HYGIÈNE & SÉCURITÉ DU TRAVAIL

La revue technique de l'INRS

avril • mai • juin 2021

N° 263

/ Décryptage /
La désinfection des lieux de travail : quelle stratégie ?

/ Normalisation /
La normalisation européenne des masques « barrières » ne fait pas l'unanimité

/ Étude de cas /
Foyers de Covid-19 dans les abattoirs en 2020 : état des lieux et préconisations

/ Congrès /
Les biotechnologies. Quels secteurs ? Quels risques ? Quelle prévention ?

Dossier

La mesure des expositions aux agents chimiques : techniques et outils

Institut National de Recherche et de Sécurité

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 des hommes ;
• de concevoir, de diffuser et de promouvoir des solutions de prévention auprès de tous les acteurs de prévention : chefs d'entreprise, salariés, élus CSE/CSSCT/CHSCT/DP/RP, agents du réseau Assurance maladie – Risques professionnels (AM-RP), spécialistes de la prévention des risques professionnels en entreprise ou en expertise / conseil, services de santé au travail…
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 :

Abonnez-vous en ligne sur

hst.fr

LE MOT du Directeur de la publication

© Serge Morillon/INRS/2017

Apporter les connaissances, méthodes et outils pour mettre en œuvre des solutions de prévention en entreprise, c'est l'objectif de la revue trimestrielle technique de l'INRS, *Hygiène & sécurité du travail.*

Depuis plusieurs années, la revue a profondément évolué, avec en 2013, une nouvelle formule, plus adaptée aux besoins des personnels en charge de la prévention des risques professionnels, de la mesure et du contrôle, dans et auprès des entreprises. En témoignent les dossiers déjà proposés, portant sur un thème précis de prévention (bruit, risques psychosociaux, polyexpositions chimiques massives et diffuses, opérations de maintenance…) et ceux à venir, comme celui que vous pourrez lire en page 18 et suivantes, sur les outils et techniques de mesure du risque chimique.

Sans perdre de vue les décryptages, les études de cas, les articles de veille et prospective, etc., et nos célèbres « notes techniques », qui représentent depuis la création de la revue en 1955, un socle de connaissances que l'INRS met à disposition de tous, pour la prévention des risques professionnels. Vous pouvez retrouver l'ensemble des articles de la revue parus sur Internet (accessibles sur : www.hst.fr).

En 2021, nos modes de diffusion évoluent. La revue sera désormais diffusée par l'INRS à l'ensemble des entreprises de plus de 350 salariés cotisant au régime général de la Sécurité sociale, ainsi qu'à nos partenaires ou représentants de la branche Accidents du travail – Maladies professionnelles, et en profite pour effectuer une légère mue graphique, avec l'évolution de sa couverture et de quelques pages intérieures.

« La revue sera désormais diffusée par l'INRS à l'ensemble des entreprises de plus de 350 salariés cotisant au régime général de la Sécurité sociale »

La pandémie de Covid-19 a bouleversé les situations et les relations de travail et rappelé qu'un engagement fort dans la prévention contribuait efficacement à la préservation de la santé au travail. Pour accompagner et soutenir les entreprises et leurs salariés face à ces enjeux sanitaires, sur l'ensemble des risques professionnels, l'INRS est resté et reste mobilisé, *via* ses quatre modalités d'actions (assistance, études et recherche, formation et information).

Rendez-vous sur le site de l'Institut (www.inrs.fr), qui héberge, au-delà des pages de votre revue, de très nombreux contenus utiles pour la prévention : dossiers, brochures, vidéos, articles, résultats de recherches, pages d'actualités…

Chers lecteurs, anciens et nouveaux, la revue vous donne donc rendez-vous chaque trimestre pour, je l'espère, vous accompagner dans vos missions quotidiennes, au service de la protection de la santé et la sécurité au travail.

En vous souhaitant une bonne et enrichissante lecture,

Stéphane PIMBERT, *Directeur général de l'INRS.*

HYGIÈNE & SÉCURITÉ DU TRAVAIL

LA REVUE TRIMESTRIELLE TECHNIQUE DE L'INRS

Des articles
d'analyse et de synthèse

Des actualités
juridiques et normatives

Des outils
pratiques et des méthodes

Pour vous aider
à mettre en œuvre
la **prévention des risques professionnels**
en entreprise

Retrouvez tous les articles sur hst.fr

HYGIÈNE ET 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
Taina Grastilleur, Maud Foutiau
Corrections
Amélie Lemaire
Maquettes et infographies, INRS
Nadia Bouda
Iconographe, INRS
Sandrine Voulyzé
Chargée de fabrication, INRS
Bahija Augenstein
Assistante, INRS

COMITÉ ÉDITORIAL
Agnès Aublet-Cuvelier
Adjointe au Directeur des études et recherche, INRS
Jean-Pierre Leclerc
Chef du département Ingénierie des procédés, INRS
Patricia Bernard, Antoine Bondéelle
Équipe de rédaction, INRS
Séverine Brunet
Directrice des Applications, INRS
Louis Laurent
Directeur des Études et recherche, INRS
Fahima Lekhchine
Chef du département Information et communication, INRS
Jérôme Triolet
Chef du département Expertise et conseil technique, INRS
Delphine Vaudoux
Responsable du pôle Publications périodiques, INRS

ONT PARTICIPÉ À CE NUMÉRO
Sébastien Artous, Sébastien Bau, Aïda Boughammoura, Myriam Bouslama, Pierre-Yves Branquart, Philippe Claudel, Frédéric Clerc, Jennifer Clerté, Bruno Courtois, Christine David, Maximilien Debia, Philippe Duquenne, Guillaume Egels, Andréa Emili, Williams Estève, Odile Frantz, Michel Héry, Louis Laurent, Marc Malenfer, Gautier Mater, Romain Mouillseaux, Nadia Nikolova-Pavageau, Cosmin Patrascu, Cécile Philippot, Jean-François Sauvé, Émilie Seto, Joséphine Steck, Michaël Thierbach, et le département Études, veille et assistance documentaires (INRS).

Photo de couverture :
© Gaël Kerbaol/INRS/2018

Les Notes techniques peuvent faire l'objet d'une relecture critique par des experts externes et indépendants.

