopsis cf. siamensis* et *Ostreopsis cf. ovata* dans les échantillons, et leur proportion respective. Les résultats sont délivrés en 48 heures, partagés avec les communes et le public sur le site de la Communauté d'agglomération du Pays basque. En ce qui concerne les professionnels, l'Anses recommande que les postes de travail soient adaptés en fonction des préconisations de la médecine du travail et ce, à partir du niveau d'alerte 2 (correspondant à une concentration de cellules d'*Ostreopsis spp.* supérieure à 30000 cellules par litre d'eau ou à plus de deux cas d'intoxication confirmés par le CAP).

De façon plus générale, l'Anses préconise le port d'une tenue couvrante, de gants, de lunettes et de chaussures quand c'est possible, notamment pour les préleveurs. Quand le port d'équipement de protection individuelle n'est pas envisageable (maîtres-nageurs et commerçants), une réduction de la durée d'exposition aux aérosols en adaptant la durée de travail est recommandée, dès qu'une efflorescence est signalée. D'autres mesures préventives sont rappelées : « *Lavages fréquents des mains, prise de douche, nettoyage et recouvrements des plaies, etc.* ». En outre, l'Anses recommande « *un suivi médical spécifique des professionnels travaillant sur, ou à proximité immédiate, des sites touchés par les proliférations d'*Ostreopsis*, qu'il s'agisse de personnels permanents ou saisonniers, pour des expositions aiguës ou répétées.* »

Il n'existe pour le moment aucune valeur guide réglementaire de toxine ou de méthode de mesure de l'exposition à *Ostreopsis spp.* Celles-ci ne pourront être établies qu'après avoir acquis les connaissances nécessaires en termes de toxicité : identification de la ou des toxines responsable(s), caractérisation des seuils de toxicité, ou d'exposition : conditions d'efflorescence ou d'aérosolisation... C'est dans ce contexte que s'est constitué un groupement d'intérêt scientifique (GIS) nommé Ostreobila, dont l'objectif



POUR EN SAVOIR +

- Rapport de l'Anses : *Avis relatif aux risques pour la santé humaine liés aux proliférations d'Ostreopsis spp. sur le littoral basque* (saisine 2021-SA-0212). Anses, 2023. Accessible sur : <https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2021SA0212Ra.pdf>
- Page *Ostreopsis* de la Communauté d'agglomérations du Pays basque : *Localisation des prélèvements, définitions des niveaux d'alerte, suivi en temps réel des quantifications et identifications*. Accessible sur : <https://www.communaute-paysbasque.fr/vivre-ici/leau/le-littoral/les-eaux-de-baignade/suivi-ostreopsis>
- Site Surfrider : Livret téléchargeable. Accessible sur : <https://www.surfrider.fr/nos-missions/qualite-eau-sante-usagers/ostreopsis-ovata/#post-2523>

est d'étudier et comprendre l'impact d'*Ostreopsis* spp. Ce projet, qui réunit huit partenaires français et espagnols (universités, instituts, laboratoires...), a débuté en 2024 et durera trois ans.

Dans le même sens, le service de consultation de pathologies professionnelles et environnementales (CPPE) du centre hospitalier Côte basque (Bayonne) a ouvert une consultation dédiée à *Ostreopsis* en août 2024. Elle est proposée aux professionnels du littoral ou patients présentant une aggravation ou une récurrence des symptômes d'intoxication à la microalgue. Ces consultations contribuent au réseau national de vigilance et de prévention des pathologies professionnelles et environnementales (RNV3PE), avec pour missions le repérage et le suivi

de risques sanitaires professionnels ou environnementaux émergents en France.

Les examens complémentaires réalisés dans le cadre de ces consultations ainsi que l'ensemble des résultats obtenus dans le cadre du GIS *Ostreobila* permettront une meilleure compréhension des mécanismes associés à la toxicité d'*Ostreopsis*, et devraient permettre une meilleure prévention du risque sanitaire lors d'efflorescences de l'algue.

En attendant ces futures données, il convient de rappeler que, pour une meilleure prévention, il est nécessaire de former et d'informer sur les risques liés à l'exposition aiguë ou répétée à *Ostreopsis*, d'autant que, dans un contexte de réchauffement climatique, il est fort probable que cette algue envahisse encore plus largement le littoral atlantique. ●

1. Efflorescence (« bloom » en anglais) : prolifération massive conduisant à une augmentation importante du nombre de cellules produisant une coloration, brune dans le cas d'*Ostreopsis*, des milieux envahis (rochers, macroalgues, surface de l'eau...).

2. *Ostreopsis* spp. : désigne plusieurs espèces du genre *Ostreopsis*.

3. Benthique : relatif aux organismes qui vivent au niveau le plus bas d'une étendue d'eau comme un lac ou un océan.

4. Biotiques : qui concerne les êtres vivants, par opposition à abiotiques.

5. Phase planctonique pendant laquelle un organisme microscopique est en suspension dans l'eau.

6. Colonne d'eau : colonne conceptuelle de profondeur de l'eau, partant de la surface d'une mer, océan, rivière ou lac, jusqu'aux sédiments de fond.

7. Hydrodynamisme : état d'agitation de l'eau résultant de l'ensemble des événements impliqués dans le déplacement des masses d'eau (courants, houle, marées, turbulences).

8. Rhinorrhée : écoulement nasal anormal.

9. *Dysgueusie* : trouble de la perception du goût.

BIBLIOGRAPHIE

[1] ANSES – *Avis relatif aux risques pour la santé humaine liés aux proliférations d'Ostreopsis spp. sur le littoral basque* (saisine 2021-SA-0212). Anses, 2023. Accessible sur : <https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2021SA0212Ra.pdf>

[2] AMZIL Z. ET AL. – Ovatoxin-a and palytoxin accumulation in seafood in relation to *Ostreopsis cf. ovata* blooms on the French Mediterranean coast. *Marine drugs*, 2012, 10 (2), pp. 477-496.

[3] CHOMÉRAT N. ET AL. – First characterization of *cf. (Dinophyceae)* and detection of ovatoxins during a multispecific and toxic bloom on French Atlantic coast. *Marine Drugs*, 2022, 20 (7), pp. 461-484.

[4] DROUET K. ET AL. – Current distribution and potential expansion of the harmful benthic dinoflagellate *cf. towards the warming waters of the Bay of Biscay, North-East Atlantic*. *Environmental microbiology*, 2021, 23 (9), pp. 4956-4979.

[5] KERMAREC F. ET AL. – Health risks related to *Ostreopsis ovata* in recreational waters. *Environnement, risques & santé*, 2008, 7 (5), pp. 357-363.

[6] CALON T. – Exposition à la palytoxine des personnes manipulant des coraux mous d'aquarium d'eau de mer. *Toxicologie analytique et clinique*, 2019, 31, pp. 64-76.

[7] TICHADOU L. ET AL. – Health impact of unicellular algae of the *Ostreopsis* genus blooms in the Mediterranean Sea : experience of the French Mediterranean coast surveillance network from 2006 to 2009. *Clin Toxicol (Phila)*, 2010, 48 (8), pp. 839-844.

[8] VILA M. ET AL. – Establishing the link between *Ostreopsis cf. Ovata* blooms and human health impacts using ecology and epidemiology. *Scientia Marina*, 2016, 80, pp. 107-115.

[9] PARADIS C. ET AL. – Impacts on human health potentially caused by exposure to an unprecedented *Ostreopsis* spp. bloom in the

Bay of Biscay, French Basque Coast. *Wilderness Environ Med*, 2024, 35 (1), pp. 13-21.

[10] NOTE DE SERVICE DGS/EA3/EA4 n° 2010-238 du 30 juin 2010 relative à la surveillance sanitaire et environnementale et aux modalités de gestion des risques sanitaires pour la saison balnéaire 2010, liés à la présence de la microalgue toxique *Ostreopsis* spp. dans les eaux de baignade en Méditerranée et à la contamination par ses toxiques des produits de la mer issus de la pêche de loisir. Accessible sur : https://sante.gouv.fr/fichiers/bo/2010/10-08/ste_20100008_0100_0161.pdf

[11] SITE COMMUNAUTÉ DU PAYS BASQUE – Accessible sur : <https://www.communaute-paysbasque.fr/vivre-ici/leau/le-littoral/les-eaux-de-baignade/suivi-ostreopsis>

DES FUTURS SALARIÉS AUX PRÉVENTEURS : FORMER POUR PRÉVENIR

La pandémie de Covid-19 a fait prendre conscience aux entreprises et à leurs salariés de la présence des risques biologiques en milieu professionnel. Pour développer les compétences relatives à leur prévention, l'INRS accompagne les enseignants afin qu'ils sensibilisent les futurs salariés en formation initiale, et propose des actions de formation continue aux professionnels de la prévention.

AURORE
YANG,
JULIEN
HACHET
INRS,
département
Formation

Les professionnels de nombreux secteurs d'activités sont concernés par les risques biologiques. Afin de savoir comment participer à leur prévention en entreprise, de nombreux acteurs de l'entreprise doivent être informés, sensibilisés ou formés.

Les élèves des filières professionnelles ou technologiques, futurs professionnels acteurs de leur prévention en entreprise, sont sensibilisés dès leur scolarité par des enseignants formés à la prévention des risques biologiques.

Sensibiliser les futurs salariés

Le réseau ressource risque biologique (3RB)

Le ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse, la Caisse nationale d'assurance maladie (Cnam) et l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) ont renouvelé leur partenariat à travers la signature, en 2023, d'une convention de coopération pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

Ce partenariat national vise à développer les compétences en santé et sécurité au travail dès la formation initiale professionnelle (élèves de lycées et apprentis), en formant les futurs professionnels afin qu'ils contribuent à la prévention des risques professionnels.

Dans ce cadre, le réseau ressource risque biologique (3RB) s'est constitué il y a plus de 25 ans, afin notamment de concevoir des ressources pédagogiques pour faciliter l'intégration de la démarche de prévention des risques biologiques dans les enseignements délivrés dans les voies technologiques ou professionnelles (du CAP au BTS).

Pour Caroline Bonnefoy, inspectrice générale de l'Éducation, du Sport et de la Recherche, copilote du réseau 3RB, « le partenariat entre l'INRS et l'Éducation nationale constitue un atout de taille pour diffuser une culture de la prévention et de la sécurité

au travail dès les premières années d'enseignement professionnel ou technologique ». L'animation de ce réseau s'appuie sur un groupe de travail national, constitué d'inspecteurs, d'enseignants et d'experts de l'INRS, qui contribue à la formation d'enseignants et de formateurs académiques. En effet, « le travail mené en concertation avec l'INRS a permis d'affiner les contenus des diplômes et les modalités de diffusion grâce à la complémentarité de nos expertises respectives, tant sur le plan pédagogique que scientifique », explique Caroline Bonnefoy. Cela s'est également traduit par « le déploiement dans toutes les académies, dès 1997, d'un réseau de formateurs relais dont les compétences sont mises à jour tous les trois ans, avec également l'intégration régulière de nouveaux membres selon les besoins des académies », ajoute-t-elle.

Ainsi, 80 formateurs sont identifiés dans les académies de l'Éducation nationale pour former des enseignants à l'intégration de la prévention des risques biologiques dans leurs enseignements.

En 2023, près de 20 nouveaux enseignants sont devenus formateurs-relais pour les risques biologiques. Un séminaire de formation a permis de réunir les formateurs, à travers deux sujets principaux : les spécificités liées à la posture du formateur d'enseignants et l'appropriation d'un parcours de formation en ligne à destination des enseignants (sur la plateforme « m@gistère »¹). Les pratiques académiques ont été partagées et de nombreux échanges ont eu lieu sur la mise en place d'une formation en modalité hybride (formation à distance, complétée par des temps d'appropriation entre pairs en présentiel).

Des ressources en ligne pour les enseignants ou les formateurs

Le site du 3RB² met à disposition des enseignants des contenus élaborés par le réseau ressource





Présentation de l'outil Darbio (© INRS).

risque biologique. Ce site fournit de nombreuses ressources pédagogiques sur la prévention des risques biologiques, notamment des exemples de situations de travail à analyser dans de nombreuses filières professionnelles telles que le secteur sanitaire et médico-social, la petite enfance, la coiffure et l'esthétique, la restauration, les métiers des déchets et le traitement des eaux... D'autres outils, exemples de situations de travail et bonnes pratiques de prévention à partager, sont également disponibles pour les métiers des laboratoires et des biotechnologies. Pour Caroline Bonnefoy, « l'INRS est une véritable force de proposition pour permettre aux élèves

d'analyser des cas concrets de situations de travail sous l'angle de la sécurité, et surtout, de la prévention des risques ».

Dans cette perspective, deux outils interactifs (outils Darbio³) sont mis à disposition des formateurs et des enseignants pour sensibiliser leurs élèves et étudiants. Ils permettent de découvrir les étapes d'une démarche d'analyse des risques biologiques à travers plusieurs objectifs :

- appréhender la méthodologie liée à l'analyse des risques en repérant les composantes de la situation de travail ;
- analyser des situations exposant aux agents biologiques dans le cadre des formations de la voie professionnelle ou technologique ;
- proposer des mesures de prévention.

Par ailleurs, des quiz sont proposés afin de tester les connaissances sur les étapes clés de la démarche de prévention des risques biologiques. Ils portent sur des connaissances liées aux agents biologiques, à la démarche de prévention, et aux aspects juridiques.

« Le 3RB prend plaisir à travailler avec l'ensemble [des partenaires] dans une perspective dynamique et volontaire », conclut Caroline Bonnefoy. Les ressources mises à disposition des enseignants sont régulièrement mises à jour.

Des ressources pour l'accueil des nouveaux arrivants

Les risques biologiques sont aussi abordés au travers de la démarche TutoPrév', notamment les risques infectieux et allergiques. Elle s'adresse aux nouveaux arrivants en entreprise quel que soit leur statut : nouveau salarié, salarié en reconversion, intérimaire, stagiaire, apprenti. Cette démarche vise à s'assurer qu'ils soient capables

ENCADRÉ

NOUVEAU : UNE AUTOFORMATION SUR LES RISQUES BIOLOGIQUES

Un nouveau module d'autoformation sur les notions essentielles pour l'évaluation et la prévention des risques biologiques en milieu professionnel a été mis en ligne par l'INRS.

Il s'adresse aux experts comme aux non-initiés et permet d'acquérir, d'actualiser ou de consolider les notions fondamentales pour évaluer et prévenir les risques biologiques en milieu professionnel.

Ce module, d'environ deux heures, explique comment repérer, évaluer et prévenir ces risques en entreprise. De nombreux exemples illustrent l'étendue des secteurs concernés.

Des modules courts complémentaires sont proposés.

Ils s'adressent spécifiquement aux professionnels de santé au travail et traitent des thèmes suivants : le suivi individuel en santé au travail, l'essentiel sur la vaccination, les risques biologiques et la grossesse, et la base de données Eficatt.

Pour en savoir plus : www.inrs.fr/services/formation/distance.html

d'observer une situation de travail, de repérer les dangers et les risques qui y sont liés afin de proposer des mesures de prévention adaptées. La démarche TutoPrév' propose :

- des fiches par nature de risque proposant systématiquement la prévention des risques biologiques ;
- des exemples de déroulement d'accidents ;
- des situations de travail comportant parfois des situations à risque d'exposition à des agents biologiques ;
- des supports d'observation en entreprise.

Ces outils sont intégrés aux références : TutoPrév' Pédagogie, TutoPrév' Accueil et TutoPrév' Interactif, disponibles en libre accès sur le site de l'INRS (Cf. *Pour en savoir plus*).

Ils sont utilisés par les enseignants ou les formateurs pour former les futurs salariés, et à disposition des tuteurs ou des chargés de prévention en entreprise afin de vérifier l'acquisition de connaissances et d'adapter l'accueil des nouveaux arrivants.

Former les professionnels de la prévention pour mieux appréhender les risques biologiques

Au cours de leur parcours professionnel, les professionnels de la prévention et de la santé et la sécurité au travail se forment et actualisent leurs connaissances et compétences afin de mieux accompagner les entreprises dans leur démarche de prévention. L'INRS propose plusieurs parcours de formation (en présentiel, en distanciel, ou hybride) qui traitent de la prévention des risques biologiques.

Une formation dédiée à la prévention des risques biologiques

La formation « *Évaluer et prévenir les risques biologiques en entreprise* » (réf. JJ1430) s'adresse aux préventeurs d'entreprises et aux personnels des services de prévention et de santé au travail.

Elle vise trois objectifs :

- identifier les sources de contamination possibles par des agents biologiques ;
- évaluer les risques d'exposition *via* la chaîne de transmission ;
- proposer des mesures de prévention adaptées.

Cette formation présente notamment les différents agents biologiques et leurs caractéristiques. Les stagiaires découvrent les nombreux secteurs d'activités utilisant délibérément des agents biologiques ou exposant de manière non intentionnelle les salariés aux agents biologiques, dont certains peuvent être pathogènes.

Ils sont formés à l'évaluation des risques biologiques au travers de la chaîne de transmission. En intervenant sur chaque maillon de la chaîne, ils



Support de la démarche TutoPrév' Accueil – Aide à la personne à domicile et en établissement (© INRS).



Support de la démarche TutoPrév' Accueil – Métiers de la beauté (© INRS).

apprennent à prévenir ces risques. Des études de cas permettent de s'approprier la démarche et de réfléchir aux conduites à tenir en cas d'exposition accidentelle. Les missions des services de prévention et de santé au travail sont décrites, afin de permettre aux médecins du travail de mieux appréhender leur rôle dans la mise en œuvre et l'accompagnement d'une démarche de prévention des risques biologiques.

Au sein de la formation, un retour d'expérience animé par Jérôme Cluzeau, formateur spécialisé en traitement des eaux, présente les agents biologiques utilisés dans les procédés d'assainissement des eaux et ceux présents potentiellement dans les eaux usées urbaines. « *L'intérêt de travailler ensemble et de manière participative permet de progresser efficacement en partageant des pratiques de terrain* », précise-t-il.



Il explique comment les risques biologiques ont été évalués et intégrés dans le document unique d'évaluation des risques (DUER) d'une station d'épuration des eaux usées urbaine: « *Au travers d'exemples concrets, je favorise les échanges de pratiques entre professionnels de la prévention, pour qu'à leur tour, ils prennent plus facilement en compte les risques biologiques. S'appuyer sur des DUER de différentes entreprises permet de démontrer qu'il est possible d'intégrer les risques biologiques comme tous les autres risques.* »

La métrologie d'atmosphère au service de la prévention

Les salariés peuvent être exposés à des agents biologiques (bactéries, virus, champignons...) présents dans l'air sous forme d'aérosols (particules liquides ou solides de diamètre inférieur à 100 µm en suspension dans l'air). On parle alors de bioaérosols, dont l'inhalation peut avoir des effets sur la santé.

Pour identifier et quantifier les agents biologiques présents dans l'air, l'INRS propose la formation « *Maîtriser les bases théoriques de la métrologie d'atmosphère* » (réf. CA1503) destinée aux professionnels de prévention pratiquant des prélèvements d'atmosphère. Cette formation, initialement conçue pour la métrologie des agents chimiques, aborde également les spécificités des prélèvements et des analyses des bioaérosols.

Une séquence spécifique rappelle les propriétés des bioaérosols, les secteurs d'activités concernés, les risques liés aux expositions. Une étude de cas en fromagerie permet de concevoir une campagne de prélèvement. Ainsi, les stagiaires :

- identifient les différents objectifs des mesures :

établir un diagnostic suite à une plainte de salarié, vérifier l'émissivité d'un procédé, vérifier l'efficacité d'une mesure de prévention... ;

- définissent une stratégie de mesure : choix des dispositifs de prélèvement, mode de transport et conservation des échantillons, méthode d'analyse ;
- interprètent les résultats.

Le risque biologique, un risque professionnel comme un autre

En complément de la formation dédiée à la prévention des risques biologiques, l'INRS propose d'autres formations qui intègrent les risques biologiques dans la démarche d'évaluation des risques professionnels.

Ainsi, la formation « *Évaluer et prévenir les risques biologiques, chimiques et radiologiques rencontrés en laboratoire de recherche en biologie* » (réf. JJ2431) s'adresse aux professionnels de la prévention travaillant dans des laboratoires de recherche et aux personnels des services de prévention et de santé au travail (SPST) accompagnant ce secteur d'activités.

Au travers d'une visite virtuelle d'un laboratoire de recherche en biologie, les stagiaires suivent un protocole décrivant des manipulations réalisées en laboratoire. Lors des différentes étapes du protocole, ils doivent évaluer les risques biologiques, chimiques et radiologiques et proposer des mesures de prévention.

De surcroît, des préventeurs en laboratoires de recherche expliquent comment ces risques sont évalués et intégrés dans leurs documents uniques d'évaluation des risques. Le témoignage d'un médecin du travail complète ces interventions, en détaillant le suivi médical particulier réalisé pour les salariés. Là encore, ces retours d'expérience favorisent les échanges de pratiques professionnelles pour, qu'à leur tour, les stagiaires tiennent compte des risques biologiques, comme de tous les autres risques professionnels.

La formation « *Évaluer et prévenir les risques pour la reproduction* » (réf. BB1540), ainsi que la formation « *Évaluer et prévenir les risques lors d'une intervention en espace confiné ou clos* » (réf. JA2032), intègrent également les risques biologiques dans leur démarche globale d'évaluation des risques professionnels.