L'édito *de...*

MAXIMILIEN DEBIA, Professeur agrégé, Département de santé environnementale et santé au travail, École de santé publique de l'Université de Montréal (Québec, Canada)

© Maximilien Debia

C'est avec grand plaisir que j'ai accepté l'invitation d'écrire quelques lignes pour présenter le présent dossier sur « *La mesure des expositions au risque chimique : techniques et outils* ». En tant que professeur en hygiène du travail et responsable des laboratoires en hygiène du travail de l'École de santé publique de l'Université de Montréal, c'est avec intérêt que j'ai consulté les quatre articles présentés dans ce dossier, qui permettent de comprendre la place de la métrologie dans le cadre général de l'évaluation des risques chimiques, mais aussi la démarche et la stratégie à mettre en place pour pouvoir conclure s'il existe un dépassement de l a valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) à un poste de travail. Les notions de groupe d'exposition similaire, de variabilité des niveaux d'exposition, l'importance d'établir des objectifs du mesurage, y sont aussi expliquées. Le dossier ne se limite pas au mesurage de l'air des lieux de travail, mais aborde aussi les avantages et les limites de la surveillance biologique des expositions professionnelles et des prélèvements surfaciques, ainsi que leurs complémentarités avec le mesurage en zone respiratoire du travailleur, pour évaluer les expositions au risque chimique.

La référence aux neuf principes généraux de prévention, tirés du Code du Travail français, qui indiquent la direction à suivre pour maîtriser les risques et place l'évaluation des risques dans la démarche de prévention, est indispensable.

« Ce dossier [...] permet de comprendre la place de la métrologie dans le cadre général de l'évaluation des risques chimiques »

Ces principes renvoient aussi à la notion d'anticipation des risques et de remplacement des substances présentant un danger, avant même de procéder à des mesurages. Il est important de s'attarder sur ces notions de prévention primaire.

Toutes les études de mesure d'exposition (souvent appelées enquêtes approfondies) devraient être précédées d'une évaluation préliminaire pour en évaluer la pertinence et en prioriser les actions. Dans certains cas, des actions immédiates sur les produits employés ou sur certains déterminants de l'exposition peuvent être prises pour améliorer les conditions de travail. J'ai immédiatement pu constater les liens étroits, on pourrait même dire fraternels, qui unissent la pratique de l'évaluation des expositions professionnelles, entre la France et le Québec. Tant sur les techniques ou stratégies pour interpréter les données d'exposition que sur les outils disponibles pour les préventeurs (que l'on appelle des intervenants au Québec), la similarité est frappante, faisant ressortir les liens passés et présents entre des chercheurs des deux côtés. Je signale d'ailleurs aux lecteurs la sortie du manuel *Hygiène du travail : du diagnostic à la maîtrise des facteurs de risque**, comme un complément d'intérêt aux informations présentées dans ce numéro.

L'outil INRS MiXie-France, d'aide à la décision pour les interactions toxicologiques, a été développé à partir d'une première mouture créée au Québec, conjointement par l'Université de Montréal et l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST). Les deux versions évoluent d'ailleurs aujourd'hui en collaboration étroite des différentes institutions. Il est aussi question d'Altrex Chimie, qui permet de réaliser l'évaluation statistique des mesures d'exposition professionnelle. Ce logiciel, précurseur dans le domaine, a en partie inspiré la création de la nouvelle plateforme Expostats par l'Université de Montréal**.

* *Voir en particulier le chapitre 16 du volume, coécrit par des scientifiques français et québécois : LAVOUÉ J., MATER G., SAUVÉ J.F., OUELLET C. – Enquête approfondie en hygiène du travail : évaluation et interprétation des données. In : ASSOCIATION QUÉBÉCOISE POUR L'HYGIÈNE, LA SANTÉ ET LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL (AQHSST) – Hygiène du travail : du diagnostic à la maîtrise des facteurs de risque (2e édition). Modulo éd., 2021, 788 p.*

** *Voir : https://www.expostats.ca.*

SOMMAIRE

Savoirs & actualités

Décryptage
La désinfection des lieux de travail : quelle stratégie ?
P. 07

Actualité juridique
Sélection juridique
P. 14

Focus normalisation
La normalisation européenne des masques « barrières » ne fait pas l'unanimité
P. 16

Dossier
La mesure des expositions aux agents chimiques : techniques et outils

- Les objectifs et les intérêts de la mesure des expositions aux agents chimiques
P. 20

- Les contraintes de la mesure des expositions aux agents chimiques
P. 26

- Les techniques de mesure
P. 32

- Complémentarité, similarités, antagonismes et limites de la mesure à travers deux exemples
P. 40

Mesure des expositions chimiques sur chantier.

Lire Dossier p. 18.

© Grégoire Maisonneuve pour l'INRS/2011

Études & solutions

Notes techniques

• Expositions professionnelles lors de la fabrication additive utilisant des poudres métalliques
P. 45

• Détermination des valeurs limites de l'exposition aux champs électromagnétiques. Les grands principes
P. 54

Étude de cas

• Foyers de Covid-19 dans les abattoirs en 2020 : état des lieux et préconisations
P. 62

Bases de données

• Portrait rétrospectif de l'exposition professionnelle au perchloroéthylène en France de 1987 à 2019
P. 66

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

Agenda & services

Congrès

Les biotechnologies. Quels secteurs ? Quels risques ? Quelle prévention ?
P. 73

Agenda / Congrès
P. 77

Participez à la recherche

L'INRS a besoin de vous
P. 79

Formation

Évolution des formations du secteur sanitaire et médico-social : Prap-2S et APS-ASD
P. 80

Agenda / Formations
P. 84

Sélection bibliographique

À lire, à voir
P. 86

Veille & prospective

Prospective

État de la veille et de la prospective 2020
P. 89

à détacher

Les fiches HST

Comment utiliser le portail documentaire de l'INRS pour réaliser une veille en santé et sécurité au travail ?

Savoirs & actualités

Décryptage
La désinfection des lieux de travail : quelle stratégie ?
P. 07

Actualité juridique
Sélection juridique
P. 14

Focus normalisation
La normalisation européenne des masques « barrières » ne fait pas l'unanimité
P. 16

Dossier
La mesure des expositions aux agents chimiques : techniques et outils
P. 18

Décryptage

LA DÉSINFECTION DES LIEUX DE TRAVAIL : QUELLE STRATÉGIE ?

Un nombre et une diversité considérables de micro-organismes (bactéries, levures, virus, etc.) sont susceptibles d'être présents sur les lieux de travail. En fonction des dangers qu'ils représentent pour la santé humaine, plusieurs solutions permettent de prévenir les risques. Encore faut-il que ces solutions soient à la fois adaptées à l'activité, aux secteurs, aux micro-organismes, etc., et ne présentent pas davantage de risques qu'elles n'en préviennent.

DISINFECTION: WHAT STRATEGY? – ***A considerable number and diversity of micro-organisms (bacteria, yeasts, viruses, etc.) can be present in the workplace. Depending on the hazards they pose to human health, several solutions can be implemented to prevent the risks. However, these solutions must be both relevant and suitable (to the activity/sector/micro-organisms, etc.) and must not create a greater risk than they prevent.***

CHRISTINE DAVID
INRS, département Expertise et conseil technique

Le XIXe siècle a vu l'exploration d'un monde inconnu jusque-là : celui des microbes. Pasteur, Koch et d'autres ont permis de mettre des noms sur ces êtres uniquement visibles au microscope, responsables des maladies qui ravageaient les populations humaines et animales. Une guerre systématique et impitoyable fut alors déclarée aux microbes. Il fallut attendre la fin du XXe siècle pour se rendre compte de l'ampleur du monde microscopique qui nous entourait et de l'effet bénéfique de l'immense majorité des microbes. Il s'agissait alors non plus d'exterminer systématiquement les micro-organismes, mais d'exploiter leurs propriétés dans des biotechnologies et de lutter uniquement de façon ciblée contre certains pathogènes. Ce dernier objectif ne peut être atteint qu'en ayant la capacité de discerner l'utilité ou non d'une opération de désinfection et l'efficacité des procédés employés.

À la rencontre du monde microscopique

Des machines à se reproduire

Les êtres vivants sont formés de cellules délimitées par une membrane, contenant un génome [1] et toute une machinerie qui sert à produire des molécules participant soit à la construction de la cellule elle-même, soit à des réactions chimiques lui permettant de vivre : le métabolisme. Ce dernier permet de dégrader des molécules de l'environnement dont la cellule se « nourrit » (les nutriments) et de synthétiser des molécules plus complexes.

Les micro-organismes sont le plus souvent unicellulaires ; autrement dit, une cellule remplit toutes les fonctions : nutrition, locomotion, reproduction… Ils comptent une phénoménale variété de structures, de formes et de modes de vie, ce qui a donné lieu à leur classement en : bactéries, moisissures, levures… Les micro-organismes ont de nombreuses façons de se multiplier grâce à leur machinerie, en se clonant ou en s'accouplant.

Les virus, classés parmi les micro-organismes, ne sont pas des cellules au sens strict. Les « virus nus » sont composés uniquement de leur génome (avec parfois quelques autres molécules), entouré d'une coque de protéines. D'autres virus, entourés en plus d'une enveloppe lipidique, sont appelés « virus enveloppés ». Les virus ne possèdent aucune machinerie leur permettant d'avoir un métabolisme ou de se répliquer par leurs propres moyens. Un virus doit donc pénétrer dans une cellule (chaque virus a ses cellules cibles favorites), pour utiliser à son profit la machinerie de la cellule hôte afin de se répliquer en de nombreux exemplaires, qui sortiront pour gagner chacun une

→

autre cellule. Dans le cas contraire, les virus, incapables de se multiplier à l'extérieur d'une cellule, ne font que survivre un temps limité dans l'environnement, avant de se dégrader.

Ils sont partout !

Mis à part les virus, les micro-organismes se multiplient naturellement dans l'environnement, l'eau, le sol, les plantes, qui constituent chacun ce que l'on appelle un « réservoir ». L'air n'est pas considéré comme un réservoir, mais comme un véhicule transportant les micro-organismes entre deux réservoirs. L'intérieur des bâtiments constitue pareillement un réservoir réunissant les conditions favorables à la multiplication des micro-organismes.

Ces derniers vivent également à l'intérieur et l'extérieur des êtres vivants (le tractus digestif, le tractus respiratoire, la peau, les muqueuses…), où ils sont indispensables pour assimiler les aliments, lutter contre les micro-organismes extérieurs éventuellement pathogènes ; il arrive qu'ils soient même plus nombreux que les cellules de l'organisme qui les abrite.

La diversité de leurs habitats s'explique par celle de leurs métabolismes, qui permettent aux cellules, selon les cas et les situations :

- de dégrader des matières organiques ou minérales ;
- d'avoir une température optimale de croissance variant entre –10 °C et +110 °C (ceux retrouvés chez l'homme préfèrent des températures situées autour de 37 °C) ;
- d'avoir besoin d'oxygène (ils sont dits « aérobies ») ou non (ils sont dits « anaérobies ») ;
- de se développer sur des milieux acides ou basiques (pH de 0,5 à 11,5).

En revanche, dans leur grande majorité, les micro-organismes supportent très mal la sécheresse et préfèrent une humidité relative élevée (entre 70 % et 100 %). La chaleur permet de les tuer, alors que les basses températures permettent de les conserver (leur métabolisme est bloqué ou ralenti en attendant des conditions plus favorables pour « redémarrer »). En outre, certains micro-organismes ont la possibilité de se transformer pour résister aux conditions environnementales défavorables, en attendant des jours meilleurs, comme c'est le cas pour certaines bactéries, qui se transforment en spores très résistantes.

Nous ne vivons donc pas dans un monde stérile, mais sommes environnés de micro-organismes déposés sur les surfaces par l'intermédiaire de l'air extérieur, ou du souffle des personnes (parole, toux, éternuements), par les procédés émettant des projections ou des aérosols, ou encore par les objets et les mains.

Une fois déposés sur les surfaces, les micro-organismes s'y multiplient très rapidement s'ils

© Grégoire Maisonneuve pour l'INRS/2020

Nettoyage en fin de production dans une usine de salaison.

rencontrent des conditions favorables (certaines bactéries peuvent doubler leur population en moins de 30 minutes) et forment alors une pellicule, appelée « biofilm ». À chaque réplication des micro-organismes, des mutations peuvent se produire, dont certaines peuvent procurer un avantage sur les microbes voisins (possibilité d'utiliser comme nutriment une nouvelle molécule de l'environnement, synthèse d'une molécule tuant d'autres microbes[2]…). Sans parler de plusieurs autres mécanismes de transfert de gènes entre micro-organismes. Ces derniers possèdent une capacité d'évolution et d'adaptation à un nouvel environnement très rapide.