L'INRS propose ainsi une offre de formations diversifiée sur les risques biologiques, s'adressant à différents publics, afin de favoriser l'intégration de leur prévention en entreprise. ●

1. Le terme *m@gistère* désigne la plateforme de formation à distance destinée aux personnels de l'Éducation nationale.

2. Voir : <https://www.esst-inrs.fr/3rb>

3. Voir : <https://www.esst-inrs.fr/3rb/darbio.php>

POUR EN SAVOIR +

- Pour tout renseignement sur les dates, le contenu et le programme de ces formations, consulter le site Internet de l'INRS (www.inrs.fr) et indiquer le code du stage :

JJ1430 – *Évaluer et prévenir les risques biologiques en entreprise*

CA1503 – *Maîtriser les bases théoriques de la métrologie d'atmosphère*

JJ2431 – *Évaluer et prévenir les risques biologiques, chimiques et radiologiques rencontrés en laboratoire de recherche en biologie*

BB1540 – *Évaluer et prévenir les risques pour la reproduction*

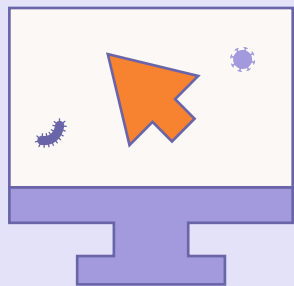
JA2032 – *Évaluer et prévenir les risques lors d'une intervention en espace confiné ou clos*

Le programme complet et les modalités d'inscription sont détaillés sur la page de l'INRS dédiée aux formations :

<https://www.inrs.fr/services/formation.html>

- Démarche TutoPrév' accessible sur : <https://www.inrs.fr/demarche/nouveaux-embauces/demarche-TutoPrev.html>

Évaluation des risques biologiques



Un nouvel outil

au service des entreprises



© Clément PORTAL pour l'INRS



© Grégoire Maisonneuve pour l'INRS



© Guillaume J. Plisson pour l'INRS



© Fabrice Dimier pour l'INRS

Cet outil vous permet :

- d'évaluer les risques biologiques dans votre entreprise,
- de définir des mesures de prévention,
- d'obtenir un plan d'action.



Études & solutions

Notes techniques

Évaluation des micro-capteurs à bas coût
pour caractériser les aérosols
sur les lieux de travail

P. 67

Étude de cas

Transformation des produits céréaliers
dans les meuneries : prévention
des risques d'explosion

P. 76

Base de données

Portrait rétrospectif des expositions
professionnelles dans les activités funéraires
en France de 2002 à 2023

P. 88

Notes techniques

ÉVALUATION DES MICRO-CAPTEURS À BAS COÛT POUR CARACTÉRISER LES AÉROSOLS SUR LES LIEUX DE TRAVAIL

Les capteurs d'aérosols à bas coût offrent des perspectives prometteuses pour la surveillance de l'air des lieux de travail. Menée en partenariat par plusieurs organismes de recherche européens dont l'INRS, l'étude synthétisée dans cet article vise à comparer certains de ces capteurs avec des méthodes de référence pour mettre en lumière leurs avantages, leurs limites et proposer des pistes d'amélioration.

BENJAMIN SUTTER
INRS,
département
Ingénierie des
procédés

XAVIER SIMON, SÉBASTIEN BAU
INRS,
département
Métrologie
des polluants

CHRISTOF ASBACH, ANA MARIA TODEA
IUTA
(Allemagne)

CARSTEN MÖHLMAN
IFA
(Allemagne)

EELCO KUIJPERS
TNO (Pays-Bas)

L'évaluation de l'exposition des salariés aux aérosols est encadrée par le Code du travail, des normes françaises et des recommandations de l'INRS. Des méthodes spécifiques permettent de mesurer la concentration particulaire dans l'air pour la comparer à sa valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP), réglementaire ou indicative [1]. Ces méthodes utilisent des dispositifs de prélèvements individuels, qui collectent des fractions ciblées de l'aérosol : inhalable, thoracique ou alvéolaire. Les particules collectées sont ensuite analysées par des méthodes chimiques ou physiques selon l'agent recherché. Cette approche conventionnelle détermine la valeur moyenne d'exposition à l'agent chimique ciblé, mais elle ne caractérise pas les pics de concentrations générés par les procédés mis en œuvre sur les lieux de travail. Pour suivre l'évolution des concentrations en aérosol au cours du temps, des instruments de mesure en temps réel, comme des compteurs optiques de particules ou des photomètres, sont nécessaires. Ces instruments portables sont utilisés par les hygiénistes pour mieux comprendre les variations de concentrations et de tailles des aérosols et répondre à divers objectifs, comme l'étude de poste, l'aide à l'établissement de stratégies de prélèvement, l'amélioration des moyens de protection, ou encore la localisation des sources d'émission [2]. Malgré leur utilité, leur coût relativement élevé en limite l'utilisation systématique.

Depuis 2010, les « micro-capteurs » d'aérosols à « bas coût » (en anglais, *Low-Cost Sensors* ou *LCS*), dont les prix évoluent entre 10 et 500 € l'unité, ont émergé sur le marché. Ces capteurs, de quelques dizaines de grammes et de dimensions comprises entre 1cm et 10cm, permettent un déploiement facilité en comparaison des instruments portables, généralement plus lourds et plus encombrants. L'utilisation accrue de ces micro-capteurs peut également contribuer à limiter les opérations de maintenance des appareils portables habituellement utilisés. Pour ces raisons, ces micro-capteurs d'aérosols sont intéressants pour un usage dans le cadre de l'évaluation de la qualité de l'air au travail.

Cependant, des questions sur leurs performances freinent leur utilisation en santé au travail : précision, sensibilité, linéarité, temps de réponse, robustesse, vieillissement, encrassement, etc.

En 2019, l'INRS et plusieurs partenaires européens, avec le soutien du mandat européen M/461 « *Développement de méthodes pour la caractérisation des nanomatériaux et des expositions aux nanomatériaux* », ont lancé un projet de recherche prénormatif visant à évaluer les performances de ces capteurs vis-à-vis d'aérosols de nano-objets, leurs agglomérats et agrégats (NOAA)¹. Les résultats de ce projet permettent aujourd'hui de proposer des premières recommandations pour une utilisation dans les environnements de travail, qui mériteraient d'être complétées à l'avenir. Cet article présente le fonctionnement des capteurs à bas coût, les résultats principaux issus des



RÉSUMÉ

En 2019, l'INRS et plusieurs partenaires européens ont lancé un projet de recherche pré-normatif, visant à évaluer les performances des micro-capteurs d'aérosols à bas coût vis-à-vis d'aérosols de nano-objets, leurs agglomérats et agrégats (NOAA). Cet article présente le fonctionnement de ces dispositifs, les résultats des expérimentations

en laboratoire et en situation réelle, ainsi que leurs avantages et limites pour une utilisation sur les lieux de travail. Bien que pratiques et peu coûteux, ces micro-capteurs présentent des écarts significatifs par rapport aux instruments de référence pour la mesure des concentrations et celle de la distribution granulométrique des aérosols.

Les résultats montrent également que ces dispositifs permettent de détecter les changements de concentration en temps réel, ce qui peut être précieux pour la surveillance des procédés, la gestion de la sécurité des travailleurs ou la priorisation des actions de prévention.

EVALUATION OF LOW-COST MICROSENSORS TO CHARACTERISE AEROSOLS IN THE WORKPLACE

In 2019, INRS and several European partners launched a pre-normative research project aimed at evaluating the performance of low-cost aerosol microsensors regarding aerosols of nano-objects and their aggregates and agglomerates (NOAA). This article presents the functioning of these devices, the results of lab and field experiments, and the

advantages and limits of their use in the workplace. Although practical and inexpensive, these micro-captors present significant differences compared to the reference instruments for measuring aerosol concentrations and size distribution. The results also show that these devices can be used to detect

real-time concentration changes, that can be very useful for monitoring processes, managing worker's safety and prioritising prevention actions.



© Gaël Kerbaol/INRS/2024

expérimentations en laboratoire et en situation réelle, ainsi que leurs avantages et limites pour une utilisation sur les lieux de travail.

Conception et principe de fonctionnement Observations générales

L'étude présentée dans cet article traite uniquement des « capteurs » (Cf. Encadré), dont il existe des dizaines de références disponibles à l'achat.

La Figure 1 présente un panel non exhaustif de ces capteurs. Il est intéressant d'observer la variabilité des conceptions de ces capteurs en fonction des fabricants et des usages pour lesquels ils ont été initialement développés : industrie automobile, mesure/évaluation de la qualité de l'air environnemental, de la qualité de l'air intérieur, etc.

La nature des données produites varie en fonction des modèles de capteurs. Néanmoins, la plupart des capteurs produisent des valeurs de concentrations massiques (par exemple, en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ d'air) exprimées selon le référentiel environnemental, à savoir les fractions particulaires $\text{PM}_{2,5}$ et PM_{10}^2 [3]. Certains capteurs proposent aussi d'autres concentrations massiques suivant les fractions particulaires PM_1 ou PM_4 , des concentrations en nombre de particules (par exemple, en particules/ cm^3 d'air) selon les mêmes fractions de taille de particules, la répartition des particules selon différentes classes de taille, ou encore des mesures des conditions internes des capteurs en température, pression ou humidité relative de l'air.

Il est important de noter que les données de fractions de concentrations massiques renvoyées par les capteurs ($PM_{2,5}$ et PM_{10}) ne sont pas directement transposables dans le domaine de la qualité de l'air au travail. En effet, ce sont les fractions particulaires inhalable, thoracique et alvéolaire qui font référence pour l'évaluation de l'exposition des salariés [4-6]. Même si les fractions PM_{10} et PM_4 mesurées par certains capteurs se rapprochent respectivement des fractions thoracique et alvéolaire³, cela constitue une contrainte majeure à l'utilisation de ces capteurs dans un contexte d'évaluation de l'exposition professionnelle.

Principe de mesure

Tous les capteurs d'aérosols à bas coût identifiés utilisent le même principe de fonctionnement, basé sur la diffusion de la lumière engendrée par l'interaction entre des particules et un faisceau laser [7]. La Figure 2 schématise le principe général de fonctionnement des capteurs d'aérosols. Ce fonctionnement peut être décomposé en quatre étapes :

- l'émission de lumière à l'aide d'une diode laser, généralement à une longueur d'onde de 660 nm ;
- l'interaction lumière/matière, lorsque l'aérosol traverse la chambre de détection, les particules diffusent de la lumière dans toutes les directions ;
- la détection de la lumière diffusée à l'aide d'une ou plusieurs photodiodes positionnées à certains angles ;
- la conversion de la lumière diffusée en signaux électriques par ou les photodiodes. Le nombre et l'intensité des impulsions détectées sont ensuite analysés et convertis en concentrations en particules.

ENCADRÉ

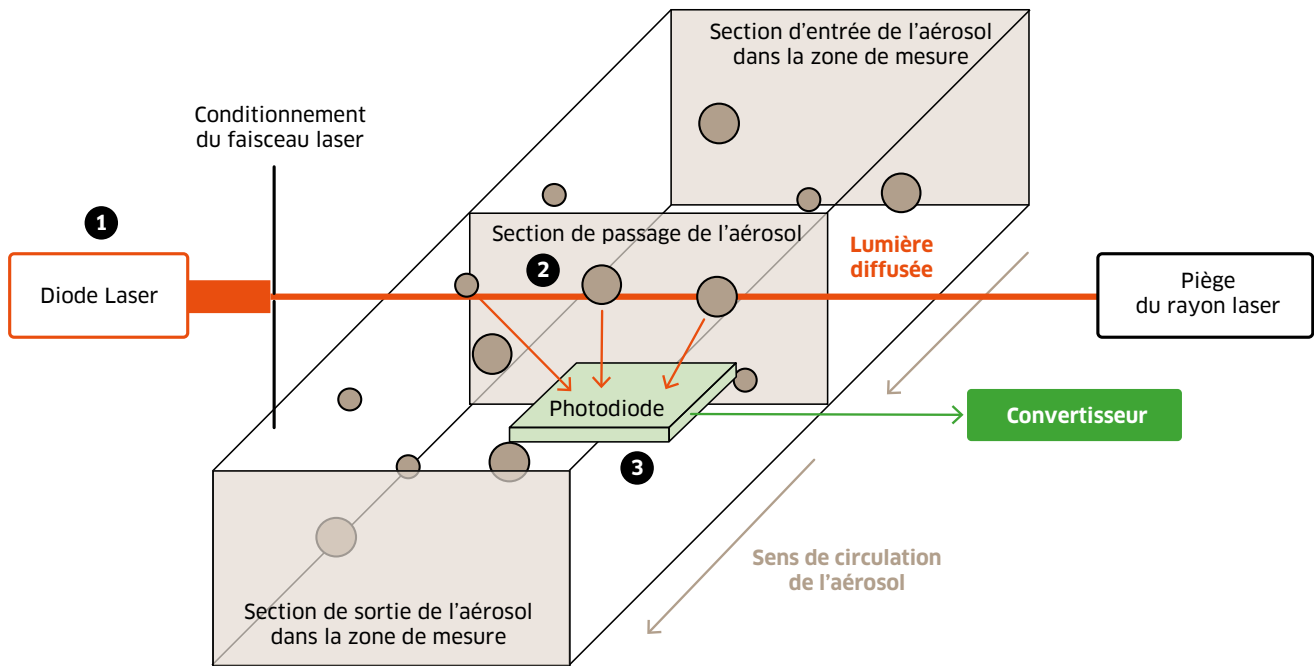
DÉFINITIONS ET APPELLATIONS

- **Élément sensible** : partie qui produit un signal au passage de l'aérosol. Il nécessite une alimentation électrique. Le signal brut doit être mesuré par des éléments externes. Non disponible isolément dans le commerce, il est optimisé par chaque fabricant selon l'usage prévu.
- **Capteur ou micro-capteur** : association de l'élément sensible avec une carte électronique pour l'alimentation, le recueil du signal brut et sa conversion en données numériques ou textuelles. C'est une « boîte noire », dont les algorithmes de calcul sont inconnus. Des connaissances en électronique sont nécessaires pour l'alimenter et communiquer avec lui (ordinateur, carte Arduino, etc.).
- **Moniteur ou système capteur** : contient le capteur, permet son alimentation électrique, recueille et transfère les données vers un enregistreur local (carte mémoire) ou un serveur pour des services de compilation de données, d'archivage, etc. C'est un outil « clefs en main » utilisable par tout utilisateur souhaitant connaître les concentrations d'aérosols dans l'air. L'intégration du capteur dans un moniteur augmente significativement le coût de 250 € à quelques milliers d'euros. Certains moniteurs intègrent aussi d'autres capteurs, notamment de gaz, pour une mesure multi-polluants.

Outre ces éléments de fonctionnement connus, les fabricants ne donnent aucun détail sur les algorithmes de conversion embarqués dans les capteurs, probablement pour des raisons de protection de leur propriété intellectuelle. Il en est de même en ce qui concerne la méthode de calibrage employée par le fabricant, pour laquelle on ne connaît que très rarement la nature de l'aérosol utilisé.



← FIGURE 1
Exemples
de capteurs
d'aérosols à bas
coût disponibles
sur le marché.



↑ FIGURE 2
Schéma de principe du fonctionnement des capteurs d'aérosols à bas coût.

Évaluation des performances

Projet de recherche prénormative

L'INRS s'est engagé en 2019 dans un consortium avec cinq partenaires européens dans le but de réaliser des travaux expérimentaux d'évaluation des performances des micro-capteurs d'aérosols vis-à-vis de différents aérosols produits en voie sèche à partir de poudres de NOAA.

Outre l'INRS, ce consortium se compose de l'UTA, du BAuA, de l'IFA, du TNO et du LNE⁴. Ces travaux ont contribué à élaborer le document normatif XPCEN/TS 18086 (publié le 13 novembre 2024⁵), de type « spécification technique » et faisant état des avantages et des contraintes à l'utilisation de ces micro-capteurs d'aérosols pour évaluer la qualité de l'air des lieux de travail. Des résultats issus de ces travaux, partiellement financés par la Commission européenne dans le cadre du mandat M/461, sont présentés ici.

Performances intrinsèques des capteurs

→ Matériel et méthodes

Six types de micro-capteurs d'aérosols ont été sélectionnés pour cette étude expérimentale, sur la base d'une revue bibliographique ciblée sur différents critères (fréquence d'utilisation, caractéristiques techniques, compatibilité avec un déploiement sur les lieux de travail, coût, encombrement). La Figure 3 présente les principales caractéristiques de ces six capteurs : données mesurées en fonction des canaux de comptage et des fractions massiques, prix.

Selon les fabricants, le diamètre minimal détecté avec une efficacité de 50 % (d_{50}) est égal à 0,3 μm pour tous les capteurs. À l'exception du capteur

Next PM CR destiné aux mesures en salles blanches, tous les capteurs sélectionnés produisent des valeurs pour les fractions massiques $\text{PM}_{2,5}$ et PM_{10} . De manière optionnelle, certains capteurs peuvent aussi produire des valeurs pour les fractions massiques PM_1 et PM_4 ou des concentrations en nombre de particules associées à différentes classes de tailles. L'hétérogénéité des données produites par les différents types de capteurs complique la comparaison de leurs performances.

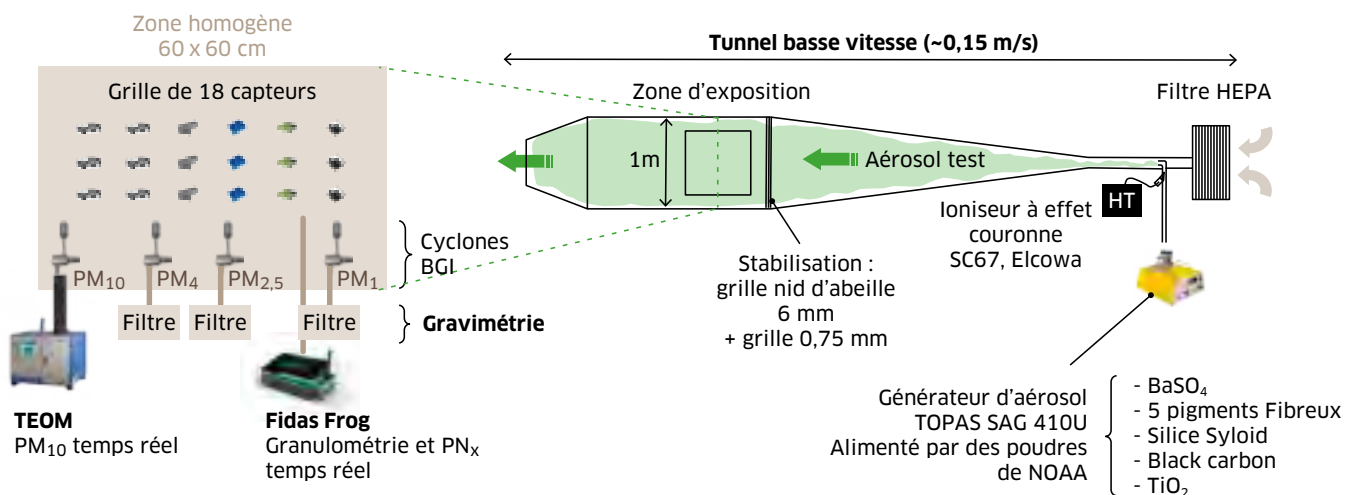
Trois exemplaires de chaque type de capteur ont été placés dans la zone d'exposition homogénéisée d'un tunnel aéraulique à basse vitesse et exposés simultanément à des aérosols d'essais [8]. Neuf poudres de NOAA ont été sélectionnées avec des caractéristiques optiques et physiques variées. Un générateur d'aérosols en voie sèche (TOPAS SAG 410U) a été utilisé pour mettre en suspension chacune des poudres dans le tunnel après une neutralisation des charges électriques des particules par un ioniseur à effet couronne (SC67 Elcowa) ; trois niveaux de concentration massique (100, 500 et 1 000 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) ont été ciblés.

La Figure 4 est une représentation schématique du banc d'essais et de la méthodologie employés pour mener ces travaux. Les concentrations mesurées par les capteurs ont été comparées avec des valeurs de concentration de référence mesurées :

- par un instrument de mesure en temps réel (microbalance à oscillation TEOM) équipé d'un sélecteur de la fraction PM_{10} ;
- par prélèvement sur cyclones [9] et analyse par gravimétrie sur une microbalance de précision des

	ALPHASENSE OPC-R1 	NOVA FITNESS SDS011 	PLANTOWER PMS 7003 	SENSIRION SPS30 	GRUPE TERA NEXT PM 	GRUPE TERA NEXT PM CR 
Concentration en nombre	16 canaux : 0,3 – 12,4 µm	/	6 fractions < 0,3; < 0,5; < 1,0; < 2,5; < 5,0; < 10 µm	5 fractions: < 0,5; < 1,0; < 2,5; < 4,0; < 10 µm	3 fractions: < 1,0; < 2,5; < 10 µm	5 fractions: < 0,5; < 1,0; < 2,5; < 4,0; < 10 µm
Concentration en masse	3 fractions: PM ₁ , PM _{2,5} , PM ₁₀	2 fractions: PM _{2,5} , PM ₁₀	3 fractions: PM ₁ , PM _{2,5} , PM ₁₀	4 fractions: PM ₁ , PM _{2,5} , PM ₄ , PM ₁₀	3 fractions: PM ₁ , PM _{2,5} , PM ₁₀	/
Prix	≈ 280 €	≈ 30 €	≈ 25 €	≈ 30 €	≈ 65 €	≈ 150 €

↑ FIGURE 3 Caractéristiques de chacun des six types de micro-capteurs d'aérosols sélectionnés.



↑ FIGURE 4 Représentation schématique du banc d'essais et de la méthodologie employée pour comparer les concentrations mesurées par les micro-capteurs d'aérosols à des mesures de référence pour neuf aérosols de poudres de NOAA.

fractions PM₁, PM_{2,5}, et PM₄. Les concentrations en nombre de particules par classe de taille de particules ont été comparées avec les concentrations mesurées par un compteur optique de particules Fidas Frog (Palas).

→ Principaux résultats

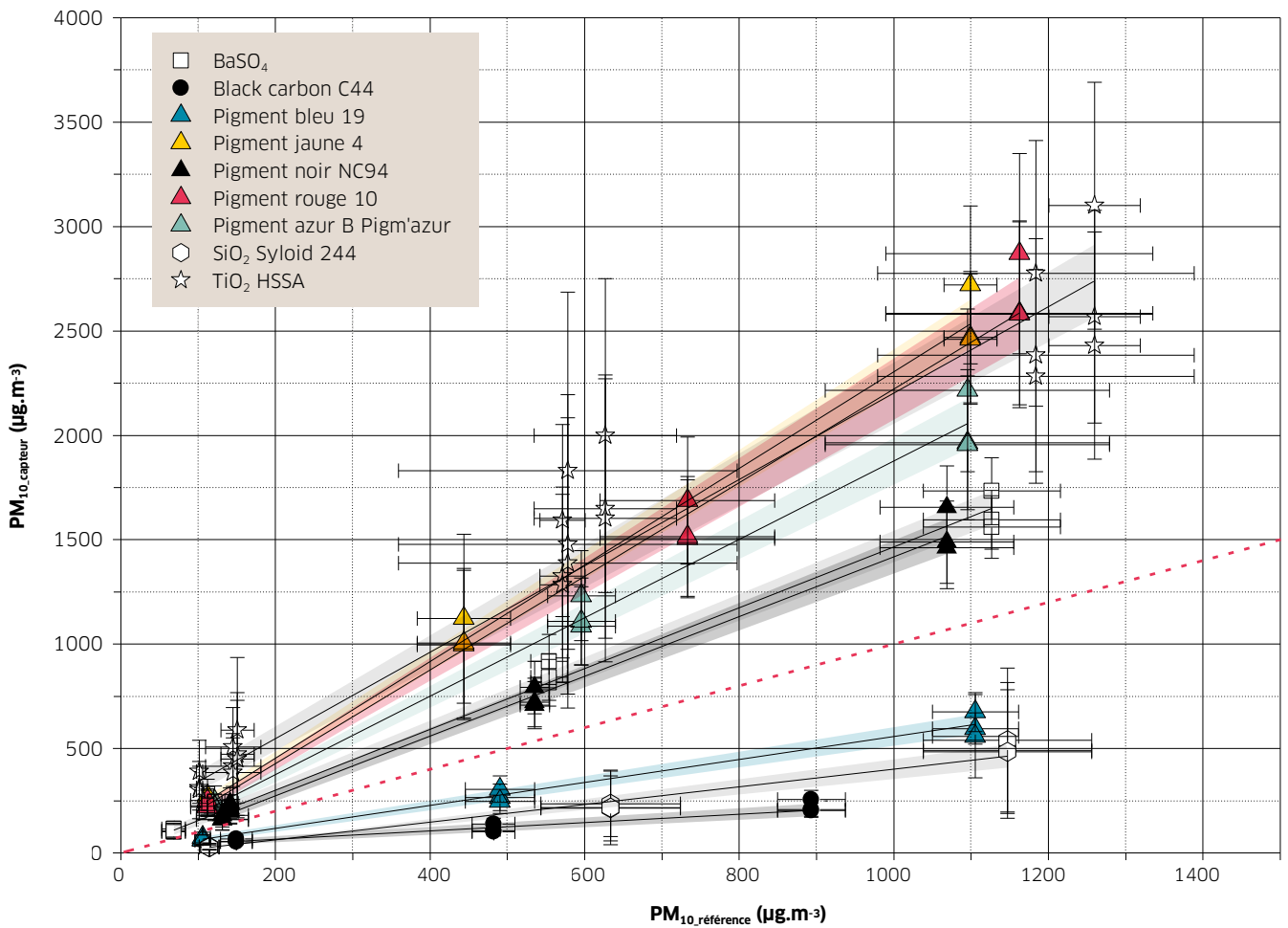
Les valeurs de concentrations (massiques ou numériques) déterminées par les capteurs étudiés ont été comparées à celles issues des méthodes de référence à l'aide de diagrammes de parité tels que celui présenté sur la Figure 5 pour le capteur Alphasense OPC-R1. Ce graphique fait correspondre la valeur moyenne de concentration massique PM₁₀ mesurée par un capteur avec la valeur moyenne de concentration massique en PM₁₀ mesurée par l'instrument de référence. Chaque nature de poudre de NOAA générée est représentée avec une combinaison de

symboles et de couleurs distinctes. Les résultats de la Figure 5 appellent plusieurs constats :

- il existe une relation linéaire entre les concentrations en PM₁₀ renvoyées par les capteurs et celles issues de la mesure de référence, avec des coefficients de régression satisfaisants, supérieurs à 0,95 ;
- les pentes des régressions linéaires varient considérablement en fonction de la nature de l'aérosol de NOAA ;
- les pentes sont systématiquement éloignées de la droite de parité, symbolisée en pointillés rouges ;
- pour chaque expérimentation, les valeurs en PM₁₀ mesurées par les trois capteurs de même type présentent une faible dispersion.

Ces observations restent valables, quels que soient le type de capteur considéré, la grandeur mesurée (PM₁, PM_{2,5}, PM₄, PM₁₀, concentrations en nombre de





↑ **FIGURE 5**
 Comparaison des valeurs moyennes de concentration massique en PM_{10} déterminées par trois spécimens d'un même type de capteur et par l'instrument de référence, pour neuf poudres de NOAA générées à trois niveaux de concentration différents. Les barres d'erreurs (intervalles horizontaux et verticaux) symbolisent les variations de concentrations observées durant la période de mesure et égales à \pm un écart-type.

particules) et la nature de l'aérosol d'essai. Il existe par ailleurs une forte hétérogénéité des concentrations mesurées entre les différents modèles de capteurs étudiés (pouvant varier d'un facteur 0,02 à 4 par rapport à la mesure de référence).

Certains capteurs permettent également de donner des indications sur la distribution granulométrique de l'aérosol [10]. Ces données ont été comparées à la granulométrie mesurée par l'instrument de référence (compteur optique de particules). Les capteurs possédant des classes de tailles de particules différentes de l'instrument de référence, les fréquences cumulées des granulométries ont été calculées, puis les écarts δf (%) entre ces fréquences, déterminés. La Figure 6 présente, pour quatre types de capteurs différents, l'évolution de l'écart δf en fonction du diamètre optique supérieur de chaque classe de taille de particule et pour chaque nature de poudre de NOAA générée. Idéalement, lorsqu'il n'y a aucune différence entre la granulométrie relative mesurée par le capteur et celle déterminée par l'appareil de référence, δf est égal à 0 %.

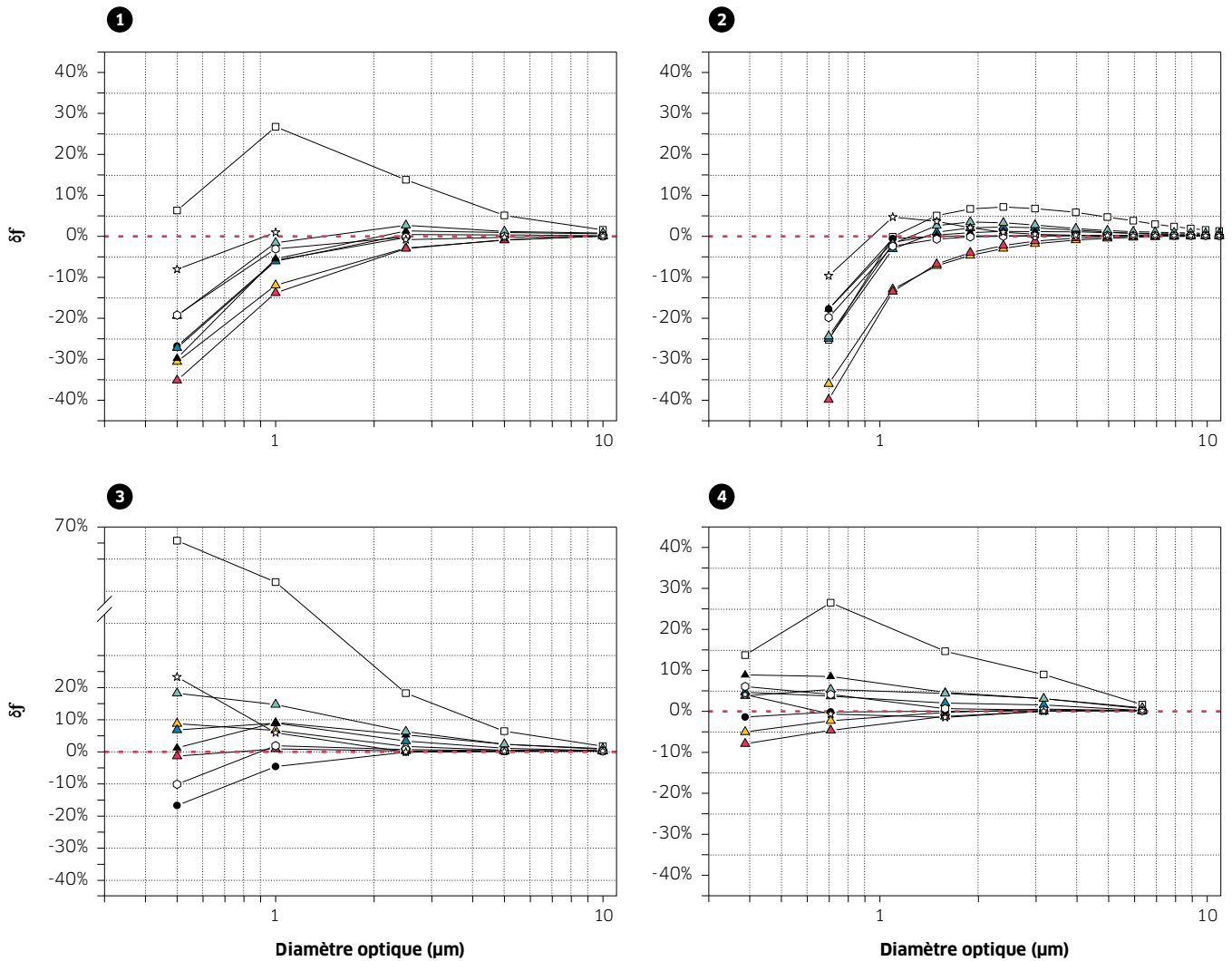
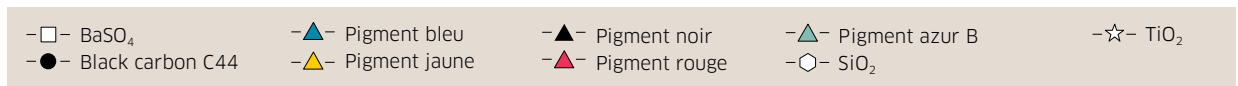
La Figure 6 montre que, pour les particules dont le diamètre optique est inférieur ou égal à $1 \mu m$, l'écart δf est généralement important (supérieur

à $\pm 10 \%$) et peut atteindre +70 % pour un cas particulier. Au-delà d'un diamètre optique de $1 \mu m$, l'écart δf est alors inférieur à $\pm 10 \%$, ce qui traduit une concordance entre les valeurs mesurées par les capteurs et l'appareil de référence.

Ces résultats démontrent que les micro-capteurs étudiés semblent majoritairement inadaptés pour correctement caractériser les particules de tailles submicroniques et pour rendre compte de manière fiable de la distribution granulométrique d'un aérosol de NOAA.

Enfin, le temps de réponse des capteurs a été évalué dans le cadre d'essais expérimentaux menés par l'IUTA. Le Tableau présente les temps de réponse (en secondes) de quatre types de capteurs et d'un instrument de référence de laboratoire (WELAS, Palas). Les valeurs rapportées représentent le temps mis par l'instrument pour passer de 10 % à 90 % de la concentration finale (t_{10-90} , croissance) et inversement (t_{90-10} , décroissance). Les résultats du Tableau permettent de dresser les constats suivants :

- tous les capteurs ont des temps de réponse significativement plus importants que l'instrument de référence. L'analyse des données tend à démontrer que les capteurs sont équipés d'algorithmes



↑ FIGURE 6 Écarts spectraux entre les distributions granulométriques cumulées mesurées par quatre types de capteurs et par l'instrument de référence.

de lissage des variations afin de réduire le bruit des mesures, mais ces algorithmes contribuent à augmenter leur temps de réponse ;

- les temps de réponse sont équivalents en croissance ou en décroissance de concentration, à l'exception du capteur de type 3 dont le temps de réponse en phase de décroissance est trois fois plus long qu'en

phase de croissance. L'algorithme interne est probablement à l'origine de ce comportement ;

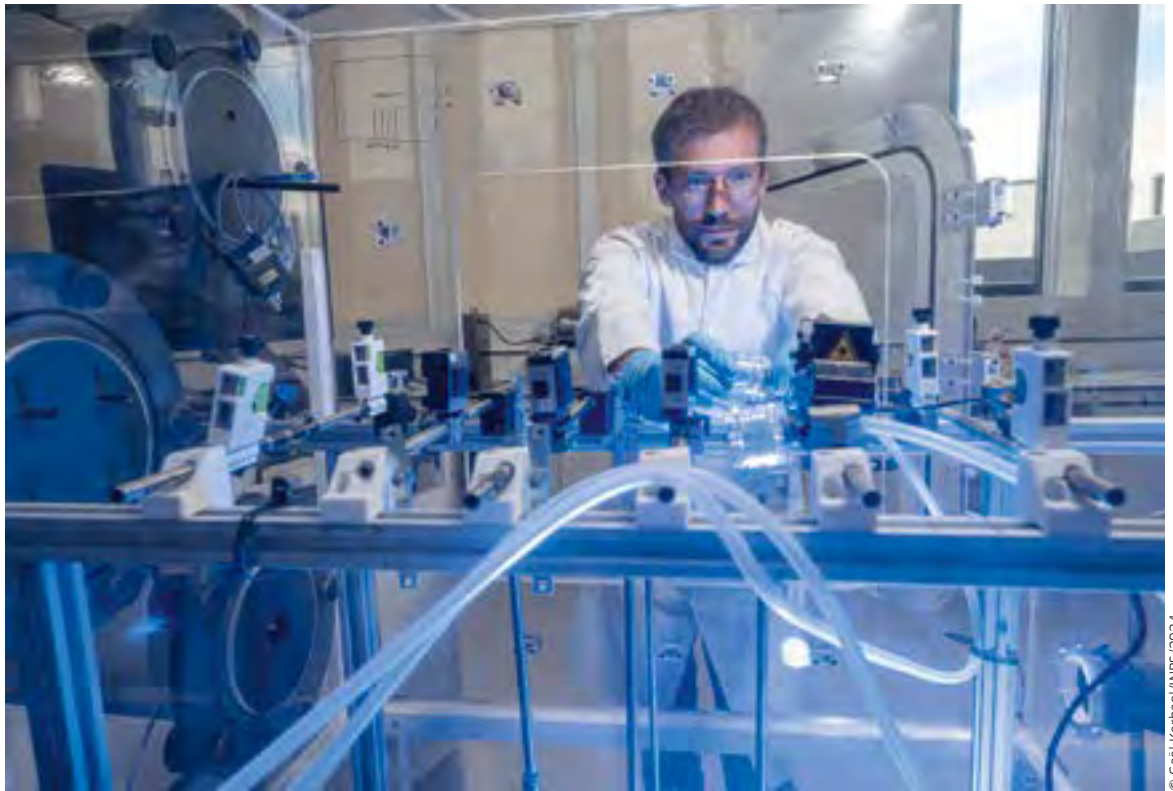
- globalement, les temps de réponse sont inférieurs à dix secondes, ce qui *a priori* permet néanmoins aux capteurs étudiés de détecter et rendre compte de la majorité des pics de concentration en particules qui peuvent survenir dans les situations de travail.

✓ **TABLEAU**
 Temps de réponse (secondes) d'un instrument de référence et de quatre types de capteurs soumis à des variations soudaines de concentrations montantes (de 10 % à 90 % de la concentration finale) et descendantes (de 90 % à 10 % de la concentration finale).
 Références de types de capteurs :
 1 : Next PM ;
 2 : SPS30 ;
 3 : SDS011 ;
 4 : OPC-R1.

INSTRUMENTS	WELAS (RÉFÉRENCE)	CAPTEUR DE TYPE 1	CAPTEUR DE TYPE 2	CAPTEUR DE TYPE 3	CAPTEUR DE TYPE 4
t ₁₀₋₉₀ (s) – croissance	0,78	8,1	4,5	8,7	1,5
t ₉₀₋₁₀ (s) – décroissance	0,69	8,2	5,0	24,6	1,5



Mesures des performances de micro-capteurs d'aérosols en laboratoire à l'INRS.



© Gaël Kerbaol/INRS/2024

Discussion et bilan

Les expérimentations menées dans le cadre de ces travaux démontrent les points forts et les limites d'utilisation des capteurs d'aérosols à bas coût dans les atmosphères professionnelles. Il est important de noter que ces capteurs sont principalement conçus pour mesurer les concentrations en particules dans l'air environnemental, et non dans des atmosphères professionnelles. En effet, les capteurs possèdent des algorithmes qui ont été optimisés pour produire des valeurs de concentrations comparables aux instruments de référence mesurant les aérosols environnementaux. Or, les aérosols qui peuvent être émis par diverses activités professionnelles présentent des propriétés souvent très différentes de celles des aérosols environnementaux typiques telles que la densité des particules, leur morphologie, leur distribution granulométrique, et leur indice de réfraction. Les résultats présentés dans cet article montrent que les concentrations fournies par les micro-capteurs peuvent être erronées en valeur absolue et présenter des biais, variables en fonction du couple capteur /aérosol.

De plus, les valeurs de concentration issues de ces capteurs sont exprimées en fractions particulaires PM_x qui ne font pas référence dans le domaine de l'hygiène et la santé au travail. Pour ces raisons, il n'est actuellement pas possible d'utiliser ces capteurs d'aérosols pour l'évaluation réglementaire de l'exposition des travailleurs.

Cependant, les expérimentations réalisées ont montré que ces capteurs pouvaient être utiles à des fins de prévention des risques en milieu professionnel. En effet, pour un aérosol donné, des rapports stables sont observés entre les valeurs des concentrations fournies par des capteurs et celles issues des méthodes et instruments de référence dans les conditions testées. Cela indique qu'il est possible de déterminer le biais de mesure et de corriger les valeurs fournies par ces capteurs pour un aérosol donné. De plus, les temps de réponse de ces capteurs paraissent adaptés pour rendre compte de la dynamique de la concentration des aérosols généralement observée sur les postes de travail.

Conclusion et perspectives

Cette étude a mis en évidence certaines performances et limites des capteurs d'aérosols à bas coût dans un contexte de prévention des risques professionnels. Bien que pratiques et peu coûteux, ils présentent des écarts significatifs par rapport aux instruments de référence pour la mesure des concentrations et celle de la distribution granulométrique des aérosols. Ces écarts dépendent principalement de la nature des particules, ainsi que des caractéristiques propres à chaque type de capteur. Les résultats montrent également que ces dispositifs permettent de détecter les changements de concentration en temps réel, ce qui peut être précieux pour la surveillance des procédés, la gestion de la sécurité des travailleurs ou la priorisation des actions de prévention.

Pour tirer pleinement parti des capteurs d'aérosols à bas coût en contexte de prévention des risques professionnels, plusieurs perspectives de recherche et développement peuvent être envisagées. Tout d'abord, il est essentiel que les développeurs et fabricants de capteurs puissent intégrer dans leurs algorithmes la détermination de concentrations massiques représentatives d'une ou plusieurs fractions particulaires conventionnelles liées à la santé (inhalable, thoracique et/ou alvéolaire). Cette fonctionnalité faciliterait l'intégration de ces capteurs dans les démarches de prévention des expositions et de contrôle des procédés sur les lieux de travail. Il serait également pertinent de poursuivre les efforts pour améliorer les méthodes de calibrage de ces capteurs afin de les adapter spécifiquement aux environnements de travail. L'intégration de techniques avancées de traitement des données, telles que l'apprentissage automatique, pourrait améliorer la corrélation entre les mesures des capteurs et les valeurs de référence. Parallèlement, des études complémentaires de terrain seraient nécessaires pour évaluer la robustesse des capteurs dans divers environnements professionnels, en tenant compte de la complexité des compositions et des propriétés des aérosols présents aux postes de travail. Une meilleure compréhension des biais associés aux mesures des capteurs permettrait ainsi d'optimiser leur utilisation dans un contexte professionnel. Enfin, l'utilisation de ces capteurs en réseau dans les espaces de travail constitue un sujet d'intérêt grandissant, car les avantages en matière de prévention sont nombreux : suivi en temps réel des émissions dans un espace de travail, localisation des sources, estimation des expositions individuelles, diagnostics d'exposition en fonction de la tâche, etc. ●

1. À propos des NOAA, voir notamment : Dossier – Nanomatériaux. Hygiène & sécurité du travail, 2019, 256, DO 26, pp. 26-68. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=DO%2026>

2. Les conventions en environnement sont nommées PM_x pour Particulate Matter (matière particulaire en suspension dans l'air) et sont définies par la norme NF EN 12341. Elles correspondent aux particules traversant une tête de prélèvement sélective de fraction granulométrique avec une efficacité de 50 % pour un diamètre aérodynamique de x µm. Les seules actuellement réglementées sont les PM₁₀ et les PM_{2,5}.

3. La fraction thoracique d'un aérosol correspond à la probabilité moyenne d'inhalation et de pénétration de particules dans les voies respiratoires au-delà du larynx pour une personne adulte. Voir : INRS – MétroPol. Prélèvement des aérosols – Généralités [6]. Les conventions en hygiène du travail sont définies en relation avec la probabilité de pénétration des particules en suspension dans l'air dans les voies respiratoires, par les normes NF ISO 7708 et NF EN 481. Elles proviennent de données expérimentales moyennées pour une respiration par la bouche et/ou par le nez. Les trois conventions couramment utilisées sont :

- la convention inhalable visant à échantillonner la fraction des particules en suspension autour du nez et de la bouche

et qui est inhalée : il s'agit de la fraction dite inhalable ;

- la convention thoracique visant à échantillonner la fraction des particules inhalées qui pénètre au-delà du larynx, appelée fraction thoracique ;

- la convention alvéolaire visant à échantillonner la fraction des particules inhalées qui pénètre dans les voies respiratoires non ciliées. Cette fraction est appelée fraction alvéolaire.

4. IUTA : Institut für Umwelt & Energie, Technik & Analytik, Institut pour l'environnement et l'énergie, la technologie et l'analyse, Allemagne.

BAuA : Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Institut fédéral pour la sécurité et la santé au travail, Allemagne.

IFA : Institut für Arbeitsschutz der deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Institut pour la sécurité et la santé au travail de l'Assurance accidents du travail, Allemagne.

TNO : Nederlandse organisatie voor toegepaste natuurwetenschappelijk onderzoek, Organisation néerlandaise de recherche appliquée, Pays-Bas.

LNE : Laboratoire national de métrologie et d'essais, France.