Ils peuvent pénétrer dans le corps humain

La majorité des micro-organismes n'est pas pathogène pour les humains. En revanche, certains peuvent le devenir lorsqu'ils pénètrent dans le corps par :

- *la voie respiratoire :* les micro-organismes inhalés sont présents dans l'air, soit parce qu'ils ont été émis par des êtres vivants (en respirant, toussant, éternuant), soit parce qu'ils ont été décollés des surfaces par une pression d'eau (jet d'eau à haute pression) ou d'air (soufflette, fort vent) ;
- *la voie cutanéo-muqueuse :* les micro-organismes pénètrent en passant à travers de petites lésions de la peau, lors de blessures ou de piqûres, en portant les mains contaminées aux muqueuses du visage (yeux, nez, bouche), ou encore lors de projections de matières contaminées vers le visage ;
- *la voie digestive :* les micro-organismes sont ingérés *via* les aliments. En milieu professionnel, les micro-organismes peuvent atteindre le système digestif en portant à la bouche des mains ou des objets contaminés.

Dans certains cas, des contaminations sont donc possibles par l'intermédiaire des mains (contamination manuportée), en touchant des surfaces où se trouvent des germes pathogènes se transmettant par voies cutanéo-muqueuse ou digestive.

Pour autant, il ne s'agit pas de désinfecter toutes les surfaces systématiquement, mais d'adopter une stratégie raisonnable et raisonnée. Elle consiste en premier lieu à supprimer les conditions favorables au développement des micro-organismes (humidité, nutriments). Dans un second temps, et dans des circonstances bien définies, il est possible d'envisager, en plus, une désinfection des surfaces.

Le traitement des surfaces

Lutter contre les conditions favorables aux micro-organismes

L'humidité est un facteur essentiel à la croissance de nombreux micro-organismes. Une humidité excessive dans un local peut conduire à une invasion rapide, notamment par des moisissures. Il convient alors de traiter la cause de cette humidité (mauvaise isolation, dégât des eaux, etc.) avant de supprimer les micro-organismes, sous peine de les voir recoloniser rapidement les surfaces [1].

Dans les bâtiments de travail, les micro-organismes se nourrissent en partie des salissures engendrées par la simple présence humaine ou l'activité exercée. Ces salissures sont éliminées lors d'un simple nettoyage des surfaces.

Ce nettoyagei consiste à dépoussiérer et à dégraisser les surfaces. Le dépoussiérage doit limiter au maximum la formation d'aérosols inhalables. Pour cela, il convient d'utiliser des aspirateurs munis de filtres « HEPA »[3] et des chiffonnettes ou balais humides. Le dégraissage se fait, toujours en limitant la formation d'aérosols, à l'aide de détergents[4].

En éliminant les poussières et les dépôts gras, le nettoyage quotidien des locaux participe à la lutte contre la prolifération des micro-organismes.

De plus, cette opération de nettoyage peut tuer certains micro-organismes. En effet, les tensioactifs contenus dans les solutions de nettoyage ont la propriété de solubiliser les lipides déposés sur les surfaces, mais aussi les lipides de l'enveloppe extérieure de certains virus, qui sont alors inactivés.

La désinfection

La désinfection est une action bien précise, définie par les normes : « *[…] la désinfection chimique [correspond à la] réduction du nombre de micro-organismes dans ou sur une matrice inanimée, obtenue grâce à l'action irréversible d'un produit sur leur structure ou leur métabolisme, à un niveau jugé approprié en fonction d'un objectif donné* » (selon la norme NF EN 14885 [4]).

La désinfection d'une surface diminue de façon très importante le nombre de micro-organismes présents, mais ne rend pas la surface stérile car :

- un produit peut être reconnu comme actif sur un type de micro-organismes, mais ne pas l'être sur un autre ;
- un produit reconnu efficace sur un type de micro-organismes réduit sa population dans une certaine proportion, mais pas en totalité ;
- l'activité d'un produit après son application (sa rémanence) est limitée dans le temps.

La désinfection n'empêche pas la recontamination ultérieure de la surface ; ce qui se produit d'ailleurs très rapidement, *via* les micro-organismes amenés par l'air ou les personnes.

Ne pas désinfecter à tort et à travers

L'usage répétitif d'un désinfectant de surface peut faire apparaître des micro-organismes résistants au désinfectant. En effet, les micro-organismes se multipliant rapidement peuvent développer tout aussi rapidement, par mutation et sélection, une

→

résistance à une substance désinfectante. Une fois le moyen de résistance acquis par un micro-organisme, il est vite transmis aux autres.
Un désinfectant mal employé (concentration trop faible, temps de contact trop court…) tue les micro-organismes les plus sensibles, mais permet la survie des micro-organismes les plus résistants. La surface est alors envahie par des micro-organismes ayant un niveau de résistance supérieur à la population de départ. Pour éliminer cette nouvelle population, il faudra utiliser une concentration de désinfectant supérieure à celle des premiers traitements, voire une autre substance désinfectante.
Si le biofilm contient une souche pathogène, celle-ci risque de devenir résistante, de se développer et de gagner d'autres surfaces. Lorsqu'il s'agira de l'éliminer, le désinfectant initialement utilisé ne sera plus efficace, ce qui pourra entraîner un réel problème sanitaire.
Il peut également arriver qu'une souche puisse non seulement résister au désinfectant, mais le dégrader. Elle ouvre alors la porte aux autres micro-organismes, qui peuvent coloniser le milieu. Le désinfectant appliqué n'a par conséquent plus autant d'effet et procure un faux sentiment de sécurité, alors que le biofilm se développe.

Discerner les situations nécessitant une désinfection

La désinfection ne s'envisage que dans des circonstances et des secteurs particuliers (milieux de soins, pharmaceutique, agroalimentaire, électronique…), où il est nécessaire de diminuer de façon très importante le nombre de micro-organismes pour assurer la qualité des soins et des produits.
Dans les autres secteurs, il n'est pas nécessaire de désinfecter systématiquement les surfaces. La désinfection s'effectue uniquement après évaluation du risque biologique, en fonction des activités, des locaux, des surfaces, des éventuels événements contaminants (par exemple, dégât des eaux entraînant un développement de moisissures [1]), ou encore en cas d'épidémie à transmission manuportée. Seules les surfaces présentant un fort risque de contamination nécessitent une désinfection.
Le protocole d'entretien des locaux se base sur cette évaluation et s'adapte au fil des événements. Des procédures écrites et validées détaillent les produits utilisés, les techniques, les horaires de passage (hors présence humaine ou non) et les mesures de prévention à suivre par la personne effectuant cette intervention [2].
Ces tâches doivent être attribuées à du personnel informé des risques liés à la contamination et aux opérations de traitement des surfaces. Ce personnel doit être formé à l'emploi des procédés de nettoyage/désinfection, ainsi qu'à la mise en œuvre des mesures de prévention.

Établir une stratégie de désinfection

La technique de désinfection la plus couramment utilisée fait appel à un produit chimique comprenant différentes substances, dont au moins une est reconnue pour son activité désinfectante.
Le désinfectant doit toujours être appliqué sur une surface ayant été préalablement nettoyée, afin que la substance active ne soit pas captée ou consommée par les salissures, mais entièrement dirigée contre les micro-organismes.
Le produit doit avoir été mis sur le marché dans le respect de la réglementation concernant les produits biocides [3] et répondre à des normes garantissant une action spécifique contre les micro-organismes que l'on veut détruire (bactéries, moisissures, levures, virus…) [4]. L'évaluation des risques biologiques permet d'identifier le type de micro-organisme qu'il faut combattre et, par conséquent, le spectre d'activité du produit devant être utilisé. Il est inutile de choisir une substance à large spectre, si l'on souhaite agir sur un seul type de micro-organisme.
De plus, il est important de changer régulièrement de substance active, afin d'éliminer les souches ayant pu résister au produit précédent, mais encore sensibles au nouveau produit.
À efficacité égale, il convient de choisir le produit le moins dangereux (consulter la fiche de données de sécurité des produits) et le procédé le moins exposant pour le personnel (éviter la formation d'aérosols) [2].
Il existe des produits couplant les activités détergente et désinfectante. Ils peuvent être employés dans des « salles propres », où les surfaces ne présentent pas un grand degré de salissure. Ces produits utilisés au quotidien ne nécessitent pas de rinçage, mais peuvent, à la longue, laisser des dépôts. Pour les éliminer, il convient de procéder régulièrement, par exemple une fois par semaine, à un nettoyage avec un détergent, suivi d'un rinçage puis d'une application de désinfectant.

Les normes des produits chimiques désinfectants

Le classement des normes

Pour garantir son efficacité, il convient de choisir un désinfectant répondant à une norme (la référence de la norme est alors indiquée sur l'étiquette). La norme choisie doit correspondre non seulement au spectre d'activité (bactéricide, fongicide, levuricide, sporicide, virucide…), mais également au type de matière à désinfecter et au domaine professionnel concerné.
Ces trois critères définissent en effet le classement des normes de tous les produits désinfectants :

ACTIVITÉ BIOCIDE	NORME	SOUCHES TESTÉES	TEMPÉRATURE (°C)	TEMPS DE CONTACT (MIN)	RÉDUCTION LOGARITHMIQUE (LG)
Bactéricide	NF EN 1276[1] (phase 2, étape 1)	*Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Enterococcus hirae*	4 à 60	1 à 60	≥ 5,0
	NF EN 13697+A1[2] (phase 2, étape 2)	*Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* *Enterococcus hirae*	1 à 40 (18 à 25 pour température ambiante)	1 à 60	≥ 4,0
Fongicide ou levuricide	NF EN 1650[3] (phase 2, étape 1)	*Candida albicans* et *Aspergillus brasiliensis* (fongicide) ou *Candida albicans* (levuricide)	4 à 40	1 à 60	≥ 4,0
	NF EN 13697+A1 (phase 2, étape 2)	*Candida albicans* et *Aspergillus brasiliensis* (fongicide) ou *Candida albicans* (levuricide)	1 à 40 (18 à 25 pour température ambiante)	1 à 60	≥ 3,0
Sporicide	NF EN 13704[4] (phase 2, étape 1)	Spores de *Bacillus subtilis*	20	60	≥ 3,0
Virucide	NF EN 13610[5] (phase 2, étape 1)	Bactériophage de *Lactococcus lactis* sous-espèce *lactis* P001 Bactériophage de *Lactococcus lactis* sous-espèce *lactis* P008	20	15	≥ 4,0

1. NF EN 1276 – Afnor, août 2019. Norme accessible sur : www.boutique-afor.orgt.
2. NF EN 13697+A1 – Afnor, juillet 2019. Normes accessibles sur : www.boutique-afnor.org.
3. NF EN 1650 – Afnor, août 2019. Norme accessible sur : www.boutique-afnor.org.
4. NF EN 13704 – Afnor, juillet 2018. Norme accessible sur : www.boutique-afnor.org.
5. NF EN 13610 – Afnor, juillet 2003. Norme accessible sur : www.boutique-afnor.org.

↑ TABLEAU 1
Conditions d'essais obligatoires pour les normes de désinfection des surfaces du domaine « Secteurs agroalimentaire, industriel, domestique et collectivité ».

- le domaine d'application :
  - domaine médical,
  - domaine vétérinaire,
  - secteurs agroalimentaire, industriel, domestique et collectivité ;
- les matières/supports à désinfecter :
  - mains,
  - surfaces,
  - instruments,
  - textiles,
  - lingettes,
  - eau (contre *Legionella*),
  - trayons…
- le spectre d'activité :
  - bactéricide,
  - fongicide,
  - levuricide,
  - tuberculocide,
  - mycobactéricide,
  - virucide,
  - sporicide,
  - anti-*Legionella*.

Les essais normés

Chaque norme décrit les essais obligatoires auxquels doit être soumis un produit et les performances qu'il doit atteindre pour pouvoir revendiquer une action désinfectante sur un type de micro-organismes *(Cf. Tableau 1)*.

Pour un même objectif (par exemple, un produit bactéricide pour surfaces dans le domaine médical), plusieurs normes peuvent cohabiter, correspondant chacune à une phase de test :

- *Phase 1 :* les essais concernent uniquement l'activité d'une substance active ou d'un produit en cours de développement, quel que soit le

→

domaine. Ces essais ne peuvent être utilisés pour justifier une quelconque revendication (selon la norme NF EN 14885 [4])[5] ;
- *Phase 2, étape 1 :* les essais sur des micro-organismes en suspension permettent d'établir que le produit présente une activité dans des conditions pratiques simulées correspondant à l'usage prévu ;
- *Phase 2, étape 2 :* les essais de laboratoire permettent d'établir que le produit a une activité sur une surface ou sur la peau, dans des conditions pratiques simulées ;
- *Phase 3 :* les essais de terrain permettent d'établir la performance d'un produit dans les conditions réelles d'utilisation. Aucune norme correspondant à cette phase n'est actuellement disponible.