5. Document XP CEN/TS 18086:2024 – Exposition sur les lieux de travail – Capteurs de matière particulaire à lecture directe et à faible coût pour le mesurage des NOAA en suspension dans l'air. Lignes directrices pour l'application. Afnor.

BIBLIOGRAPHIE

[1] INRS – Base de données – Valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) : Substances chimiques.

Accessible sur : <https://www.inrs.fr/publications/bdd/vlep.html>

[2] BAU S., WITSCHGER O., GALLAND B., MARTIN P. – Métrologie en temps réel de substances chimiques au poste de travail : intérêts et limites. *Hygiène & sécurité du travail*, 2015, 239, DC 9, pp. 6-10.

Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=DC%209>

[3] NORME NF EN 12341 – Air ambiant. Méthode normalisée de mesurage gravimétrique pour la détermination de la concentration massique MP₁₀ ou MP_{2,5} de matière particulaire en suspension. Afnor, 2023.

[4] NORME NF EN 481 – Atmosphères des lieux de travail. Définition des fractions de taille pour le mesurage des particules en suspension dans l'air. Afnor, 1993.

[5] SIMON X. ET AL. – Analyse des fractions granulométriques utilisées pour l'évaluation des expositions par inhalation d'aérosols. Pertinence et comparaison des fractions environnementales – PM₁₀, PM_{2,5} – et professionnelles – inhalable, thoracique, alvéolaire. Anses, 2023, Rapport.

Accessible sur : <https://anses.hal.science/anses-04170323>

[6] INRS – Guide méthodologique : prélèvement des aérosols. Généralités.

2015. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-prelevement-generalite-aerosol/metropol-prelevement-generalite-aerosol.pdf>

[7] QUIMETTE J. ET AL. – Fundamentals of low-cost aerosol sensor design and operation. *Aerosol Sci. Technol.*, 2024, 58, 1, pp. 1-15. Accessible sur : doi:10.1080/02786826.2023.2285935

[8] FABRIÈS J.F., CARTON B. – Realization of a dust tunnel. Response of some air sampling instruments used in industrial hygiene. *Stud. Environ. Sci.*, 1980, pp. 279-283. Accessible sur : doi:S0166-1116(08)71668-6

[9] INRS – Guide méthodologique. Prélèvement des aérosols par cyclone. 2019. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-prelevement-cyclone/metropol-prelevement-cyclone.pdf>

[10] MATERA V., GAUDEL N., BAU S. – Intérêts et optimisation des prélèvements d'aérosols par impacteurs en cascade. *Hygiène & sécurité du travail*, 2022, 269, NT 104, pp. 34-41.

Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%20104>

Étude de cas

TRANSFORMATION DES PRODUITS CÉRÉALIERS DANS LES MEUNERIES : PRÉVENTION DES RISQUES D'EXPLOSION

AGNÈS JANÈS

Centre de mesures physiques Cramif / Carsat des Hauts-de-France

OLIVIER DUFAUD

Université de Lorraine / CNRS/LRGP

→ **LA PROBLÉMATIQUE :** Dans le cadre du programme national Risques chimiques Pros déployé durant la période 2019-2023 sous l'égide de la Caisse nationale d'assurance maladie (Cnam), le Laboratoire de biocontaminants et le Centre de mesures et de contrôles physiques de la Caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France (Cramif) ont conduit une étude destinée à caractériser et réduire les risques associés aux poussières organiques dans les meuneries. Cet article fait le point sur les risques d'explosion (Atex) dans ce secteur d'activité, ainsi que sur les principales mesures de prévention à mettre en œuvre.

→ LA RÉPONSE DE LA CRAMIF

Les meuneries, par leurs activités spécifiques, peuvent générer des atmosphères explosives (Atex) dans les silos, broyeurs, équipements de manutention, dépoussiéreurs..., mais aussi dans les locaux de travail, en raison de la présence de fines poussières combustibles. Dans ces situations, si une source d'inflammation d'énergie suffisante est présente, une explosion peut se produire, comme rappelé dans l'Encadré. Les salariés exposés aux effets thermiques, de surpression ou aux projections engendrés par cette explosion risquent d'être très sévèrement blessés. Le Focus (Cf. p. 79) synthétise certaines caractéristiques d'inflammabilité et d'explosivité de la farine de blé, principal produit présent sous forme de fines poussières dans le secteur de la meunerie.

Le service Prévention des risques professionnels de la Cramif a conduit récemment une étude relative aux risques liés à la formation d'Atex (poussières/air) dans le secteur de la meunerie, dans le cadre de la réalisation d'une campagne de mesures destinée à caractériser les expositions professionnelles aux poussières organiques.

Ces travaux visaient à évaluer le niveau de risque de formation et d'inflammation d'Atex dans ce sec-

teur d'activité, identifier les situations de travail dangereuses et formuler des recommandations de prévention permettant de réduire les risques pour les salariés travaillant dans ces environnements.

Organisation de l'étude et méthode

Cette étude a été menée entre 2019 et 2022, en associant le Laboratoire des biocontaminants (LBC) et le Centre de mesures et de contrôles physiques (CMP) du service Prévention des risques professionnels de la Cramif.

Les six établissements qui ont fait l'objet de visites dans le cadre de l'action concernant l'évaluation et la prévention des risques associés aux Atex font partie de ceux sélectionnés pour la campagne de mesure des expositions des salariés aux poussières organiques sur la période 2019-2022. Il s'agit de meuneries représentatives de ce secteur d'activité, établies sur le territoire francilien, de tailles, de cultures de prévention et d'organisations du travail très variables.

Chacun des établissements a fait l'objet d'une visite du CMP pour vérifier l'efficacité des dispositifs de ventilation et étudier les risques liés aux atmosphères explosives. Fréquemment, cette visite était commune à la pré-visite ou aux prélèvements réalisés par le LBC dans le cadre des travaux menés en parallèle¹.

En complément, la base de données d'accidents Aria, gérée par le ministère chargé de l'Environnement [1], a fait l'objet d'une exploitation. Cette base de données répertorie les incidents, accidents ou presque accidents qui ont porté, ou auraient pu porter atteinte à la santé ou la sécurité publiques ou à l'environnement, et recense actuellement plus de 54 000 événements survenus en France ou à l'étranger. Cette base n'est pas exhaustive, mais constitue un outil pertinent pour capitaliser le retour d'expérience pour la prévention des risques.

ENCADRÉ EXPLOSIONS D'ATEX POUSSIÈRES / AIR

Une atmosphère explosive (Atex) est définie comme « un mélange avec l'air, dans les conditions atmosphériques, de substances inflammables sous forme de gaz, vapeurs, brouillards ou poussières tel qu'après inflammation, la combustion se propage au mélange non brûlé* ».

La mise en œuvre de solides combustibles sous forme divisée peut entraîner la formation d'Atex dans certaines conditions, décrites sur la Figure E1.

La prévention des explosions d'Atex sur les lieux de travail fait l'objet d'une réglementation spécifique. Celle-ci est issue de la directive Atex 1999/92/CE [10] relative à la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs susceptibles d'être exposés aux risques d'Atex, transposée dans le Code du travail**. Ces dispositions rendent notamment obligatoires :

- L'évaluation des risques liés aux Atex, comprenant notamment le classement des zones à risque d'explosion. Les emplacements dangereux doivent être classés en zones, en fonction de la fréquence et de la durée de la présence d'une atmosphère explosive, selon les définitions suivantes :
 - **zone 20** : emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de poussières combustibles est présente

dans l'air en permanence, pendant de longues périodes ou fréquemment ;

- **zone 21** : emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de poussières combustibles est susceptible de se présenter occasionnellement en fonctionnement normal ;
- **zone 22** : emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de poussières combustibles n'est pas susceptible de se présenter en fonctionnement normal ou n'est que de courte durée, s'il advient qu'elle se présente néanmoins.

Les couches, dépôts et tas de poussières combustibles peuvent être remis en suspension et doivent être traités comme toute autre source

susceptible de former une atmosphère explosive.

Les accès aux emplacements dangereux identifiés doivent être signalés par le panneau reproduit sur la Figure E2.

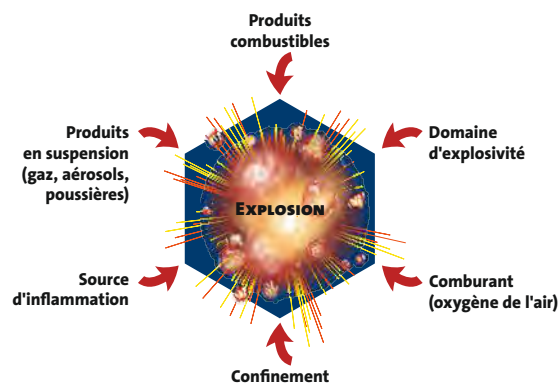
- L'élaboration d'un document relatif à la protection contre les explosions, devant être mis à jour périodiquement.
- L'installation et la mise en œuvre d'appareils (électriques et non électriques) de catégorie adéquate et de systèmes de protection, dans les zones à risque d'explosion prédéfinies.

*Article R. 4227-43 du Code du travail.

**Articles R. 4227-42 à R. 4227-54 du Code du travail.

Accessibles sur :

<http://www.legifrance.gouv.fr>



↑ FIGURE E1 L'hexagone de l'explosion (© INRS).



↑ FIGURE E2 Panneau de signalisation des emplacements dans lesquels une Atex est susceptible de se présenter.

Les accidents ou incidents sélectionnés pour cette analyse statistique sont les incendies ou explosions survenus dans les établissements codés dans la nomenclature d'activités française (NAF) C10.61, C10.62 et G46.21, correspondant aux activités industrielles listées dans le Tableau 1.

Ces activités sont, parmi les codes NAF initialement ciblés par la campagne, les plus spécifi-

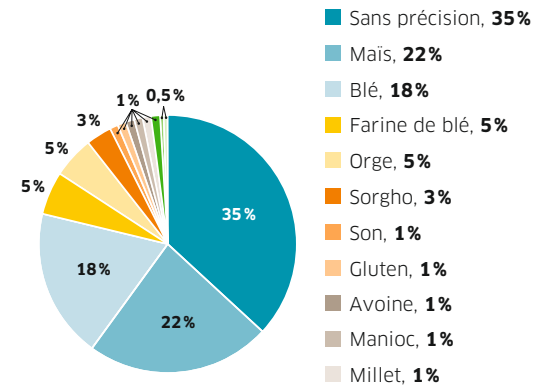
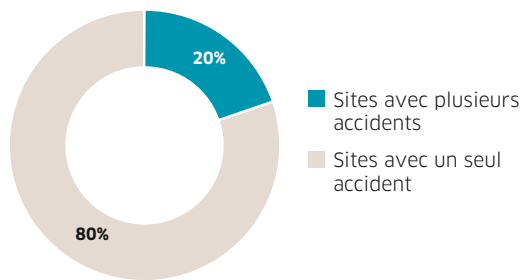
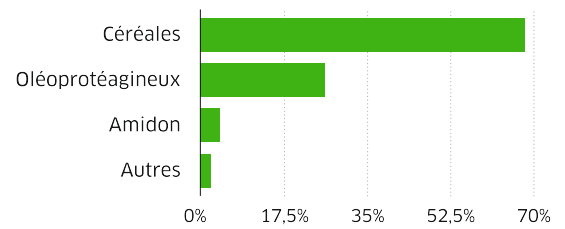
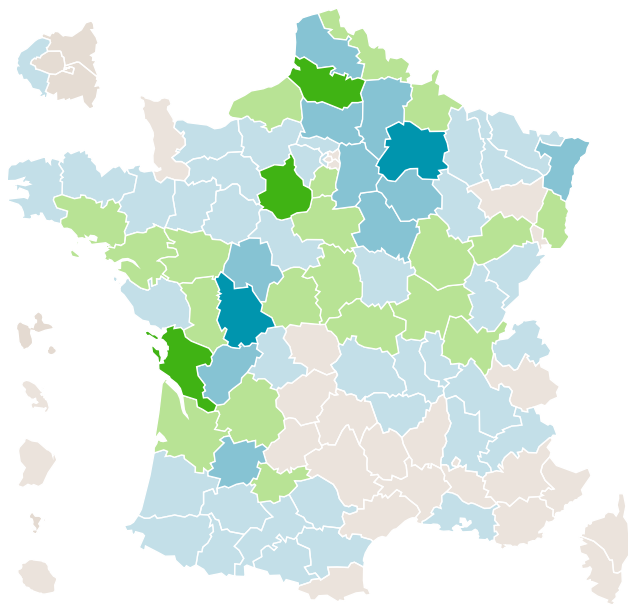
quement concernés par le risque de formation et d'inflammation d'Atex poussières/air.

Seuls les événements spécifiquement liés à une réaction avec l'air de la poudre ou poussière combustible (grains, farine...) ont été pris en compte. Les autres accidents ou incidents, tels que les incendies électriques, incendies de moteur, fuites de gaz ou encore, émission de poussières dans

CODES	C10.61	C10.62	G46.21
ACTIVITÉS	Travail des grains	Fabrication de produits amyliacés (à base d'amidon)	Commerce de gros de céréales, de tabac non manufacturé, de semences et d'aliments pour le bétail

← TABLEAU 1 Correspondance entre les codes NAF et les activités.





↑ FIGURE 1 Répartition géographique des établissements concernés par les 535 accidents recensés en France métropolitaine et proportion d'établissements concernés par un ou plusieurs événements.

l'atmosphère, ou effondrements de silo, n'ont pas été retenus. Ceci conduit au recensement de 535 incendies ou explosions, entre 1975 et 2023².

Exploitation de la base de données Aria

Établissements concernés

Parmi ces 535 accidents, 535 ont été recensés en France métropolitaine. La Figure 1 permet de visualiser les départements métropolitains dans lesquels les accidents se produisent en plus grand nombre. Les installations concernées sont principalement situées dans les zones agricoles, et un établissement sur cinq est concerné par plusieurs accidents.

Ceci souligne l'absence de mesures de prévention suffisantes pour ce risque, malgré la survenue d'accidents.

Produits impliqués

La Figure 2 indique la nature et la fréquence des produits impliqués dans les accidents recensés. Une grande variété apparaît car, de façon générale, les produits issus des cultures agricoles sont combustibles. Les céréales et les oléoprotéagineux

↑ FIGURE 2 Nature et fréquence des produits impliqués dans les 535 accidents enregistrés en France métropolitaine, et répartition des accidents par produit pour les céréales et les oléoprotéagineux.

sont impliqués dans 92 % des accidents. En ce qui concerne les céréales, lorsque la nature du produit est précisée, le maïs, le blé et l'orge sont les produits le plus fréquemment impliqués et représentent au total la moitié des cas. Les chiffres clés de l'année 2023, rapportés par l'association interprofessionnelle Intercéréales, représentative des acteurs économiques de la filière, indiquent que, sur 60,5 millions de tonnes (Mt) de céréales (hors riz, maïs doux et maïs fourrage) produites en France, la répartition était la suivante : 56 % de blé tendre, 19 % d'orge, 18 % de maïs, 3 % de triticale, 2 % de blé dur³. Les céréales le plus souvent impliquées dans les accidents correspondent à celles produites en plus grandes quantités en France.

FOCUS SUR... Les caractéristiques d'inflammabilité et d'explosivité de la farine de blé

Les principales caractéristiques d'inflammabilité et d'explosivité de la farine de blé sont précisées dans des sources documentaires variées, telles que la brochure ED 944 [6], la base de données Caratex [13], le guide de l'état de l'art de l'industrie meunière [3], ou encore un récent article de revue [8]. Une synthèse des données disponibles est présentée dans le *Tableau 2*.

Des détails concernant la signification et l'interprétation des différentes caractéristiques présentées dans le *Tableau 2* sont disponibles :

- dans le guide d'utilisation de la base Caratex : <https://www.inrs.fr/dms/inrs/img/BDD/guide-utilisation-caratex-poussieres/guide-utilisation-caratex-poussieres.pdf>
- sur le site Internet de l'Ineris : <https://prestations.ineris.fr/sites/prestation.ineris.fr/files/PrestaWeb/Pages-Solution/Documents%20Associ%C3%A9s/Caracterisation-inflammabilite-explosivite-poussieres-gaz-vapeurs-evaluer-risques.pdf>

Concernant le cas particulier des sources d'inflammation liées à la chaleur (points chauds, surfaces chaudes, auto-échauffement), un article précédemment paru dans la revue fait le point sur les phénomènes et les caractéristiques (température d'auto-échauffement, températures minimales d'auto-inflammation en couche ou en nuage) permettant d'évaluer les risques [14].

De façon générale, ces caractéristiques dépendent de

la granulométrie du produit et de son taux d'humidité. Plus la farine est fine et sèche, plus elle a tendance à rester en suspension dans l'air et à s'enflammer à de plus faibles concentrations, plus elle est sensible aux sources d'inflammation, et plus elle explose violemment.

Aptitude à former une Atex

Les données présentées dans le tableau confirment que la farine de blé, dès lors qu'elle est en suspension dans l'air en concentration suffisante, forme une Atex.

Sensibilité aux sources d'inflammation

Sous forme d'une couche de poussières, la farine de blé brûle localement mais ne propage pas rapidement un incendie. Sa température minimale d'inflammation en couche de 5 mm est supérieure à 250 °C et sa température minimale d'inflammation en nuage est supérieure à 350 °C. Concernant le risque d'auto-échauffement, celui-ci est plutôt peu présent à température ambiante. Les échantillons les plus fins et les plus secs de farine de blé sont sensibles aux sources d'inflammation d'origine électrostatique. La farine de blé peut être considérée comme résistive à l'écoulement des charges électrostatiques.

Violence d'explosion

La farine de blé explose relativement peu violemment.

SOURCE	ANMF [3]	CAVALLIN ET AL. [8]	CARATEX [13]
Granulométrie médiane	Pas de données	28 µm à 36 µm (après tamisage)	27 µm à 86 µm
Limite inférieure d'explosivité (LIE)	50 g/m ³ à 510 g/m ³	Pas de données	60 g/m ³ à 125 g/m ³
Taux d'humidité	Pas de données	Non précisé (le produit a été séché 1 h à 50 °C sous vide)	3,4 à 13%
Classe de combustibilité	Pas de données	3 (combustion ou incandescence localisée, avec propagation limitée)	2 (inflammation, puis extinction rapide)
Température minimale d'inflammation (TMI) en couche de 5 mm	350 °C	260 °C à > 400 °C	> 450 °C
Température minimale d'inflammation (TMI) en nuage (four Godberg-Greenwald)	430 °C	350 °C à 370 °C	430 °C à 480 °C
Diamètre critique d'auto-échauffement d'une cellule de stockage	12 m à une température de stockage de 70 °C	Pas de données	Pas de données
Énergie minimale d'inflammation (EMI)	> 300 mJ	300 mJ à > 1000 mJ	100 mJ à > 300 mJ
Résistivité	Pas de données	107 Ω.m à 108 Ω.m	Pas de données
Coefficient de violence d'explosion (Kst)	53 bar.m/s à 100 bar.m/s	Pas de données	42 bar.m/s à 94 bar.m/s
Classe d'explosivité	St 1	Pas de données	St 1
Pression maximale d'explosion (Pmax)	5,5 bar à 7,8 bar	Pas de données	7,4 bar à 8,8 bar

↑ TABLEAU 2 Principales caractéristiques utiles pour évaluer l'inflammabilité et l'explosivité de la farine de blé.



FIGURE 3 →
Répartition
des événements
par type
d'accident
et par famille
de produit pour
les 535 accidents
enregistrés
en France
métropolitaine.

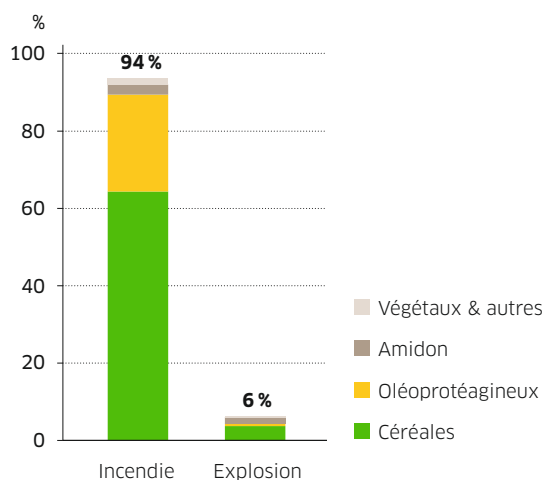


FIGURE 4 →
Répartition
des événements
par type
d'équipement
impliqué dans
les 535 accidents
enregistrés
en France
métropolitaine.

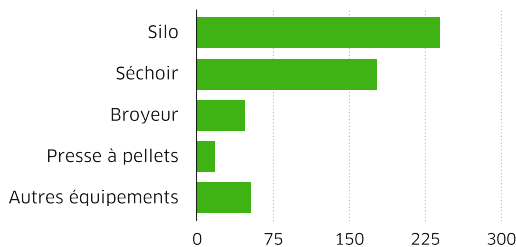
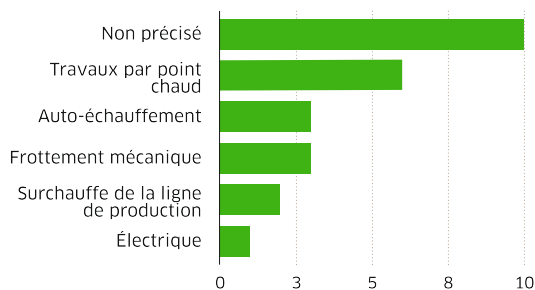


FIGURE 5 →
Source
d'inflammation
impliquée dans
les 25 accidents
recensés
avec au moins
une victime.



Quant aux oléoprotéagineux, c'est le colza qui est impliqué dans les trois quarts des accidents.

Types d'événements et conséquences

Ces événements sont à 94 % des incendies (feux ouverts, auto-échauffement) et 6 % sont des explosions (Cf. Figure 3). Le guide de l'industrie meunière indique une proportion voisine [3]. Neuf explosions et seize incendies sur les 535 accidents ont entraîné des blessures ou des décès. Du point de vue des conséquences humaines, les explosions sont plus graves que les incendies. En effet les explosions recensées cumulent deux décès et 20 blessés, tandis que les incendies rapportés cumulent 23 blessés.