Désinfection des surfaces de contact à l'intérieur d'un avion.

© John Paul Van Wert

Le protocole prévu dans la norme et devant être suivi par le laboratoire détaille précisément :
- le matériel ;
- les souches de micro-organismes obligatoirement testées. Ces souches peuvent être spécifiques du domaine concerné : micro-organismes affectant les humains pour le domaine médical, micro-organismes affectant aussi les animaux pour le domaine vétérinaire, micro-organismes affectant aussi les produits pour le domaine « Secteurs agroalimentaire, industriel, domestique et collectivité » ;
- les concentrations de micro-organismes avant le contact avec le produit ;
- les techniques permettant de quantifier les micro-organismes, avant et après le contact avec le produit ;
- la température à laquelle se déroulent les essais ;
- le temps de contact avec le produit ;
- les concentrations des substances interférentes ajoutées (pour mimer les états de propreté ou de saleté des surfaces).

Chaque norme fixe le niveau de performance (décroissance de la charge de micro-organismes de départ) permettant au produit de revendiquer l'action désirée. Cette performance est exprimée en réduction logarithmique (log) : « réduction supérieure ou égale à x log ». Les documents commerciaux peuvent utiliser d'autres unités telles que le pourcentage de réduction de la charge. Une réduction par exemple de 4 log correspond à une réduction de 10^4 fois la charge de micro-organismes de départ (soit 10 000 fois moins, soit 99,99 % de réduction).
Les normes laissent la possibilité de réaliser des tests additionnels sur d'autres souches, à d'autres températures, avec d'autres temps de contact, d'autres substances interférentes ; mais la réduction logarithmique à atteindre reste la même.
Les résultats des tests sont retranscrits dans un rapport d'essai qui est tenu à disposition de toute personne désirant en prendre connaissance. Il est ainsi possible de connaître les souches testées, la réduction logarithmique obtenue et le temps nécessaire pour l'atteindre.

Choisir la bonne norme

Ainsi par exemple, en dehors des secteurs médical ou vétérinaire, il convient d'opter pour des produits répondant aux normes du domaine « Secteurs agroalimentaire, industriel, domestique et collectivité ».
Ensuite, s'il s'agit de désinfecter des surfaces contaminées par des bactéries, il faut choisir un produit répondant aux normes NF EN 1276 ou NF EN 13697 *(Cf. Tableau 1)*.
En revanche, s'il s'agit de désinfecter des surfaces contaminées par des virus responsables de maladies manuportées humaines, il n'est pas judicieux de choisir la norme virucide du domaine « Secteurs agroalimentaire, industriel, domestique et collectivité ». En effet, cette norme (NF EN 13610) ne teste que des bactériophages (virus infectant des bactéries) qui possèdent une structure différente des virus attaquant les cellules humaines et peuvent donc répondre de façon tout aussi différente aux produits virucides. Il faut alors rechercher dans le domaine médical une norme concernant le traitement des surfaces contre les virus humains, soit la norme NF EN 14476. Si l'on souhaite lutter plus particulièrement contre le Sars-CoV-2, un virus enveloppé, la consultation du rapport d'essai (à demander au fabricant) permet de savoir si des virus enveloppés, voire une souche non pathogène de coronavirus, ont été testés.

Les normes des procédés désinfectants

La désinfection des surfaces par voie aérienne

En plus des normes sur les produits désinfectants, il existe des normes sur des procédés utilisant

ces produits, comme les dispositifs de désinfection des surfaces par voie aérienne (DSVA). Ces derniers sont des automates munis d'un réservoir de produit désinfectant qu'ils pulvérisent sur les surfaces d'un local. La DSVA ne désinfecte pas l'air, mais se sert de l'air pour transporter les gouttelettes de désinfectant jusqu'aux surfaces. La norme européenne applicable en France NF EN 17272 [5] et la norme française NF T 72-281 [6] (amenée à disparaître) décrivent les protocoles permettant de déterminer si les DSVA possèdent une activité bactéricide, fongicide, levuricide, sporicide, tuberculocide, mycobactéricide ou virucide, incluant les bactériophages. Les essais valident un couple appareil/produit pour une activité biocide donnée ; il n'est donc pas possible de changer de produit au cours de la vie de l'automate. Il appartient au fabricant de préciser quelle activité a été validée en fonction du couple appareil/produit. La norme française propose en plus des tests pour des procédés physiques, tels que l'irradiation par rayonnement UV.

La DSVA est en pratique plutôt réservée aux salles propres, qui nécessitent un très faible niveau de contamination. Elle permet de désinfecter les surfaces préalablement nettoyées, ou de parfaire une désinfection réalisée par essuyage, ou encore de traiter des surfaces inaccessibles par essuyage (plenum de poste de sécurité microbiologique, par exemple). La mise en œuvre de la DSVA est très lourde et expose fortement à l'inhalation d'agents chimiques dangereux. L'automate est choisi en fonction du volume de la pièce, qui doit être rangée (les appareils sensibles à l'humidité sont nettoyés et désinfectés avant d'être enlevés), nettoyée et rendue étanche (coupure de la ventilation, colmatage par ruban adhésif). L'automate est alors programmé pour une pulvérisation, qui doit se dérouler hors présence humaine. Après un temps de contact préconisé, l'air du local désinfecté doit être purgé par apport d'air neuf, avant toute entrée de personne. Si une intervention est nécessaire avant la fin de la purge (pour remise en route de la ventilation, retrait de l'étanchéité…), l'opérateur doit porter des équipements de protection individuelle (appareil de protection respiratoire, combinaison et gants) adaptés aux risques liés au produit désinfectant.

Alternative aux produits chimiques

Des appareils générateurs de vapeur revendiquent depuis quelques années une activité biocide. En 2019 a été publiée la norme NF T 72-110 [7] qui décrit les essais devant être réalisés pour que des couples appareils générateurs de vapeur / accessoires puissent revendiquer une activité désinfectante des surfaces. Cette norme s'applique pour tous les domaines professionnels précités et permet de tester l'efficacité bactéricide, fongicide, levuricide, sporicide et virucide, incluant les bactériophages.

Les fabricants doivent préciser le domaine professionnel ciblé, le spectre d'activité (et les souches ayant été testées), décrire très précisément les conditions dans lesquelles les dispositifs de désinfection par la vapeur (DDV) ont satisfait aux exigences des tests normés : le type d'accessoire, la pression de la vapeur, la vitesse de passage, la nécessité ou non d'un contact avec la surface, la distance maximale avec la surface, etc. Ces mêmes conditions doivent être retranscrites dans la notice d'utilisation et enseignées aux futurs utilisateurs. ●

1. Génome : ensemble des gènes d'un individu, contenu dans la cellule, au niveau de l'ADN (ou de l'ARN pour certains virus).

2. Par exemple, la moisissure Penicillium *produit une molécule tuant certaines bactéries. Cette molécule a été extraite par des chercheurs qui l'ont appelée pénicilline, le premier antibiotique, utilisé depuis 1941.*

3. Filtres HEPA (High Efficiency Particulate Air) *: filtre à haute efficacité pour les particules de l'air.*

4. Les détergents sont des molécules (ou des mélanges) aux propriétés tensioactives, capables d'entraîner les graisses, et donc de « dégraisser » les surfaces sur lesquelles ils sont appliqués.

5. Le fabricant peut indiquer sur l'étiquette que son produit répond à la norme de phase 1, mais ne peut pas pour autant revendiquer une activité désinfectante. Pour cela, son produit doit répondre aux normes de phase 2.

BIBLIOGRAPHIE

[1] INRS – *Surfaces contaminées par des moisissures. Que faire ?* ED 6299. Accessible sur : www.inrs.fr.

[2] INRS – *La désinfection des surfaces en laboratoire de biologie.* ED 6188. Accessible sur : www.inrs.fr.

[3] Ministère en charge de l'Environnement – Dossier Web « Produits biocides ». Accessible sur : www.ecologie.gouv.fr/produits-biocides.

[4] Norme NF EN 14885 – *Antiseptiques et désinfectants chimiques. Application des normes européennes sur les antiseptiques et désinfectants chimiques.* Afnor, novembre 2018. Accessible sur : www.boutique-afnor.org.

[5] Norme NF EN 17272 – *Antiseptiques et désinfectants chimiques. Méthode de désinfection des pièces par voie aérienne par des procédés automatisés – Détermination de l'activité bactéricide, fongicide, levuricide, sporicide, tuberculocide, mycobactéricide, virucide et phagocide.* Afnor, avril 2020. Accessible sur :www.boutique-afnor.org.

[6] Norme NF T 72-281 – *Procédés de désinfection des surfaces par voie aérienne. Détermination de l'activité bactéricide, fongicide, levuricide, mycobactéricide, tuberculocide, sporicide et virucide incluant les bactériophages.* Afnor, novembre 2014. Accessible sur : www.boutique-afnor.org.

[7] Norme NF T 72-110 – *Procédés de désinfection des surfaces par la vapeur avec ou sans contact - Détermination de l'activité bactéricide, fongicide, levuricide, sporicide et virucide incluant les bactériophages.* Afnor, mars 2019. Accessible sur : www.boutique-afnor.org.

Actualité juridique

SÉLECTION JURIDIQUE

La rubrique « Sélection juridique » de la revue évolue. Les nouveaux textes officiels parus sur la santé et la sécurité au travail sont accessibles chaque mois sur : www.inrs.fr/header/actualites-juridiques.html et : www.legifrance.gouv.fr. Nous publions des résumés de décisions de jurisprudence susceptibles d'intéresser nos lecteurs.

VIOLENCE AU TRAVAIL : L'EMPLOYEUR EST RESPONSABLE SAUF S'IL PROUVE AVOIR PRIS LES MESURES DE PRÉVENTION NÉCESSAIRES

Cour de cassation (chambre sociale), 3 février 2021 n° 19-23.548 (accessible sur : www.legifrance.gouv.fr)

→ *Dans cette affaire, une altercation s'est produite, conduisant à des faits de violence physique entre le gérant d'une société et sa salariée, alors responsable de production.*
Cette dernière a alors sollicité, auprès du conseil des prud'hommes, la résiliation judiciaire de son contrat de travail pour manquement de l'employeur à son obligation de sécurité et a demandé des dommages – intérêts sur le même fondement.
La cour d'appel a jugé qu'outre le fait que les circonstances des faits étaient indéterminées, il n'existait pas « d'éléments suffisants permettant d'établir des violences imputables au seul gérant et justifiant de prononcer aux torts de l'employeur la résiliation du contrat de travail ». *Effectivement, même si elle retient que l'incident a eu des effets sur la santé de la salariée, la cour estime que les éléments permettaient davantage d'établir des violences réciproques. Elle a donc rejeté la demande de la salariée en appel.*
La salariée s'est alors pourvue en cassation, reprochant à la cour d'appel de ne pas avoir reconnu que l'employeur est tenu vis-à-vis des salariés d'une obligation de sécurité de résultat, en raison de laquelle il lui appartient d'établir qu'il a pris les mesures nécessaires pour assurer la sécurité et protéger la santé du salarié.
La Cour de cassation casse l'arrêt rendu par la cour d'appel et décide que « l'employeur ne pouvait s'exonérer de sa responsabilité, au titre de l'obligation de sécurité, qu'en justifiant avoir pris toutes les mesures prévues par les articles L. 4121-1 et L. 4121-2 du Code du travail ». *L'employeur est tenu de mettre en place des actions de prévention des risques professionnels, des actions d'information et de formation, mais il doit également s'assurer d'une organisation et de moyens adaptés. L'employeur doit également veiller à l'adaptation de ces mesures pour tenir compte du changement des circonstances et tendre à l'amélioration des situations existantes.*
Pour la Cour de cassation, une confusion a été opérée par la cour d'appel, entre la responsabilité de la société employeur, en sa qualité de personne morale, et celle du gérant de cette société, en sa qualité de personne physique.
En définitive, l'employeur est responsable sauf s'il prouve avoir pris les mesures de prévention nécessaires. Pour mettre en œuvre ces mesures, la Cour de cassation rappelle que l'employeur doit s'appuyer sur les principes généraux de prévention tels que : « éviter les risques » ; « évaluer les risques qui ne peuvent pas être évités » ; « combattre les risques à la source » ; *ou encore* « tenir compte de l'état d'évolution de la technique ».
À défaut de preuve qu'il a mis en œuvre ces mesures, l'employeur ne pourra pas se détacher de sa responsabilité, dès lors qu'un salarié, à l'occasion de l'exercice de son travail, est atteint dans son intégrité physique ou psychique.
Ainsi, si un accident du travail survient, ce manquement pourrait justifier une faute inexcusable qui obligera l'employeur à indemniser la victime de l'accident. Et si aucun accident n'est intervenu, comme c'est le cas dans cette affaire, le salarié peut a minima *reprocher à l'employeur la méconnaissance de son obligation générale de sécurité et demander la rupture de son contrat de travail aux torts de l'employeur. Cette demande peut se faire à travers une prise d'acte ou une demande de résiliation judiciaire, comme c'était le cas ici.*