Équipements impliqués

Les équipements de procédé les plus fréquemment impliqués sont, lorsqu'ils sont identifiés, les

silos et les séchoirs et, en plus faible proportion, les broyeurs (Cf. Figure 4). Des constats similaires ont été établis précédemment [4]. Dans le cas des silos, la présence de poussières en suspension lors du remplissage et, dans une moindre mesure de la vidange, pourrait favoriser la présence d'une ATEX. Quant aux séchoirs, la mise en suspension des poussières en fonctionnement normal et l'utilisation de températures potentiellement élevées pour le séchage pourraient être impliquées.

Principales sources d'inflammation des accidents avec au moins une victime

Les sources d'inflammation des incendies et explosions de poussières sont variées. Lorsque la source d'inflammation est identifiée, les travaux par point chaud, l'auto-échauffement et le frottement mécanique sont le plus couramment rencontrés (Cf. Figure 5).

Constatations effectuées lors des visites d'établissements

Le Tableau 3 résume les principales informations recueillies sur les établissements visités, informations illustrées par les Photos 1 à 12. Deux établissements se distinguent des quatre autres par leur taille : l'établissement n°6 est très petit, avec une production à petite échelle et seulement quelques salariés affectés à la production, tandis que l'établissement n°4 a une taille nettement plus importante que tous les autres. Il appartient à un groupe industriel comportant plusieurs établissements et est le seul à disposer de ressources spécifiques pour la prévention des risques. Les quatre derniers établissements sont de taille moyenne.

Tous les établissements visités comprennent des procédés de déchargement du grain, de broyage, de tamisage, puis de conditionnement et de chargement de la farine. Le produit principalement mis en œuvre est le blé, sous forme de grains, de farine et de son, qui est revalorisé (ce coproduit est revendu sous la dénomination « issues »). Les grains sont en général livrés en camion et déversés dans une trémie située à l'extérieur des bâtiments. Ils sont ensuite nettoyés, broyés et tamisés selon un procédé fonctionnant en recyclage partiel de la matière (le refus de tamisage est rebroyé en amont). Le site dispose de cellules de stockage des grains et de cellules de stockage de la farine. La farine est soit conditionnée en sacs (de 500 g, 1 kg, 25 kg...) ou en big-bags, puis entreposée dans une zone de stockage dédiée, soit stockée en cellule puis chargée en vrac dans des camions-citernes.

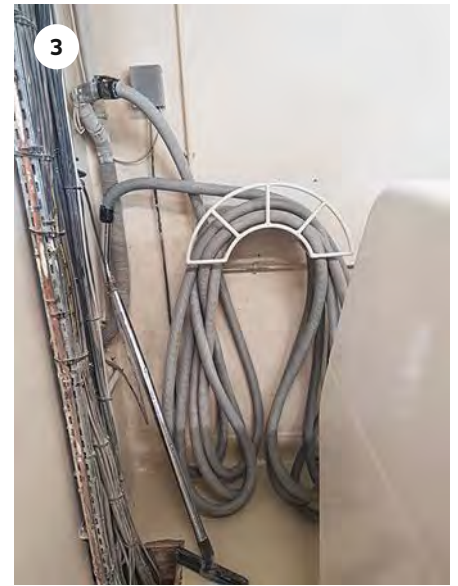
Sur la ligne de production, le transport des grains et de la farine est assuré par des élévateurs à godets, des transporteurs à chaîne, des vis et des

PRODUIT PRINCIPALEMENT MIS EN ŒUVRE	FARINE ET COPRODUITS (SON DE BLÉ, FARINE BASSE...)					
Nombre d'établissements dans le groupe industriel	> 5	< 5	< 5	> 5	< 5	< 5
Nombre de salariés affectés à l'activité de production	≥ 10	< 10	< 10	≥ 10	< 10	< 10
Informations concernant la production	Production industrielle en grandes quantités	Production industrielle en grandes quantités	Production industrielle en grandes quantités	Production industrielle en très grandes quantités	Production industrielle en grandes quantités	Production artisanale en petites quantités
Ressources spécifiques en santé et sécurité au travail	Non	Non	Non	Oui	Non	Non
Procédé de nettoyage des locaux de travail	Aspirateurs mobiles et balais	Aspiration centralisée non utilisée, aspirateurs mobiles, balais et soufflette	Aspiration centralisée, aspirateurs mobiles et balais	Trois salariés du poste du matin affectés à plein temps au nettoyage, aspirateurs mobiles et balais, nettoyage annuel des emplacements non accessibles par une entreprise spécialisée (cordistes)	Aspiration centralisée, aspirateurs mobiles, balais et soufflette, nettoyage annuel des emplacements non accessibles par une entreprise spécialisée (cordistes)	Aspirateurs mobiles et balais
Présence de dépôts de poussières dans les locaux de travail	Faible	Parfois supérieurs à 1 mm	Souvent supérieurs à 1 mm, parfois supérieur à 10 cm	Faible	Faible, rarement supérieurs à 1 mm	Faible
Maîtrise des sources d'inflammation	Partielle	Partielle	Partielle	Partielle	Partielle	Partielle
Présence de dispositifs de protection contre les effets des explosions	Non	Non	Non	Sur quelques équipements	Non	Non
Formalisation de l'évaluation des risques et du document relatif à la protection contre les explosions	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Formation des salariés relative aux risques associés aux ATEX	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non
Niveau global de maîtrise des risques associés aux ATEX*	Globalement moyen	Globalement mauvais	Globalement très mauvais	Globalement moyen	Globalement moyen	Non satisfaisant en ce qui concerne la formation des salariés et la protection des installations contre les effets des explosions.

* Indicateur qualitatif, sur la base des observations réalisées.

↑ TABLEAU 3 Synthèse des observations et informations collectées lors des visites.





réseaux de transport pneumatique. Les installations de transport de matière et les machines de production sont raccordées à des réseaux de ventilation et de dépoussiérage.

La filtration des poussières est assurée par des cyclones, des cyclo-filtres ou des filtres à manches, implantés en général à l'intérieur des locaux de travail. Ces équipements de dépoussiérage sont dépourvus de dispositif de décharge de l'explosion et d'isolement des explosions, sauf dans le cas de l'établissement n° 4, qui comporte quelques installations protégées contre les effets des explosions. Dans trois des établissements visités, le bâtiment de production est équipé d'un réseau d'aspiration centralisée, comportant des points de raccordement pour le nettoyage. Aucun des dispositifs d'aspiration centralisée n'est pleinement efficace, souvent en raison des pertes de charges importantes dues à la longueur et, parfois, au mau-

vais état des tuyaux d'aspiration connectés aux bouches d'aspiration.

Dans chacun des établissements visités, des aspirateurs mobiles sont utilisés pour le nettoyage, de même que des balais. Deux établissements utilisent ponctuellement le nettoyage par soufflage. Ces deux derniers procédés de nettoyage, et en particulier le soufflage, mettent en suspension les poussières dans l'air et favorisent la formation d'une ATEX, en plus de l'exposition des salariés aux poussières par inhalation. Deux établissements ont recours à des cordistes pour le nettoyage périodique des emplacements difficiles d'accès. En matière de prévention des risques, il est toutefois préférable, lorsque cela est possible, d'effectuer ce type de nettoyage avec des moyens d'accès tels que des nacelles.

Dans l'ensemble des locaux visités, des dépôts de poussières de farine sont parfois observés au sol,



sur les carter des machines et sur les surfaces situées en hauteur (poutres, conduits...), en quantités inégales en fonction des établissements.

Cet empoussièrement semble directement lié à des défauts d'étanchéité des réseaux de transport de farine et des installations de ventilation, qui entraînent l'émission de poussières dans l'atmosphère des locaux de travail. Ces poussières se redéposent ensuite sur le sol et les surfaces horizontales ou inclinées.

Dans l'établissement n°3, localement, des amas de grains de blé ou de poussières de farine de 1 cm à 10 cm d'épaisseur sont présents au sol ou sur les carter des équipements ; le temps consacré au nettoyage des surfaces à l'aide du réseau d'aspiration centralisé ou d'un aspirateur apparaît insuffisant.

Dans les établissements n°2 et n°5, des dépôts d'une épaisseur supérieure à 1 mm sont présents

PHOTO 1 Installation d'aspiration centralisée et flexible d'aspiration connecté à une bouche d'aspiration.

PHOTO 2 Bouche d'aspiration en attente.

PHOTO 3 Flexibles et accessoires d'aspiration connectés à une bouche d'aspiration centralisée.

PHOTO 4 Aspirateur mobile.

PHOTO 5 Utilisation du balai pour le nettoyage des dépôts de farine au sol.

PHOTO 6 Dépôt de poussières au sol, lié à une fuite au niveau d'une installation.

PHOTO 7 Dépôt de grains au sol, lié à une fuite au niveau d'une installation.

PHOTO 8 Dépôt de farine au niveau d'un moteur.

PHOTO 9 Dépôt de farine au niveau d'une installation électrique.

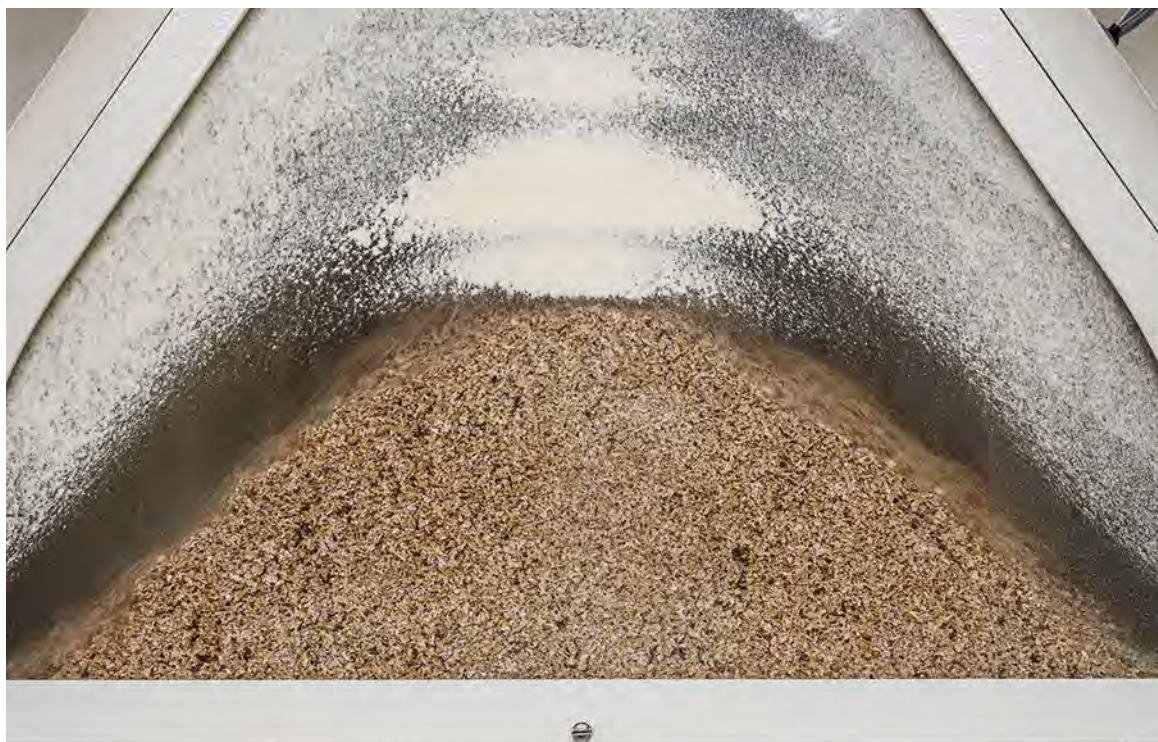
PHOTO 10 Utilisation d'outils électroportatifs à proximité d'un dépôt de poussières.

PHOTO 11 Utilisation d'un outil électrique à proximité d'un dépôt de poussières.

PHOTO 12 Dépôt de poussière au niveau du coffret d'alimentation électrique ouvert d'un moteur.

© Cramif





Mouture sur cylindres en meunerie industrielle.

©Patrick Delapierre pour l'INRS / 2022

à certains endroits. Dans les trois autres établissements, les dépôts sont faibles.

Concernant les sources d'inflammation potentielles, il a été observé l'utilisation, lors de travaux, d'outils électroportatifs produisant des étincelles à proximité de dépôts de poussières. Par ailleurs, un dépôt de poussières a également été constaté au niveau du coffret d'alimentation ouvert d'un moteur. Ces pratiques entraînent un risque important d'incendie et d'explosion d'Atex.

Dans certaines structures, les systèmes d'éclairage des locaux sont certifiés Atex 3G. Ce type de matériels est conforme à la réglementation en présence de dépôts de poussière au sol et sur les surfaces. Cependant, il serait préférable d'éliminer les dépôts de poussières, ce qui permettrait d'éviter le risque de formation d'Atex.

Seuls les établissements n°4 et n°5, soit un tiers des établissements visités, ont formé leurs salariés aux risques spécifiques associés à la formation et à l'inflammation d'Atex.

L'évaluation des risques de formation et d'inflammation d'Atex n'a par ailleurs été formalisée dans aucun des établissements visités, et aucun document relatif à la protection contre les explosions n'est disponible.

Globalement, le niveau de prévention des risques associés aux Atex est moyen dans trois établissements (soit la moitié), mauvais dans un établissement, très mauvais dans un établissement et satisfaisant dans un seul. C'est le plus petit établissement qui maîtrise le mieux les risques associés aux Atex. La visite a montré que cette maîtrise

était en grande partie liée à la sensibilisation et aux compétences du chef d'établissement, également impliqué dans la démarche de prévention.

Évaluation des risques et recommandations pour la prévention

L'évaluation des risques associés aux Atex et les mesures de prévention adaptées sont détaillées dans la documentation de l'INRS, et notamment les brochures ED 945, ED 944 et ED 6441 [5-7], ainsi que, concernant spécifiquement la meunerie, dans le guide de l'état de l'art de l'industrie meunière [3] et dans un récent article de revue [8].

Risques de formation d'Atex

La présence de dépôts de poussières, parfois en quantité très importante dans certaines des installations visitées, génère un risque de formation d'Atex. L'ensemble des locaux dans lesquels un dépôt de poussières de farine est observé devrait être classé en zone 22 (Cf. Encadré).

Ces dépôts de poussières doivent être évités en réduisant les émissions dans l'atmosphère des locaux de travail. Ceci peut être obtenu en améliorant les dispositifs de captage des poussières au niveau des points d'émission, en améliorant le confinement des installations et en les maintenant en bon état afin d'éviter les fuites de produit. Des solutions techniques sont exposées dans un prochain article, relatif à la prévention de l'exposition aux poussières organiques dans les meuneries (à paraître en 2025 [9]).

De plus, des procédures de nettoyage selon une méthodologie adaptée permettent d'éliminer les dépôts de poussières résiduels. De façon générale, bien que des moyens d'aspiration centralisée ou mobile soient disponibles dans l'ensemble des établissements visités, le nettoyage des installations est effectué principalement au moyen de balais et parfois, de soufflettes. Ces pratiques ne sont pas adaptées, et il est recommandé d'utiliser des aspirateurs prévus pour aspirer des poussières combustibles, de préférence centralisés ou à défaut, mobiles. Le rejet de l'air après dépoussiérage doit, sauf impossibilité technique, s'effectuer à l'extérieur des locaux de travail. Si les dépôts de poussières sont éliminés efficacement, les locaux en eux-mêmes ne sont alors plus à considérer comme à risque de formation d'Atex.

Cependant, une Atex reste présente en fonctionnement normal, en permanence ou non, dans le volume interne des équipements tels que les broyeurs, tamis, dépoussiéreurs, ainsi que les équipements de transport du produit tels que les élévateurs à godets, les transporteurs à chaîne, à bande et pneumatiques. Ceci justifie un classement de ces emplacements en zones 21 ou 20, en fonction du caractère permanent ou occasionnel de la formation d'Atex (Cf. Encadré).

Risques d'inflammation d'Atex

En ce qui concerne les risques d'inflammation d'Atex, il est nécessaire de s'assurer de l'absence de corps étrangers, tels que des pierres ou des éléments métalliques de petite dimension, qui pourraient être source d'inflammation dans le procédé de broyage des grains. Les équipements destinés à la sécurité alimentaire assurent généralement cette fonction.

Les sources d'inflammation qui pourraient être liées à des échauffements par friction du fait de l'usure ou d'un dysfonctionnement peuvent être éliminées en organisant la maintenance préventive des installations.

Par ailleurs, les employeurs doivent s'assurer que tous les équipements de transport ou de mise en œuvre des produits, installés dans des emplacements classés à risque de formation d'Atex, sont conformes à la réglementation [10-11]. Cela implique de choisir la catégorie appropriée pour ces matériels. Ces dispositions s'appliquent également aux dispositifs d'éclairage mobiles, utilisés lors des phases de maintenance des installations par exemple.

Une attention particulière doit être accordée à la continuité électrique entre les parties conductrices du procédé ou de l'équipement de transport, en particulier lorsqu'un découplage vibratoire est utilisé, et à leur connexion au potentiel de la terre. Cette connexion doit également être vérifiée après

les opérations de maintenance qui suppriment les liaisons équipotentielles ou après des opérations de peinture, car elle constitue une couche isolante. De plus, il est conseillé de veiller au traitement antistatique des manches filtrantes des dépoussiéreurs. Les aspirateurs mobiles présents dans les locaux ne sont en général pas certifiés Atex, mais il semble qu'ils soient conçus pour l'aspiration de poussières combustibles, afin d'éviter une inflammation à l'intérieur de ce matériel. Si un tel équipement est adapté en l'absence de dépôts significatifs de poussières, il est nécessaire, en présence de dépôts importants, d'utiliser des aspirateurs conçus pour l'aspiration de poussières combustibles et certifiés Atex de catégorie 3D.

Enfin, des équipements électriques destinés à la maintenance ont été observés dans certains locaux lors des visites. Il est recommandé de s'assurer de l'absence de poussières dans les zones dans lesquelles des travaux sont effectués (notamment par nettoyage approfondi, arrêt momentané de l'activité) et de mettre en œuvre les dispositions applicables en matière de prévention des sources d'inflammation (mise en place d'une démarche de type « permis de feu » par exemple) et de gestion de la coactivité (réalisation systématique d'un plan de prévention en cas d'intervention d'entreprise extérieure [12]), afin d'éviter notamment un incendie ou une explosion d'Atex.

Protection contre les effets des explosions

Les visites d'établissement effectuées lors de cette étude mettent en évidence l'absence quasiment généralisée de dispositifs de protection contre les effets des explosions. En particulier, les silos et les dépoussiéreurs sont dépourvus d'événements d'explosion et de dispositifs d'isolement.

Il est nécessaire de prévoir l'installation de dispositifs de protection, tels qu'un événement débouchant à l'extérieur des bâtiments ou un événement sans flamme, et de dispositifs de découplage avec les installations connectées [5].

Information et formation des salariés

Il est également nécessaire de former les salariés aux risques spécifiques associés aux Atex. Cette formation doit inclure les consignes à appliquer en cas de dysfonctionnement des installations, en cas d'incendie et en cas d'explosion. De nombreux prestataires proposent ce type de formation, et un référentiel de compétences est en cours de préparation, sous l'égide de la Direction générale du travail (DGT).

De plus, il est conseillé de faire suivre à au moins un salarié par établissement une formation à l'évaluation des risques associés aux Atex. Ce type de formation est proposé par différents organismes ou bureaux de contrôles. De plus, un référentiel de



certification volontaire est disponible sur le marché. Le guide IEC/TS 60079-44 [15] propose également un référentiel de compétences sur ce sujet. Enfin, la réparation ou la modification d'un matériel certifié Atex ne doit être entreprise que par une personne spécifiquement formée, par exemple en ayant recours à un référentiel de certification volontaire disponible sur le marché. Plusieurs normes traitent de ces aspects, en particulier les normes NF EN 60079-14 [16], NF EN 60079-17 [17] et NF EN IEC 60079-19 [18].

Conclusion

Cette étude montre que, bien que la réglementation soit applicable depuis 2003, le niveau de maîtrise du risque d'explosion d'Atex dans les entreprises de meunerie visitées est très variable en fonction de la culture de prévention de l'entreprise et de son organisation, et semble insuffisant dans de nombreux cas. Dans certains établissements, ce risque est bien évalué et la prévention semble efficace. Dans d'autres au contraire, le risque lié à la formation et à l'inflammation d'Atex reste important et largement sous-estimé. La prise en compte du

retour d'expérience à la suite d'accidents peut permettre de prendre conscience des risques et l'aider à s'orienter vers les mesures de prévention et de protection les mieux adaptées.

Même si ces accidents sont peu fréquents, l'exploitation de la base de données d'accidents Aria montre que les équipements les plus touchés sont les silos et les séchoirs, qui doivent faire l'objet d'une attention particulière, tout comme les travaux de maintenance.

Les messages de prévention doivent continuer à être diffusés ; les entreprises doivent être formées à l'évaluation des risques et aux mesures visant à prévenir la formation et l'inflammation des Atex et de protéger les salariés et les installations contre les conséquences souvent dramatiques des explosions. ●

1. Une étude complémentaire, réalisée par la Cramif (LBC/CMP) et portant sur les risques chimiques (autres que d'incendie/explosion) et biologiques dans ces meuneries, paraîtra prochainement dans la revue [9].
2. Une première analyse de ces accidents, limitée à la période 1975-2021, a été publiée récemment [2].
3. Voir : <https://www.intercereales.com/le-marche-des-cereales-francaises>

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BUREAU D'ANALYSE DES RISQUES ET POLLUTIONS INDUSTRIELS (BARPI) – Base de données « Analyse, Recherche et Information sur les Accidents » (ARIA). Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, 2023. Accessible sur : <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/>
- [2] JANÈS A., DUFAUD O. – Evaluation of the management of explosive atmospheres in milling companies: the Île-de-France region example. *Chemical engineering transactions*, 2022, 90, pp. 631-636.
- [3] ASSOCIATION NATIONALE DE LA MEUNERIE FRANÇAISE (ANMF) – Guide de l'état de l'art de l'industrie meunière relatif à la prévention et à la protection des risques présentés par les installations de meuneries soumises à autorisation au titre de la rubrique 2260. 2011.
- [4] JANÈS A., CHAINEAUX J. – Explosions de poussières dans les lieux de travail. Recensement et analyse. *Hygiène & sécurité du travail*, 2010, 220, ND 2331, pp. 3-13. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ND%202331>
- [5] INRS – Mise en œuvre de la réglementation relative aux atmosphères explosives (Atex). Guide méthodologique. ED 945, 2020. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20945>
- [6] INRS – Les mélanges explosifs – 2. Poussières combustibles. ED 944, 2015. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20944>
- [7] INRS – Mise en œuvre de matériaux pulvérulents. ED 6441, 2021. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206441>
- [8] CAVALLIN S. ET AL. – Analysis of the common ignition sources in the milling industry. *Chemical engineering transactions*, 2023, 104, pp. 7-12.
- [9] FACON B. ET AL. – Caractérisation du risque d'exposition aux poussières organiques dans les meuneries. Campagne de mesures. *Hygiène & sécurité du travail*, 2025 (à paraître).
- [10] DIRECTIVE N° 1999/92/CE DU 16 DÉCEMBRE 1999 concernant les prescriptions minimales visant à améliorer la protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphères explosives (quinzième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE). Accessible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT00000331235>
- [11] DIRECTIVE N° 2014/34/UE DU 26 FÉVRIER 2014 relative à l'harmonisation des législations des États membres concernant les appareils et les systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosibles (refonte). Accessible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000030426115>
- [12] INRS – Intervention d'entreprises extérieures. Aide-mémoire pour la prévention. ED 941, 2009. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20941>
- [13] IFA/INRS – Base de données GESTIS-Caratex – Poussières. 2023. Accessible sur : <https://staubex.ifa.dguv.de/?lang=f>
- [14] JANÈS A., VIGNES A. – Incendie, explosion : attention au phénomène d'auto-échauffement des solides divisés. *Hygiène & sécurité du travail*, 2018, 250, NT 60, pp. 64-70. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2060>
- [15] IEC/TS 60079-44 – Explosive atmospheres. Part 44: Personal competence. Genève, CEI, 2023.
- [16] NF EN 60079-14 – Atmosphères explosives. Partie 14 : conception, sélection et construction des installations électriques. Afnor, 2014.
- [17] NF EN 60079-17 – Atmosphères explosives. Partie 17 : inspection et entretien des installations électriques. Afnor, 2014.
- [18] NF EN IEC 60079-19 – Atmosphères explosives. Partie 19 : réparation, révision et remise en état de l'appareil. Afnor, 2019.

**JOURNÉE
TECHNIQUE**

PRÉVENIR LES RISQUES LIÉS AUX MACHINES

Agir tout au long du cycle de vie

**25
MARS
2025**

Maison de la RATP - Espace du Centenaire - 189 rue de Bercy - 75012 Paris

Participation sur place et en direct sur internet | Inscription obligatoire

Omniprésentes, notamment dans l'industrie, les machines ont des niveaux de complexité hétérogènes mais elles ont toutes en commun d'utiliser de l'énergie pour la transformer en mouvement. Elles génèrent de fait des risques pour les salariés.

Coincements, écrasements, coupures, etc. comptent parmi les principaux risques, mais selon le procédé mis en œuvre, les machines sont également sources de nuisances physiques (bruits, vibrations, etc.), de troubles musculosquelettiques (TMS), de risques chimiques, biologiques, etc.

À chacune des étapes du cycle de vie d'une machine, de la conception à la modification en passant par l'acquisition, l'exploitation et la maintenance, les entreprises ont un rôle-clé à jouer pour prévenir les risques professionnels.

Cette journée technique s'adresse à tous ceux (chargés de prévention, chefs d'entreprise et intégrateurs) qui s'interrogent sur les risques, les bonnes pratiques et les mesures de prévention à mettre en place pour protéger les utilisateurs de machines.

Inscription : jtmachines2025.inrs.fr | Contact : machines2025@inrs.fr



Base Colchic

La base de données d'exposition professionnelle aux agents chimiques et biologiques Colchic regroupe l'ensemble des mesures d'exposition effectuées sur les lieux de travail par les huit laboratoires interrégionaux de chimie (Lic) des Carsat/Cramif et les laboratoires de l'INRS. Elle est gérée par l'INRS et a été créée en 1987 à l'initiative de la Caisse nationale de l'assurance maladie (Cnam). À ce jour, Colchic compte plus d'un million de résultats pour 745 substances chimiques et agents biologiques.

PORTRAIT RÉTROSPECTIF DES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES DANS LES ACTIVITÉS FUNÉRAIRES EN FRANCE DE 2002 À 2023

L'évaluation du risque chimique dans le secteur funéraire, notamment l'exposition au formaldéhyde lors d'opérations de thanatopraxie, est bien documentée. Or, les niveaux d'exposition à des substances présentes au cours d'autres activités liées à la gestion des obsèques (intervention en crématorium, fabrication de cercueils ou de monuments funéraires...) sont peu décrits. Afin de mieux appréhender le risque chimique dans le secteur funéraire, cet article dresse un portrait des niveaux d'exposition enregistrés dans la base Colchic de 2002 à 2023.

JEAN-FRANÇOIS SAUVÉ, BARBARA SAVARY
INRS, département Métrologie des polluants

Contexte

Les activités funéraires regroupent une diversité de professions dédiées à accompagner et à soutenir les familles en deuil, à organiser les obsèques, et à prendre en charge la gestion du défunt : conseiller funéraire et maître de cérémonie pour l'organisation des funérailles, thanatopracteur (ou embaumeur) pour la préparation du corps du défunt (toilette, soins de conservation, habillage et présentation), porteur et chauffeur de véhicule funéraire pour le transport du corps, fossoyeur et marbrier funéraire pour la création de la sépulture, menuisier pour la fabrication du cercueil, employé de crématorium, gardien de cimetières, personnel de la médecine légale, etc.

En France, 5 406 établissements employant 25 854 salariés étaient rattachés à la sous-classe de la nomenclature des activités françaises (NAF

« 96.03Z – Services funéraires » en 2023 [1]. Le syndicat des thanatopracteurs dénombrait, en 2019, 800 thanatopracteurs exerçant soit en profession libérale soit en tant que salarié. Le ministère chargé de la Santé indique que 161 médecins légistes étaient en exercice en 2021 [2]. En France, 42 % des personnes décédées ont été incinérées dans l'un des 221 crématoriums en 2022 [3]. En 2021, un total de 48 cas de maladies professionnelles (MP) a été reconnu dans ce secteur. Les troubles musculosquelettiques (TMS) représentaient la majorité des cas déclarés (77 %) [4]. Des reconnaissances de MP au titre du tableau n° 25 (Affections dues à la silice cristalline, aux silicates cristallins, au graphite ou à la houille) et du tableau n° 30A (Affections professionnelles consécutives à l'inhalation de poussières d'amiante) sont également recensées.

Un biais d'interprétation est susceptible d'être introduit lors de l'exploitation des bases de données nationales d'exposition professionnelle telles que Colchic. En effet, ces bases n'ont pas été conçues dans le but d'être représentatives de l'ensemble des travailleurs ou d'un secteur professionnel donné.



© Gaël Kerbaol / INRS / 2016

Une MP au titre du tableau n° 47 (Affections professionnelles provoquées par les poussières de bois) a été reconnue en 2020. Des atteintes auditives provoquées par les bruits lésionnels (TMP n°42) sont également régulièrement reconnues. Aucune déclaration d'affection provoquée par l'aldéhyde formique (formaldéhyde) et ses polymères au titre du tableau n°43 n'a été reconnue ces dix dernières années, bien que cette substance puisse être présente en thanatopraxie, dans des solutions injectées dans le système vasculaire et les cavités des défunts. Les activités de thanatopraxie peuvent également impliquer l'utilisation de produits de conservation et de nettoyage contenant des substances associées à des atteintes oculaires, cutanées et respiratoires, tels le méthanol, le bronopol, l'isopropanol, le glutaraldéhyde, le phénol et l'hypochlorite de sodium. Une revue de la littérature mentionne également la présence de triclosan [5]. En plus des risques chimiques, la manipulation et la conservation des corps peuvent exposer les salariés au risque biologique par voie sanguine (lors des incisions pour l'injection de produits de

conservation) et par voie respiratoire, avec la mise en suspension de virus, de champignons et/ou de bactéries lors de la manipulation du défunt. Comparativement à la problématique de l'exposition au formaldéhyde en thanatopraxie, les risques liés à d'autres substances chimiques chez les thanatopracteurs ou d'autres salariés du secteur funéraire sont moins bien documentés. Par exemple, des études environnementales sur les rejets des crématoriums ont été publiées, mais rares sont celles concernant les expositions professionnelles. Lors de la crémation des corps, le mercure présent dans les amalgames dentaires peut être émis. Dans une étude menée en Angleterre, les niveaux en mercure mesurés dans les cheveux des salariés des crématoriums étaient plus élevés que dans la population générale [6]. Des mesures de particules réalisées lors de crémations ont montré des pics d'exposition aux particules fines (environ 500 000 particules/cm³) à l'ouverture de la porte du four en fin de crémation. La récupération des cendres est également une phase exposante avec des particules dont la taille s'apparente à celle de la

Préparation de produits pour un soin en thanatopraxie.



GROUPE PROFESSIONNEL	NOMBRE DE PRÉLÈVEMENTS D'AMBIANCE	NOMBRE DE PRÉLÈVEMENTS INDIVIDUELS	SUBSTANCES
Monuments funéraires (n = 205)	39	166	Silice cristalline (quartz, cristobalite), poussières totales* et alvéolaires
Activités avec défunts (n = 189)	105	84	Formaldéhyde, méthanol, acétaldéhyde, acétate d'éthyle, acide peracétique
Activités de crématoriums (n = 48)	16	32	Poussières totales*, fer, titane, chrome, manganèse
Fabrication et entreposage de cercueils (n = 26)	7	19	Poussières de bois
Fabrication et conditionnement de produits chimiques pour l'industrie funéraire (n = 13)	9	4	Formaldéhyde
Travaux dans cimetières (n = 10)	0	10	Silice cristalline (quartz, cristobalite), poussières totales* et alvéolaires

* Poussières totales exprimées en fraction inhalable.

↑ TABLEAU 1 Nombre d'enregistrements par groupe professionnel et substances les plus fréquemment mesurées dans la base Colchic.

fraction alvéolaire [7]. Outre les métaux, les salariés des crématoriums peuvent être exposés à certains polluants organiques persistants (dioxines, furanes) et aux hydrocarbures aromatiques polycycliques [5].

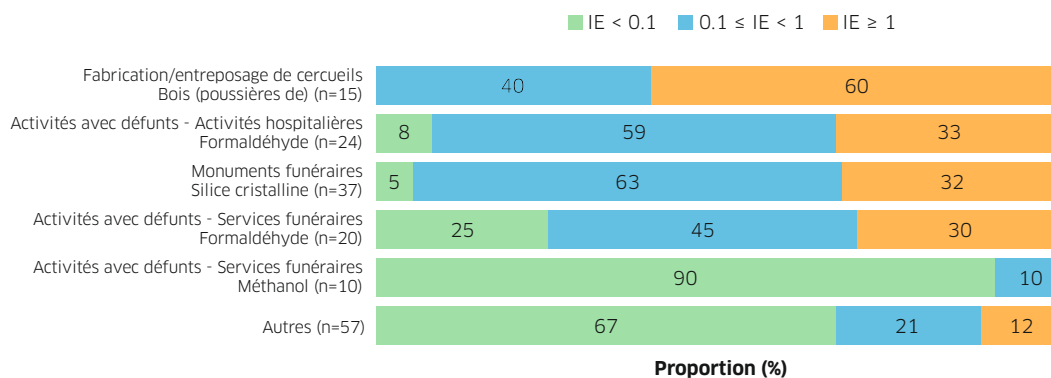
Afin de mieux évaluer les expositions dans les activités funéraires, cet article dresse un portrait des niveaux d'exposition aux substances chimiques enregistrés dans la base Colchic entre 2002 et 2023. Ces mesures concernent en premier lieu les salariés rattachés à des entreprises du secteur des services funéraires (96.03Z). Des mesures complémentaires ont été identifiées par une recherche sur les métiers du funéraire (ROME K2601, K2602 et K2603), de la médecine légale, du travail de la pierre et du gardiennage de cimetière, ainsi qu'une recherche par mots-clés en relation avec le sujet (funéraire, crématorium, mortuaire, cimetière...) dans les descriptions des postes de travail mesurés dans Colchic et dans les noms d'entreprises de la base Sirene [8]. Les données exploitées concernent des mesures d'ambiance et individuelles prélevées pendant une durée comprise entre une et dix heures. Pour les substances concernées par des valeurs limites d'exposition sur 8 heures (VLEP-8h) françaises, des indices d'exposition (IE) ont été calculés dans l'objectif de faciliter la comparaison des distributions des niveaux d'expositions entre les différentes substances chimiques et les différentes activités.

Les IE représentent le ratio entre la concentration mesurée et la VLEP-8h de la substance. Pour les poussières de silice, un indice d'exposition a été calculé à partir des concentrations en poussières alvéolaires, quartz et cristobalite. Les valeurs dont la concentration est inférieure à la limite de quantification (LQ) ont été remplacées par LQ/2.

État des lieux des données Colchic

Un total de 491 données d'exposition à des substances chimiques a été enregistré dans la base Colchic de 2002 à 2023 pour les activités funéraires. Une recherche complémentaire dans la base concernant l'exposition à des agents biologiques n'a pas permis d'identifier de données pertinentes. Le *Tableau 1* synthétise la répartition des mesures par groupe professionnel (GP). Un GP regroupe les activités similaires, quel que soit le secteur d'activité codé dans Colchic. Par exemple, le GP « Monuments funéraires » regroupe les métiers de marbrier, de tailleur et de graveur de pierre, rattachés directement au code d'activité des services funéraires, ou à des secteurs du travail de la pierre pour le métier de « maçon/maçonnerie en monuments funéraires » (ROME F1703016253). Le GP « Activités avec défunts » regroupe par exemple les mesures prises dans le cadre de soins de conservation, de transport, dans des entreprises de pompes funèbres et dans les chambres mortuaires d'établissements hospitaliers. Dans le *Tableau 1*, figurent également les substances les plus fréquemment mesurées pour chaque GP.

Le formaldéhyde a été mesuré dans les GP « Activités avec défunts » et « Fabrication et conditionnement de produits chimiques pour l'industrie funéraire ». Dans le GP « Activités avec défunts », 101 mesures individuelles ou d'ambiance sont enregistrées dans Colchic, 89 d'entre elles sont supérieures à la LQ. En comparaison, sur les 44 mesures de méthanol, seules six mesures sont supérieures à la LQ. Un faible nombre de mesures de produits de désinfection (acide peracétique, isopropanol, eau oxygénée) a également été enregistré dans ce GP. Pour le GP « Fabrication et conditionnement de produits chimiques pour l'industrie funéraire »,



← FIGURE 1 Distribution des indices d'exposition (IE) pour les GP/substances entre 2002 et 2023.

treize mesures de formaldéhyde, toutes supérieures à la LQ, ont été enregistrées dans Colchic. La Figure 1 présente la distribution des IE par combinaison du groupe professionnel et de la substance pour les prélèvements individuels.

Les IE sont classés en trois catégories : inférieur à 0,1 (correspondant à 10 % de la valeur prise comme référence) en vert, compris entre 0,1 et 1 en bleu et supérieur à 1 (indiquant un dépassement de la valeur de référence) en orange. Les couples « GP / substance chimique » dont le nombre de mesures est inférieur à dix sont regroupés dans la catégorie « Autres ».

Une exposition importante aux poussières de bois est observée dans plus de 60 % des situations dans le GP « Fabrication et entreposage de cercueils ». Un tiers des situations de travail expose à la silice cristalline lors de la taille de la pierre, de la finition et de l'entretien des monuments funéraires (GP « Monuments funéraires »). Le GP « Activités avec les défunts » concerne essentiellement la thanatopraxie. Les salariés des services funéraires sont faiblement exposés au méthanol (90 % des mesures sont inférieures à 10 % de la VLEP-8h), tandis que pour approximativement un tiers des situations, les niveaux d'exposition au formaldéhyde enregistrés dans Colchic sont supérieurs à la VLEP-8h pour les salariés travaillant dans les services funéraires et dans les hôpitaux.

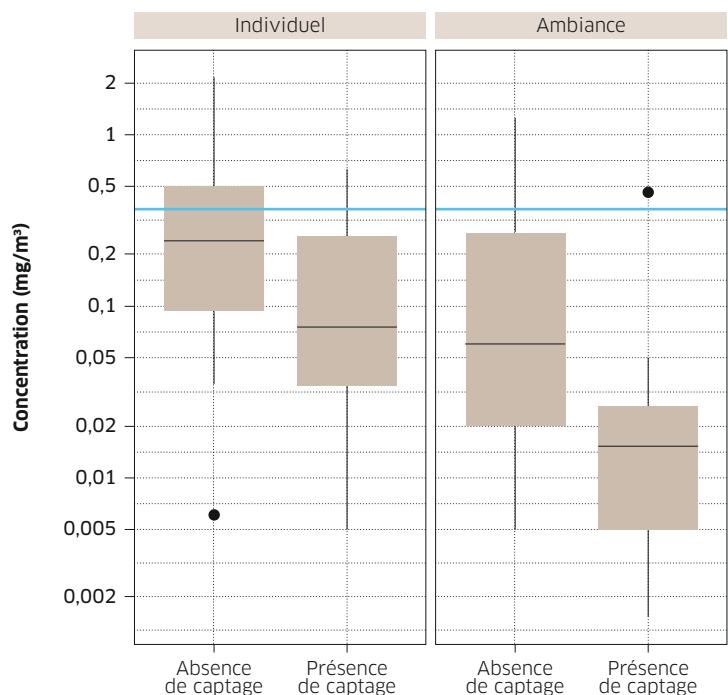
La Figure 2 représente la répartition des niveaux d'exposition au formaldéhyde avec ou sans captage dans le GP « Activités avec les défunts » (sans distinction entre les hôpitaux et les services funéraires). En l'absence de captage, les niveaux d'exposition sont plus élevés, tant pour les mesures réalisées sur les salariés que celles prises à un point fixe pour caractériser l'exposition ambiante. Pour les autres substances, le nombre de mesures disponibles était insuffisant pour réaliser une analyse comparative similaire.

Discussion

Les dépassements des VLEP-8h identifiés concernaient des substances cancérigènes, soit le

formaldéhyde, la silice cristalline et les poussières de bois, chacune associée à des activités spécifiques. Parmi ces substances, une grande attention a été portée à l'exposition au formaldéhyde et, dans une moindre mesure, au méthanol lors d'activités de thanatopraxie, puisque la plupart des fluides utilisés pour conserver les tissus et organes contiennent ces substances. En raison des difficultés pour réduire à court terme les niveaux d'exposition par des moyens techniques (substitution, captage), le secteur des pompes funèbres et de l'embaumement, ainsi que celui des soins de santé, a fait l'objet d'une mesure transitoire entre le 1^{er} février 2021 et le 11 juillet 2024, à la suite de l'abaissement de la VLEP-8h réglementaire contraignante du formaldéhyde. Depuis le 12 juillet 2024, la VLEP-8h de 0,37 mg/m³ s'applique à l'ensemble des secteurs utilisateurs de formaldéhyde. Les stratégies pour réduire l'exposition incluent l'emploi d'alternatives aux soins de conservation,

↓ FIGURE 2 Distribution des concentrations en formaldéhyde du GP « Activités avec défunts » en fonction de la présence ou de l'absence de dispositif de captage. Le trait bleu représente la VLEP-8h réglementaire contraignante (0,37 mg/m³).





© Gaël Kerbaol / INRS / 2022

Démantèlement d'un monument funéraire dans un cimetière.

l'utilisation de fluides de substitution sans formaldéhyde disponibles commercialement, et le travail dans des locaux équipés de ventilation générale et de captage à la source [9-11]. La réglementation française permet aux thanatopracteurs de réaliser des actes au domicile du défunt, contrairement à d'autres pays. Les conditions d'exposition peuvent être, dans ce cas, très différentes de celles observées dans des salles dédiées à ces interventions, notamment en raison de la difficulté d'installer des dispositifs de captage. Aucune mesure d'exposition au formaldéhyde dans le cadre de soins à domicile n'a pu être identifiée dans Colchic, mais il est aisé de penser que les niveaux d'exposition seraient plus importants que ceux constatés dans les salles dédiées munies de dispositifs de captage.

Concernant la fabrication de monuments funéraires, l'exposition à la silice cristalline représente un risque professionnel important. Les monuments sont réalisés à partir de différents types de pierres extraites en France ou importées : des granits ($\approx 30\%$ de silice), des pierres calcaires ($< 1\%$ de silice) et, plus rarement, des marbres ($< 5\%$ de silice) [12]. La fabrication des monuments fait appel à des tâches de sciage, de meulage, de polissage et de gravure pouvant générer des aérosols contenant de la silice. Le travail à l'humide permet de réduire les concentrations en silice cristalline, mais peut se révéler insuffisant pour protéger la santé des salariés, nécessitant en complément le port d'appareils de protection respiratoire appropriés (masque FFP3 ou même à ventilation assistée) [13]. Par ailleurs, il n'existe pas d'information

sur les niveaux d'exposition lors de travaux d'entretien des monuments ou de démolition après l'abandon des concessions, pour lesquelles le travail à l'humide ou le captage sont plus complexes à mettre en œuvre, en raison de la nature mobile de ces activités.

Finalement, plus de la moitié des mesures de poussières de bois associées à la fabrication de cercueils dépassaient la VLEP-8h réglementaire contraignante. Le nombre de mesures enregistrées était toutefois insuffisant pour évaluer l'influence de paramètres tels que la tâche, la présence de captage ou l'essence du bois sur les niveaux d'exposition. Bien que la réglementation n'impose pas de matériau spécifique dans la fabrication de cercueils, sous réserve de respecter des exigences en matière d'étanchéité, de solidité, de biodégradabilité et, pour la crémation, de combustibilité, le bois massif est utilisé pour environ 95 % des cercueils en France [14]. Outre le captage à la source, les méthodes de prévention de l'exposition aux poussières de bois incluent, entre autres, la ventilation générale et, en dernier recours, le port d'appareils de protection respiratoire [15].

Certains risques identifiés dans la littérature internationale ne sont pas ou sont peu documentés à partir de mesures d'exposition faites en France et enregistrées dans la base Colchic. Par exemple, une étude québécoise sur le risque biologique chez des thanatopracteurs a mis en évidence la présence de bactéries pathogènes (groupe 2 : pouvant provoquer une maladie chez

l'homme et constituer un danger pour les travailleurs)¹, soit des *Mycobacterium* non tuberculeux, *Corynebacterium*, et *Streptococcus pneumoniae*, et a conduit les auteurs à recommander le port de masques filtrants [16]. Le risque biologique chez les travailleurs de l'industrie funéraire est toutefois pris spécifiquement en compte dans la réglementation française, dans le cas de certaines infections transmissibles comme la rage, la tuberculose et le choléra, requérant une mise en bière immédiate du défunt². De plus, l'exhumation des corps nécessite le port d'équipements de protection³, par exemple de vêtements de type 3-B ou 4-B contre les produits chimiques liquides [17].

Enfin, peu de mesures provenant de crématoriums ont été enregistrées dans la base Colchic. Des études menées dans d'autres pays ont toutefois quantifié des concentrations en divers métaux, dont le chrome hexavalent, le manganèse et des composés du mercure, dans l'air de ces installations. Des rejets atmosphériques de dioxines, de particules fines et d'oxydes de soufre et d'azote dans les émissions de crématoriums ont aussi été

relevés [18]. En France, des niveaux maximums pour ces composés émis par les crématoriums sont fixés par arrêté⁴. Les niveaux d'exposition des opérateurs, notamment dans le traitement des cendres et des métaux résiduels, demeurent toutefois peu étudiés, au regard de la hausse soutenue du taux de crémation au fil du temps, du nombre de crématoriums en France [3], et de la réglementation permettant aux opérateurs de récupérer et de valoriser les métaux provenant de crémations⁵. ●

1. Arrêté du 16 novembre 2021 fixant la liste des agents biologiques pathogènes.

2. Arrêté du 12 juillet 2017 fixant les listes des infections transmissibles prescrivant ou portant interdiction de certaines opérations funéraires mentionnées à l'article R. 2213-2-1 du Code général des collectivités territoriales.

3. Article R. 2213-42 du Code général des collectivités territoriales.

4. Arrêté du 28 janvier 2010 relatif à la hauteur de la cheminée des crématoriums et aux quantités maximales de polluants contenus dans les gaz rejetés à l'atmosphère.

5. Décret n°2022-1127 du 5 août 2022 portant diverses mesures relatives à la réglementation funéraire.

BIBLIOGRAPHIE

[1] URSSAF – Effectifs salariés et nombre d'établissements dans le secteur privé (régime général). 2024. Accessible sur : <https://open.urssaf.fr/pages/dataviz-etablisements-et-effectifs-salaries/>

[2] MINISTÈRE DU TRAVAIL, DE LA SANTÉ ET DES SOLIDARITÉS – La médecine légale : une spécialité à part entière. 2024. Accessible sur : <https://sante.gouv.fr/soins-et-maladies/prises-en-charge-specialisees/article/la-medecine-legale>

[3] SIMPSON C. – La crémation en France : évolutions et perspectives. *Résonance funéraire*, mars 2024, 199. Accessible sur : <https://www.resonance-funeraire.com/magazine/dossiers/44-dossiers/6905-la-cremation-en-france-evolutions-et-perspectives.html>

[4] ASSURANCE MALADIE – Fiches de sinistralité. NAF niveau 5 : 9603z, services funéraires. 202.; Accessible sur : https://www.assurance-maladie.ameli.fr/sites/default/files/ape-naf/NAFAPE_2021_S_000_9603Z_SY.pdf

[5] GWENZI W. – Autopsy, thanatopraxy, cemeteries and crematoria as hotspots of toxic organic contaminants in the funeral industry continuum. *Science of the total environment*, 2021. 753, p. 141819.

[6] MALONEY S.R., PHILLIPS C.A., MILLS A. – Mercury in the hair of crematoria workers. *The Lancet*, 1998, 352 (9140), p. 1602.

[7] KATO N. ET AL. – Measurement of nanoparticle exposure in crematoriums and estimation of respiratory deposition of the nanoparticles by number and size distribution. *Journal of occupational health*, 2017. 59 (6), pp. 572-580.

[8] INSEE – Système national d'identification et du répertoire des entreprises et de leurs établissements (SIRENE). 2024 Accessible sur : <https://www.sirene.fr>

[9] ANSES – Alternatives au formaldéhyde en thanatopraxie. 2020. Accessible sur : <https://www.anses.fr/fr/system/files/VSR2014SA0236Ra-2.pdf>

[10] BOUSLAMA M., GUILLEUX A., BALTU I., CARON V. – Risques chimiques et biologiques en thanatopraxie : cadre réglementaire et mesures de prévention. *Hygiène & sécurité du travail*, 2020, 258, pp. 54-65. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2080>

[11] HAUT CONSEIL DE LA SANTÉ PUBLIQUE – Recommandations pour les conditions d'exercice de la thanatopraxie. 2012. Accessible sur : https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/Telecharger?NomFichier=hcspr20121220_thanatopraxie.pdf

[12] ANSES – Dangers, expositions et risques relatifs à la silice cristalline. 2019. Accessible sur : <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2015SA0236Ra.pdf>

[13] EPSAT VOSGES / CARSAT NORD-EST – Étude sur les poussières de silice dans les graniteries et dans la gravure sur monuments funéraires. 2023. Accessible sur : <https://epsatvosges.fr/etude-sur-les-poussieres-de-silice-dans-les-graniteries-et-dans-la-gravure-sur-monuments-funeraires/>

[14] L'AMEUBLEMENT FRANÇAIS – Cercueils : le marché. Accessible sur : <https://www.ameublement.com/marches/cercueil>

[15] INRS – Prévenir les risques liés aux poussières de bois. 2022. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/poussieres-bois>

[16] MARCHAND G. ET AL. – Évaluation de l'exposition des thanatopracteurs aux bioaérosols et appréciation du risque sur leur santé. 2020 Accessible sur : <https://www.irsst.qc.ca/publications-et-outils/publication/i/101084/n/evaluation-exposition-thanatopracteurs-bioaerosols>

[17] INRS – Vêtements de protection contre les risques infectieux. Aide au choix sur la base des caractéristiques normalisées. 2023. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20143>

[18] FRANCO D.S.P. ET AL. – The environmental pollution caused by cemeteries and cremations: A review. *Chemosphere*, 2022, 307, p. 136025.



Agenda & services

Formation

Former à l'évaluation des risques
liés aux ambiances thermiques

P.95

Agenda/Formations

P.98

Congrès

Agenda/Événements

P.100

Sélection bibliographique

À lire, à voir

P.102

Formation

FORMER À L'ÉVALUATION DES RISQUES LIÉS AUX AMBIANCES THERMIQUES

De nombreux travailleurs sont amenés à travailler dans une ambiance thermique chaude ou froide, du fait de la nature de leur activité professionnelle ou des conditions météorologiques, que leur poste de travail soit situé en intérieur ou en extérieur. Ils sont ainsi exposés à des situations à risques pour leur santé ou à des facteurs d'accidents de travail, avec des effets plus ou moins graves, pouvant aller jusqu'au décès. Parmi ces effets, pour les expositions au froid, l'hypothermie, les gelures et engelures, et, pour les expositions à des températures élevées, les crampes musculaires, la déshydratation, les coups de chaleur ou encore, les atteintes cardiovasculaires ou des troubles neurosensoriels. Une nouvelle formation de l'INRS aborde des notions théoriques et pratiques incontournables pour prévenir ces risques.

TRAINING IN THE ASSESSMENT OF RISKS RELATED TO THE THERMAL ENVIRONMENT
– *Many employees are required to work in a hot or cold thermal environment, because of the nature of their professional activity or weather conditions, whether their workstation is located outdoors or indoors. They are therefore exposed to situations that are dangerous for their health or to factors that cause occupational accidents, where the effects are more or less serious and might even include death. For exposure to the cold, these effects include hypothermia, freezing and frostbite, and for exposure to high temperatures, they include muscle cramps, dehydration, heat strokes, cardiovascular damage and neurosensory disorders. A new training course by INRS addresses the essential theoretical and practical notions to prevent these risks.*

DANIÈLE
BLASIARD
INRS,
département
Formation

L'INRS propose, depuis 2024, une formation d'une durée de 28 heures intitulée « Prévenir les risques liés aux ambiances thermiques ». Elle est ouverte aux préventeurs d'entreprises, aux acteurs des services de prévention et de santé au travail (SPST) et aux agents des services de prévention des Carsat (caisses d'assurance retraite et de santé au travail). Les participants sont amenés à appréhender plusieurs aspects : compréhension des phénomènes d'échanges de chaleur, effets sur la santé, métrologie, aspects réglementaires, moyens de prévention. À la suite de cette formation, les stagiaires sont en capacité de conduire une évaluation du risque et de proposer des

mesures de prévention adaptées aux situations de travail rencontrées.

Le cadre réglementaire

La première partie de la formation pose le cadre réglementaire, en reprenant les questions les plus fréquemment posées et les réponses apportées par les départements experts de l'INRS et plus spécifiquement, par le pôle juridique. « *Les questions d'assistance qui reviennent régulièrement concernent les pathologies liées à la chaleur, comme le coup de chaleur, les symptômes devant y faire penser et les mesures à mettre en place au sein des entreprises pour éviter leur survenue, mais aussi pour inciter l'employeur à agir en prévention* »,



témoigne Frank Rivière, chef du département Études et assistances médicales à l'INRS. En effet, conformément aux articles L. 4121-1 et suivants du Code du travail, l'employeur est tenu de mettre en œuvre les mesures nécessaires pour assurer la sécurité et protéger la santé physique et mentale des travailleurs. Il doit notamment prendre en considération les ambiances thermiques dans le cadre de sa démarche d'évaluation des risques, à travers l'élaboration du document unique d'évaluation des risques professionnels (DUERP) et la mise en œuvre d'un plan d'actions.

Évaluer les risques liés aux ambiances thermiques et identifier les mesures de prévention

Un volet important de la formation est ensuite consacré aux effets physiologiques du travail à la chaleur ou au froid sur le corps humain, aux risques pour la santé, ainsi qu'aux différents paramètres des échanges thermiques et leurs mécanismes, abordés grâce aux interventions de différents experts et chercheurs de l'INRS.

Laurence Robert, responsable d'études au sein du département Ingénierie des procédés (Cf. Encadré), partage son expertise et apporte un éclairage sur la métrologie et la caractérisation des ambiances thermiques: « *Je débute mes interventions en rappelant les bases théoriques des différents échanges de chaleur: qu'est-ce que le rayonnement? La convection? Quels paramètres interviennent dans les échanges par évaporation de la sueur? Par la respiration? Dans quelle situation y a-t-il de la conduction thermique?* » détaille-t-elle.

Situation de travail exposant au froid : préparation d'expédition de produits surgelés.



© Gael Kerbaol/INRS/2021

ENCADRÉ

PAROLES D'EXPERT

Entretien avec Laurence Robert, responsable d'études à l'INRS (département Ingénierie des procédés)

Comment avez-vous été amenée, dans le cadre de vos missions, à travailler sur le sujet des ambiances thermiques ?

En 2013, à la demande des centres de mesures physiques des Carsat, un groupe de travail INRS-Carsat a été créé sur le thème des ambiances thermiques, avec deux objectifs : homogénéiser les pratiques métrologiques autour de la mesure des paramètres de l'air nécessaires à toute évaluation, et partager des bonnes pratiques et solutions de prévention mises en œuvre en situation réelle de travail. C'est à l'issue de ces échanges qu'a émergé la proposition de concevoir une formation sur cette thématique.

Pouvez-vous nous parler de votre domaine de recherche ?

Initialement, mon domaine de recherche et d'expertise à l'INRS est celui de la qualité de l'air intérieur. Compte tenu des changements climatiques et des vagues de chaleur associées, l'institut est de plus en plus sollicité sur les risques liés au travail à la chaleur. Différents pôles de l'INRS (experts techniques, médicaux ou juridiques) assurent une assistance auprès des entreprises sur des sujets en lien avec le travail en ambiance thermique dégradée. Ces sollicitations, aussi diverses que le travail en réseau de chauffage souterrain, en entrepôt frigorifique, en verrerie ou en cristallerie, ou encore l'emploi de personnes costumées en parc de loisirs, ou bien équipées de vêtements protecteurs, nous permettent de mieux cerner les besoins, afin d'enrichir le stage.

Quels sont les avancées récentes de vos recherches et leur impact potentiel ?

Avec le groupe de travail, nous avons rédigé un guide d'évaluation des risques liés aux ambiances thermiques contraignantes ou inconfortables qui explicite la démarche à suivre et le calcul des indices nécessaires à l'évaluation d'une situation, qu'il s'agisse de froid, de chaud ou encore d'inconfort thermique. Nous avons développé un calculateur sur Excel, permettant d'obtenir ces indices à partir de paramètres mesurés ou estimés, comme les températures d'air et de rayonnement, l'humidité et la vitesse de l'air, ou encore l'activité physique et la tenue de travail.



© Claude Almodovar pour l'INRS/2021

Ces aspects permettent de comprendre les contenus abordés ensuite, tels que « *l'intérêt de mesurer les paramètres de l'air pour proposer une solution de prévention efficace* », ajoute cette dernière.

Une séance de mesures en situation réelle devant un four à haute température permet, en outre, d'assimiler les différents écueils possibles en métrologie thermique, « *de comprendre le fonctionnement du métabolisme humain et d'appréhender les incidences liées aux ambiances thermiques* », confirme un contrôleur en prévention, participant à ce stage.

Des outils d'aide à l'évaluation des risques développés par l'INRS sont mis en œuvre tout au long de la formation, par le biais d'exercices et de travaux pratiques permettant d'analyser une situation donnée, qu'il s'agisse d'une situation de contrainte froide ou chaude ou encore, d'une situation d'inconfort thermique. « *Ce stage est très intéressant tant par la sensibilisation à cette problématique que par la présentation de démarches d'évaluation concrètes et de paramètres mesurables* », déclare l'un des stagiaires, ingénieur en prévention.

Grâce aux partages d'expériences, les stagiaires sont invités à réfléchir au choix des méthodes d'évaluation mais aussi aux mesures de prévention adaptées. « *Les cas pratiques et les retours d'expériences sont enrichissants, notamment pour ceux qui vont réaliser des mesures en entreprise. Je prévois de mettre en application ces méthodes de mesure au sein de ma structure* », précise ce préventeur en entreprise.

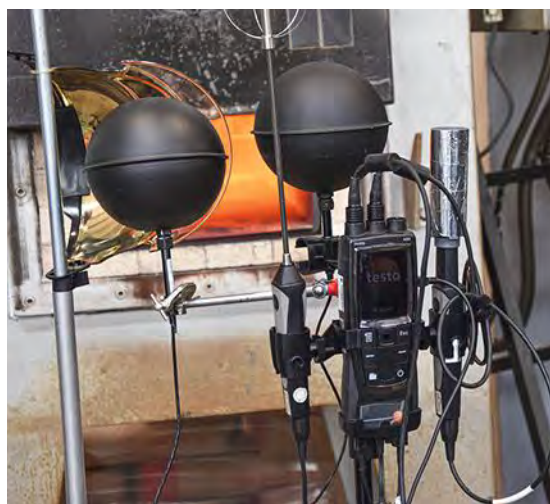
Les équipements de protection et les démarches d'intervention en entreprise

Le marché des équipements de protection propose aujourd'hui de nombreux produits dont

certains sont des outils connectés. Les intervenants partagent ainsi leurs analyses et retours d'expériences sur ces stratégies innovantes pour prévenir le risque thermique, telles que le port de gilets rafraîchissants.

La diversité des profils et des pratiques des intervenants et des apprenants permet d'enrichir les débats, les échanges et le partage des expériences. Suite au succès rencontré par la première édition, l'INRS reconduit ce stage au sein de son offre de formations 2025, avec une session proposée dès janvier. ●

Situation de travail exposant à la chaleur dans le secteur de la restauration.



© Aurélie Périsset/INRS/2024

Mesures d'exposition devant un four à haute température : travaux dirigés organisés dans le cadre de la formation.

POUR EN SAVOIR +

- Pour tout renseignement sur la formation, consulter le site Internet de l'INRS www.inrs.fr et renseigner le code du stage : **JA0501**.
- Le programme complet et les modalités d'inscription sont détaillés sur la page dédiée au stage.

AGENDA / FORMATIONS

Évaluer les risques liés aux agents chimiques (C@1502)

Deux sessions : du 03/03/2025 au 11/04/2025
ou du 01/09/2025 au 10/10/2025
À distance

→ PUBLIC

Ingénieurs, techniciens, fonctionnels « sécurité et santé au travail », autres préventeurs d'entreprise.

Prérequis :

- avoir suivi l'autoformation « *Acquérir les notions de base sur les produits chimiques* » (Réf. C@1501) ;
- produire un justificatif attestant de la capacité à utiliser le logiciel Seirich.

→ OBJECTIFS

Conduire une démarche d'évaluation des risques chimiques en entreprise.

Objectifs pédagogiques :

- détecter les risques liés aux agents chimiques ;
- évaluer et hiérarchiser les risques liés aux agents chimiques ;
- intégrer la surveillance d'atmosphère dans la démarche d'évaluation du risque chimique.

→ CONTENU

- enjeux de l'évaluation des risques chimiques ;
- analyse d'une activité de travail au regard du risque chimique ;
- évaluation du risque chimique : cotation des dangers, hiérarchisation et évaluation des risques chimiques, notamment avec le logiciel Seirich ;
- surveillance des atmosphères de travail.

→ RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

Durée : 14 heures

Responsable pédagogique : Gaëlle AVON

Renseignements, inscriptions :

INRS, Département Formation
65, boulevard Richard-Lenoir, 75011 Paris
E-mail : secretariat.forp@inrs.fr
Coût : 96 € nets (exonération de TVA).

Évaluer et prévenir les risques liés aux agents chimiques (C@1503)

Deux sessions : du 03/03/2025 au 22/05/2025
ou du 01/09/2025 au 20/11/2025
À distance et à Paris

→ PUBLIC

Ingénieurs, techniciens, fonctionnels « sécurité et santé au travail », autres préventeurs d'entreprise.

→ OBJECTIFS

Conduire une démarche d'évaluation des risques chimiques en entreprise.

Objectifs pédagogiques :

- identifier le cadre réglementaire de la prévention des risques chimiques ;
- lire et utiliser les sources d'informations sur les produits chimiques ;
- détecter, évaluer et hiérarchiser les risques liés aux agents chimiques ;
- construire un plan d'actions de prévention du risque chimique.

→ CONTENU

- enjeux de la démarche de prévention des risques chimiques ;
- propriétés physicochimiques et toxicologiques des produits chimiques ;
- étiquette et fiche de données de sécurité (FDS) ;
- réglementation en matière de risques chimiques ;
- analyse d'une activité de travail et évaluation du risque chimique ;
- surveillance des atmosphères de travail ;
- choix des mesures préventives et élaboration d'un plan d'actions.

→ RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

Durée : 32 heures

Responsable pédagogique : Gaëlle AVON

Renseignements, inscriptions :

INRS, Département Formation
65, boulevard Richard-Lenoir, 75011 Paris
E-mail : secretariat.forp@inrs.fr
Coût : 770 € nets (exonération de TVA).

Participer à une démarche de prévention des risques psychosociaux (N12002)

Une session : du 10/03/2025 au 13/03/2025
À Vandœuvre-lès-Nancy

→ PUBLIC

Intervenants et consultants en prévention des risques professionnels, cadres dirigeants, représentants du personnel, responsables HSE, médecins du travail, membres de l'équipe pluridisciplinaire du SPST, contrôleurs de sécurité ou ingénieurs conseils ou formateurs de service prévention de Carsat, Cramif et CGSS.

Prérequis :

Pour s'inscrire à cette formation, il est nécessaire :

- de maîtriser les compétences de base en prévention : autoformation « *Acquérir des bases en prévention des risques professionnels* » (Réf. @O1001) ou formation équivalente ;
- de joindre obligatoirement l'attestation de formation ou la validation par le responsable pédagogique de la formation équivalente.

→ OBJECTIFS

Participer aux choix méthodologiques d'outils, en fonction de son rôle dans la prévention des risques professionnels pour intégrer la prévention des risques psychosociaux (RPS) à la prévention des autres risques professionnels.

Objectifs pédagogiques :

- décrire les causes, effets, conséquences des RPS sur la santé ;
- identifier le cadre réglementaire de la prévention des RPS ;
- préciser les démarches et outils de la prévention des RPS.

→ CONTENU

- causes, effets, atteintes à la santé induits par les RPS ;
- cadre réglementaire et jurisprudentiel (Codes du travail et de la Sécurité sociale) de la prévention des RPS en cas de projet, de réalisation du document unique d'évaluation des risques (DUER), d'alerte ou d'accident du travail, maladie professionnelle, maladie à caractère professionnel (AT/MP/MCP) ;
- organisation du travail de prévention des RPS en cas de projet, de réalisation du DUER, d'alerte ou d'atteinte à la santé ou d'ATMP ;
- outils en cas de projet, de réalisation du DUER, d'alerte ou d'atteinte à la santé ou d'ATMP.

→ RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

Durée : 3 jours

Responsable pédagogique : Marc BENOÎT

Renseignements, inscriptions :

INRS, Département Formation

1, rue du Morvan, CS 60027

54519 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex

E-mail : secretariat.forl@inrs.fr

Coût : 979€ nets (exonération de TVA).

Prévenir les risques liés aux pratiques addictives en milieu professionnel (RU1101)

Une session : du 11/03/2025 au 12/03/2025
À distance

→ PUBLIC

Préventeurs en entreprise, responsables de ressources humaines, membres d'une instance représentative du personnel (commission santé, sécurité et conditions de travail, représentants de proximité et délégués du personnel).

→ OBJECTIFS

Proposer une démarche de prévention des risques professionnels intégrant les pratiques addictives.

Objectifs pédagogiques :

- intégrer les notions nécessaires à la compréhension des pratiques addictives et leurs effets en milieu professionnel ;
- construire une démarche de prévention collective des risques professionnels liés aux pratiques addictives.

→ CONTENU

- généralités sur les pratiques addictives en milieu professionnel ;
- démarche de prévention collective : rôles et missions des acteurs internes à l'entreprise (instances représentatives du personnel, service de santé au travail), ressources externes, actions de prévention, gestion des situations d'urgence ;
- contexte réglementaire.

→ RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

Durée : 2 jours

Responsable pédagogique : Marc BENOÎT

Renseignements, inscriptions :

INRS, Département Formation

Vandœuvre-lès-Nancy

E-mail : secretariat.forl@inrs.fr

Coût : 653 € nets (exonération de TVA).

POUR EN SAVOIR +

- Retrouvez toute l'offre de formation de l'INRS sur : www.inrs.fr/services/formation.html

AGENDA/ÉVÉNEMENTS



4 ET 5 FÉVRIER 2025, PARIS

Le radon : exposition et prévention du risque - Journées techniques de la SFRP

La Société française de radioprotection (SFRP) organise des journées techniques consacrées à la prévention des risques liés au radon. L'objectif est d'apporter des éléments de compréhension (techniques, scientifiques et réglementaires) et de partager des retours d'expériences pour faciliter la compréhension de ce risque. Ces journées s'adressent à tous les acteurs impliqués dans la prévention et la gestion du risque radon : gestionnaires d'immeubles ou de collectivités, acteurs locaux, professionnels du bâtiment, chargés de prévention, personnels des services de prévention et de santé au travail, conseillers en radioprotection, chefs d'entreprise, représentants du personnel.

Renseignements - Inscriptions :

[+ https://sfrp.asso.fr/blog/les-manifestations/33996/](https://sfrp.asso.fr/blog/les-manifestations/33996/)



25 MARS 2025, PARIS ET EN DIRECT SUR INTERNET

Journée technique de l'INRS – Prévenir les risques liés aux machines : agir tout au long du cycle de vie

Omniprésentes, notamment dans l'industrie, les machines ont des niveaux de complexité hétérogènes mais elles ont en commun d'utiliser

de l'énergie pour la transformer en mouvement. Elles génèrent de ce fait des risques pour les salariés. Écrasements, coupures, coincements..., comptent parmi les principaux risques, mais selon le procédé mis en œuvre, les machines sont également sources de nuisances physiques (bruits, vibrations, etc.), de troubles musculosquelettiques, de risques chimiques, biologiques, etc. À chacune des étapes du cycle de vie d'une machine, de la conception à la modification en passant par l'acquisition, l'exploitation et la maintenance, les entreprises ont un rôle clé à jouer pour prévenir les risques professionnels. Cette journée technique s'adresse à tous ceux (chargés de prévention, chefs d'entreprise et intégrateurs) qui s'interrogent sur les risques, les bonnes pratiques et les mesures de prévention à mettre en place pour protéger les utilisateurs de machines.

Renseignements - Inscriptions :

[+ https://jtmachines2025.inrs.fr/](https://jtmachines2025.inrs.fr/)

26 AU 28 MARS 2025, BORDEAUX

31^{es} Journées de Bordeaux sur la pratique de l'ergonomie

Organisées par la Société d'ergonomie de langue française (Self), les 31^{es} journées de Bordeaux sur la pratique de l'ergonomie auront pour thème « L'expérience de l'intervention : c'est quoi "être ergonomiste" aujourd'hui ? ».



4 AU 6 JUIN 2025, TOURS

37^{es} Journées nationales de santé au travail dans le BTP

Le thème de l'édition 2025 des Journées nationales de santé au travail dans le BTP est « Le réchauffement climatique et ses impacts

dans le secteur du bâtiment et des travaux publics ». L'objectif de la rencontre est d'inviter les spécialistes de la santé au travail à réfléchir aux réponses à apporter aux impacts des bouleversements environnementaux qui se dessinent dans le secteur du BTP.

Renseignements - Inscriptions :

+ <https://www.journees-sante-travail-btp.fr/>



11 AU 13 JUIN 2025, STRASBOURG

Journées nationales du Groupement des infirmiers de santé au travail (GIT)

Organisées par le Groupement des infirmiers de santé au travail (GIT), les journées nationales d'études et de formation porteront en 2025 sur les évolutions de la profession d'infirmier, en lien avec les transformations des organisations du travail.

Renseignements - Inscriptions :

+ <https://www.git-france.org/>



17 AU 19 JUIN 2025, LA BAULE

Congrès national de radioprotection 2025

Le 15^e congrès national de radioprotection organisé par la Société française de radioprotection (SFRP) aura lieu à La Baule du 17 au 19 juin 2025. Cette édition sera l'occasion pour tous les professionnels impliqués dans la protection contre les rayonnements ionisants et non ionisants, dans les domaines

de la recherche, de la médecine, de l'industrie et de l'électronucléaire, de présenter leurs réflexions et travaux les plus récents. Une dizaine de thèmes permettra de favoriser les échanges d'expérience entre professionnels, ainsi que les interactions entre disciplines (aspects réglementaires, effets sur la santé, nouvelles technologies, innovations en radioprotection, etc.).

Renseignements - Inscriptions :

+ <https://sfrp.asso.fr/blog/les-manifestations/congres-national-de-radioprotection-sfrp-2025/>



2 AU 4 JUILLET 2025, UNIVERSITÉ PARIS-NANTERRE

58^e Congrès de la Société d'ergonomie de langue française (Self)

La 58^e édition du congrès de la Société d'ergonomie de langue française (Self) se tiendra du 2 au 6 juillet 2025 et aura pour thème « Ergonomie, communauté(s) et société : entre héritages et perspectives ». Ce congrès vise à mettre en lumière la diversité des formes de pratique de l'ergonomie, dans les pays francophones et ailleurs dans le monde. Il se veut une occasion d'échanger sur la manière dont elle s'est structurée historiquement et sur les perspectives pour l'avenir. Un appel à communication est ouvert, portant sur deux axes :

- influences croisées entre ergonomie de l'activité et société : évolutions des connaissances et des pratiques;
- communauté(s) de l'ergonomie : structuration et dynamiques.

Renseignements - Inscriptions :

+ <https://ergonomie-self.org/evenement/58e-congres-de-la-societe-dergonomie-de-langue-francaise/>

POUR EN SAVOIR +

- *L'agenda complet des rencontres recensées par l'INRS est accessible sur : www.inrs.fr/footer/agenda.html*

Sélection bibliographique

À LIRE, À VOIR

Les publications de l'INRS sont consultables et téléchargeables sur : www.inrs.fr/Rubriques « Publications et outils/Brochures et dépliants » ou « Affiches et autocollants » (papier/Web) et « Vidéos ».



Traitement des données pour les prélèvements par impacteur en cascade

INRS, 2024, outil 129, Web uniquement (*nouveauté*).

Cet outil a pour objectif principal d'aider les acteurs en prévention (laboratoires de mesures des Carsat/Cramif, IPRP, etc.) à traiter et à analyser les données recueillies lors de prélèvements d'air dans les lieux de travail par impacteurs en cascade, afin de les harmoniser. Il permet, d'une part, de représenter graphiquement la granulométrie obtenue et, d'autre part, de déterminer un indicateur d'intérêt. Il est actuellement utilisable pour trois types d'impacteurs en cascade pouvant être déployés lors de prélèvements individuels ou d'ambiance : le Mini-Moudi 135-8, le Sioutas et le Marple. Ces dispositifs de prélèvement sont présentés dans le guide Métropol « Prélèvement des aérosols par impacteur en cascade » (voir : <https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/guide-methodologique-metropol.html>).



Centres de contrôle technique. Prévenir les risques professionnels

INRS, 2024, dossier Web ; dépliant ED 6534, coll. TPE-PME ; outil n° 131, Web uniquement (*nouveautés*).

Les salariés des centres de contrôle technique sont exposés à des risques professionnels de diverses natures : chutes de plain-pied, chutes de hauteur, troubles musculosquelettiques, inhalation de gaz d'échappement... L'INRS propose des ressources documentaires pour mieux comprendre ces risques, les prévenir et réaliser le document unique d'évaluation des risques professionnels (DUERP) :

- un dossier Web permettant d'appréhender les spécificités de ce secteur d'activité et d'aider à mieux prévenir les risques associés ;
- un dépliant de sensibilisation, présentant les principaux risques rencontrés dans cette activité, ainsi que les chiffres-clés en matière d'accidents du travail et de maladies professionnelles. Il rappelle également les situations pouvant être à l'origine d'accidents du travail, ainsi que les solutions de prévention incontournables pour passer à l'action ;
- un outil permettant de réaliser le DUERP et de télécharger un plan d'actions adapté aux spécificités. Il est également possible d'ajouter des risques ou des mesures en fonction de la situation de chaque entreprise.



La notion de facteur en prévention des risques professionnels

INRS, 2024, fiche ED 8004, coll. Décryptage (*nouveauté*).

Prévenir les risques professionnels suppose d'agir sur de nombreux facteurs. Ce décryptage propose de préciser la signification de cette notion de facteur, définit ses usages en santé et sécurité au travail et aborde la notion de facteur humain.



Nouvelles technologies d'assistance physique (exosquelettes, robots...). Comment réussir leur intégration ?

INRS, 2024, brochure ED 6531, coll. Démarche de prévention (*nouveauté*).

Ce document propose des repères méthodologiques aux entreprises qui cherchent à intégrer de nouvelles technologies d'assistance physique (exosquelettes, robots et autres). Il a pour objectif d'aider les entreprises à statuer sur la nécessité ou non de recourir à ces technologies, d'anticiper les risques potentiels induits par ces nouvelles technologies et de donner des clés pour réussir leur intégration.



Les abattoirs. Repérage des risques et bonnes pratiques de prévention

INRS, 2024, brochure ED 6525, coll. Démarche de prévention (*nouveauté*).

Ce guide a pour objectif d'accompagner les professionnels de ce secteur dans une démarche d'évaluation et de prévention des risques professionnels, en les aidant à repérer les situations dangereuses tout au long du processus d'abattage (de l'arrivée des animaux au ressuyage) et à prendre les mesures de prévention adaptées. Il traite des risques encourus par les opérateurs de production, de maintenance et de nettoyage sur site, mais également par les personnels annexes, tels que les agents vétérinaires, des abattoirs mixtes ou spécialisés. Le guide permet d'identifier les risques à chaque étape du processus d'abattage et de connaître les bonnes pratiques en matière de prévention.



Déchets infectieux. Élimination des Dasri et pièces anatomiques humaines

INRS, 2024, brochure ED 6535, coll. Démarche de prévention (*nouveauté*).

Les déchets d'activités de soins à risques infectieux (Dasri) et assimilés peuvent être présents dans de nombreux secteurs d'activité. Les personnels qui produisent, collectent, transportent et traitent de tels déchets peuvent être exposés aux agents biologiques pathogènes potentiellement présents.

Pour prévenir ces risques, il est important d'établir des procédures de travail limitant l'exposition des salariés et de respecter les circuits d'élimination spécifiques.



Vapeurs d'essence. Les bonnes pratiques à adopter. Ateliers auto, moto, motoculture

INRS, 2024, dépliant ED 6542 (*nouveauté*).

Parmi les hydrocarbures que les essences contiennent, on retrouve toujours du benzène, produit cancérigène pour l'homme. Ce dépliant donne aux salariés travaillant dans les ateliers auto, moto et motoculture des conseils pratiques pour prévenir les risques liés au benzène.



Des enceintes ventilées pour différents usages

INRS, 2024, fiche ED 157, coll. Fiche pratique de sécurité (*nouveauté*).

Certaines situations professionnelles exposent l'opérateur, l'environnement et le produit à des agents chimiques ou biologiques dangereux, qu'il est possible de confiner dans une enceinte ventilée. Cette fiche pratique explique comment choisir l'enceinte ventilée adaptée à chaque situation de travail.



Outil d'évaluation des risques biologiques

INRS, 2024, outil 05, Web uniquement (*nouveauté*).

Afin d'améliorer la prise en charge des risques biologiques en entreprise, l'INRS et le réseau Assurance maladie – Risques professionnels proposent un outil numérique permettant d'aider les professionnels à évaluer les risques biologiques. Simple d'utilisation et libre d'accès, cet outil permet de définir des mesures de prévention et d'obtenir un plan d'actions.



Risques biologiques et grossesse : le cas du personnel en établissement d'accueil de jeunes enfants

INRS, 2024, vidéo Anim-418, coll. Podcast, Web uniquement (*nouveauté*).

Dans les établissements d'accueil de jeunes enfants, le personnel est potentiellement exposé à des agents biologiques pathogènes qui, en cas d'infection pendant la grossesse, peuvent avoir des effets néfastes pour la femme enceinte ou le fœtus. Il est essentiel d'anticiper ces risques pour protéger au mieux les salariées enceintes. Ce podcast est issu d'un module de formation en ligne à destination des professionnels des services de prévention et de santé au travail.



Barbe rasée, masque ajusté. Bien protégé

INRS, 2024, affiche AA 911 (*nouveauté*).



Lavez-vous les mains pour vous protéger et protéger les autres

INRS, 2024, affiche AD 907 (*nouveauté*).



Lavez-vous les mains en 6 étapes

INRS, 2024, autocollant AK 908 (*nouveauté*).



Pensez à vous laver les mains

INRS, 2024, autocollant AK 909 (*nouveauté*).



Les fiches HST

COMMENT CONSULTER BAOBAB, LA BASE D'OBSERVATION DES AGENTS BIOLOGIQUES

La base de données Baobab est une aide à l'évaluation des risques biologiques. Elle contient des fiches synthétiques destinées à un large public. Elle reprend tous les agents biologiques infectieux à risque classés par la réglementation, en apportant pour chacun des informations réglementaires et épidémiologiques.

Cette base de données aide à évaluer les risques biologiques au travail. Elle contient des fiches synthétiques sur les 511 agents biologiques et toxines classés par le Code du travail et le Code de la santé publique, pour les risques qu'ils peuvent entraîner en milieu professionnel ou en santé publique. Les fiches Baobab contiennent de nombreuses rubriques fournissant des informations épidémiologiques et réglementaires. Le moteur de recherche reprend ces rubriques et permet ainsi de trouver les agents biologiques répondant aux critères sélectionnés.

Quelles informations sont contenues dans la base ?

Les 511 fiches sont issues :

- du Code du travail, qui liste les bactéries, virus, moisissures, levures, endoparasites et prions appartenant aux groupes de risques infectieux 2, 3, 4, présentant une gravité croissante pour les travailleurs ;
- du Code de la santé publique, qui liste certains micro-organismes et toxines (MOT) dont l'emploi serait de nature à présenter un risque pour la santé publique. Baobab fournit, pour chaque agent biologique ou toxine recensé par la réglementation, une fiche comprenant :
 - **une description synthétique de l'agent** : le type d'agent (bactérie, virus...), la maladie qu'il peut occasionner et s'il s'agit d'un agent opportuniste (qui entraîne une maladie principalement chez les personnes aux défenses immunitaires affaiblies) ;
 - **des points réglementaires relatifs à cet agent** : son groupe de risque infectieux, s'il est cité dans un tableau de maladie professionnelle, s'il fait partie des MOT, si la maladie qu'il entraîne est à déclaration obligatoire ;

Chlamydia psittaci (souches aviaires)

Description

Autres noms	• Chlamydoxiphila psittaci
Type	Bactérie
Maladie(s)	Chlamydie (ou psittacose, ornithose) Souvent simple malaise général pseudo-grippal. Forme sévère possible : fièvre élevée, frissons, sueurs, douleurs musculaires, broncho-pneumopathie avec toux sèche, troubles digestifs, maux de tête et troubles de la conscience pouvant aller jusqu'au coma. Traitement antibiotique.

Réglementation

Groupe de risque infectieux	3
Tableau des maladies professionnelles du régime général	• RG 87 : Ornithose-psittacose
Tableau des maladies professionnelles du régime agricole	• RA 52 : Psittacose
MOT (Micro-organismes et toxines)	non
Maladie à déclaration obligatoire	non

Epidémiologie

Voies de transmission	• respiratoire
Commentaire	Transmission par inhalation d'aérosols contaminés par les fientes d'un animal infectieux.
Zoonose	oui
Réservoirs	• dindes • oiseaux de volière • oiseaux sauvages • palmipèdes • pigeons • poules
Sources de contamination	• poussières contaminées • selles
Distribution géographique	• Afrique • Amérique du nord • Amérique du sud • Asie • Europe • France métropolitaine • Inde • Moyen-Orient • Océanie • Tropicales / sub-tropicale

Liens utiles

Liens internet	• Eficati • Fiches zoonoses • Fiche technique santé-sécurité du Canada
----------------	--

• **des données épidémiologiques** : les voies de transmission aux humains, s'il s'agit d'une zoonose (agent biologique passant de l'animal à l'homme), les réservoirs (où l'agent biologique se trouve naturellement), les sources plus précises de contamination (sang, urine, etc.) et les zones géographiques où l'agent biologique est le plus couramment rencontré. Des liens vers des sites spécialisés permettent d'en savoir plus sur l'agent biologique concerné.

Comment utiliser la base ?

Le moteur de recherche reprend toutes les rubriques des fiches Baobab, qu'il est possible de croiser à volonté pour trouver les informations désirées. Cette recherche peut se faire par exemple en :

- saisissant le nom (complet ou partiel) d'un agent biologique ou d'une maladie ;
- sélectionnant un groupe de risque pour connaître tous les agents biologiques appartenant à ce groupe ;
- sélectionnant un réservoir (eau, sol, humain, bovin, rat...) pour connaître les agents biologiques potentiellement présents ;
- sélectionnant un réservoir et une voie de transmission (respiratoire, muqueuse...), pour connaître les agents biologiques potentiellement présents dans ce réservoir et pouvant se transmettre aux humains par cette voie. Si l'exposition d'un salarié à un réservoir concorde avec la voie de transmission d'agents biologiques potentiellement présents dans ce réservoir, le salarié encourt alors un risque biologique.

L'intérêt du moteur de recherche est de pouvoir croiser de nombreux critères en fonction du contexte professionnel, afin d'évaluer les risques biologiques. ●

ENCADRÉ EXEMPLE D'UTILISATION DE BAOBAB

L'observation des opérations de nettoyage au jet d'eau à haute pression montre qu'un salarié inhale des aérosols d'eau. Baobab permet de savoir si, dans l'eau inhalée par le salarié, peuvent se trouver des agents biologiques transmissibles par voie respiratoire. Pour cela, il suffit de sélectionner dans le moteur de recherche : réservoir = eau et voie de transmission = respiratoire. Une liste des agents répondant à ces critères apparaît. Un simple clic sur le nom d'un agent biologique permet d'ouvrir sa fiche. Cette recherche peut encore être affinée en sélectionnant d'autres critères comme la zone géographique, le type d'agent biologique, etc.

Conception-rédaction : Christine DAVID, INRS, département Expertise et conseil technique

Base Baobab

Base d'observation des agents biologiques



Cette base de données est une aide à l'évaluation des risques biologiques. Elle contient des fiches synthétiques destinées à un large public.

La base reprend tous les agents biologiques infectieux classés par la réglementation, en apportant pour chacun des informations réglementaires et épidémiologiques.

À l'aide du moteur de recherche, il est possible de connaître tous les agents appartenant à un groupe de risque, de trouver les agents biologiques potentiellement présents dans un réservoir (animal, eau, sol...) et leurs voies de transmission (peau, respiratoire...).

Une très importante mise à jour de Baobab permet de retrouver tous les agents biologiques classés par l'arrêté du 16 novembre 2021

Rechercher dans la base Baobab

Rechercher un agent
Index alphabétique

Type d'agent

Bactérie Virus Champignon ATNC (prions)
 Parasite Toxine Indifférent

Nom de l'agent

Nom de l'agent

Maladie(s)

Maladie(s)

Groupe de risque infectieux

2 3 3* 4

MOT (Micro-organismes et toxines)

Oui Non Indifférent

Tableaux de maladies professionnelles du régime général

Choisir ...

Tableaux de maladies professionnelles du régime agricole

Choisir ...

Maladie à déclaration obligatoire

Oui Non Indifférent

Voies de transmission

Peau Muqueuses Digestive Respiratoire

Réservoirs

eau

Sources de contamination

Choisir ...

Distribution géographique

Choisir ...

Mots libres

Mots libres

Effacer la recherche
Rechercher

© INRS

Résultats de la recherche dans la base Baobab

Voies de transmission : respiratoire
Réservoirs : eau

32 résultats

Trier les résultats

par titre

Francisella tularensis subsp. novicida

Francisella novicida
Bactérie du groupe 2

Date de mise à jour : août 2023

Legionella pneumophila subsp. fraseri

Bactérie du groupe 2

Date de mise à jour : juin 2023

Legionella pneumophila subsp. pascuiei

Bactérie du groupe 2

Date de mise à jour : juin 2023

© INRS



HYGIÈNE & SÉCURITÉ DU TRAVAIL (HST)

publication éditée par
l'INRS, Institut national de
recherche et de sécurité pour
la prévention des accidents
du travail et des maladies
professionnelles

65, boulevard Richard-Lenoir
75011 Paris – France
Tél.: 01 40 44 30 00
Dépôt légal :
4^e trimestre 2024
n° 24010062
ISSN 0007-9952
[www.inrs.fr/publications/
hst/dans-ce-numero.html](http://www.inrs.fr/publications/hst/dans-ce-numero.html)

INRS service abonnements

Service Magasin, gestion,
diffusion, édition et
reproduction (MGDER)
Hygiène & sécurité du travail
Rue du Morvan, CS 60027
Tél.: 03 83 50 20 08 /
03 83 50 98 61
abo.revues@inrs.fr

Photogravure

Keygraphic

Impression

Corlet Imprimeur
14110 Condé-sur-Noireau
France

L'autorisation de reproduire
totalement ou partiellement
des articles parus dans
Hygiène et sécurité du travail
(HST) doit être sollicitée
à l'avance et par écrit.
Toute reproduction, quel
qu'en soit le support
(à l'exception des copies
à usage interne), qui n'aurait
pas été précédée d'un accord
préalable, serait effectuée
en violation des droits
de l'éditeur.



**Retrouvez
tous les articles sur
www.hst.fr**