© Gaël Kerbaol/INRS/2015

MÉTHODES DE GESTION DÉLÉTÈRES POUR LA SANTÉ ET HARCÈLEMENT MORAL DANS UN CENTRE D'APPELS TÉLÉPHONIQUES

Cour de cassation (chambre sociale), 3 mars 2021, n° 19-24.232 (accessible sur : www.legifrance.gouv.fr)

→ *Un salarié travaillant en qualité de superviseur dans un centre d'appels téléphoniques a pris acte de la rupture de son contrat de travail et a saisi par la suite la juridiction prud'homale pour :*

- *que sa prise d'acte soit requalifiée en nullité de son licenciement ;*
- *obtenir le versement de dommages – intérêts pour harcèlement moral.*

À l'appui de sa prise d'acte, le salarié invoquait l'existence d'agissements constitutifs de faits de harcèlement moral, caractérisés notamment par des méthodes de management générant une souffrance au travail et un manquement de l'employeur à son obligation de sécurité.

La cour d'appel a débouté le salarié de ses demandes au titre du harcèlement moral et donc de sa demande de prise d'acte de la rupture de son contrat de travail produisant les effets d'un licenciement nul. La cour d'appel a notamment retenu que :

- *les éléments apportés par le salarié portaient sur des considérations trop générales concernant les méthodes de gestion du centre d'appels dirigé par la société ;*
- *les agissements de harcèlement moral collectifs dénoncés ne s'étaient pas manifestés personnellement pour le salarié déterminé qui s'en prévalait.*

Le salarié a alors formé un pourvoi en cassation. Il reprochait principalement aux juges de ne pas avoir examiné l'ensemble des éléments qu'il avait produits et notamment les documents médicaux, parmi lesquels figuraient :

- *la preuve de sa tentative de suicide sur son lieu de travail, son hospitalisation et le suivi psychologique dont il avait fait l'objet suite à cette tentative de suicide ;*
- *le certificat d'un psychiatre, précisant qu'il avait besoin d'une reprise d'activité qui devait être à temps partiel et d'éviter les pressions psychologiques ;*
- *les constatations du médecin du travail qui avait notamment mentionné dans le dossier médical la tentative de suicide sur le lieu de travail pour « ras-le-bol professionnel » et l'absence de reconnaissance par ses supérieurs.*

Aussi, selon lui, la cour d'appel aurait dû examiner l'ensemble de ces éléments et apprécier si ces éléments, pris dans leur ensemble, permettaient de présumer l'existence d'un harcèlement moral. La Cour de cassation accueille partiellement le pourvoi. Elle relève que plusieurs salariés témoignaient :

- *de pressions en matière d'objectifs, imposées aux directeurs de projets, aux responsables de projets, aux chargés de terrain, aux superviseurs et aux téléconseillers par une organisation très hiérarchisée du directeur de site ;*
- *d'une surveillance des prestations décrite comme du « flicage » ;*
- *d'une analyse de leurs prestations, qu'ils ressentaient comme une cause de souffrance au travail.*

Ainsi, pour la Cour de cassation, ces faits rapportés pouvaient constituer un harcèlement moral. Elle juge que la cour d'appel a privé sa décision de base légale, en déboutant le salarié de ses demandes au titre du harcèlement moral.

Focus normalisation

LA NORMALISATION EUROPÉENNE DES MASQUES « BARRIÈRES » NE FAIT PAS L'UNANIMITÉ

Dr MICHAEL THIERBACH
KAN

Depuis le confinement mondial au printemps 2020 dû à la pandémie du coronavirus, les masques « barrières » sont omniprésents. Ils font partie des mesures d'hygiène prises pour endiguer le virus. On trouve ces masques dans le commerce, mais ils peuvent aussi être fabriqués par leurs utilisateurs. Destinés uniquement à couvrir la bouche et le nez, on les appelle aussi masques « grand public », « alternatifs » ou « en tissu », soulignant ainsi la différence avec un masque « protecteur ».

A CRITICAL VIEW OF THE EUROPEAN STANDARDIZATION PROJECT FOR COMMUNITY FACE COVERINGS – ***Since the global lockdown triggered by the corona pandemic in the spring of 2020, community face coverings have become a familiar sight. They are among the hygiene measures taken to contain the virus. Community face coverings are available for purchase, but can also be made by users themselves. They are also termed "mouth and nose coverings" (MNCs), reflecting their function; the term intentionally does not imply a protective action.***

KANBrief

Cet article est issu du Bulletin d'information *KANBrief* n° 4/20 (consultable sur : www.kan.de/fr) de la *Kommission für Arbeitsschutz und Normung* (KAN).
The English version of this article is accessible at www.kan.de/en.

La réglementation allemande en matière de santé et de sécurité au travail (S&ST) relative au Sars-CoV-2[1] définit les masques barrières comme étant des « *articles d'habillement textiles couvrant au moins le nez et la bouche et capables de réduire de manière significative la vitesse du flux respiratoire ou des projections de salive/de mucosités ou de gouttelettes* ». Du fait de cette barrière devant le nez et la bouche, la respiration – et avec elle les gouttelettes et aérosols – se propagent moins fortement et moins vite dans l'espace ambiant. Le virus Sars-CoV-2 se fixant surtout sur ces gouttelettes et aérosols, sa propagation et le risque de contamination d'autrui se trouvent ainsi réduits. Les masques barrières servent donc surtout à protéger autrui.

Aucun effet protecteur revendiqué

Les masques barrières ne sont classifiés ni comme des dispositifs médicaux, ni comme des équipements de protection individuelle (EPI), car ils ne présentent, ni ne promettent, la protection correspondant à ces catégories. Contrairement aux masques barrières, les masques médicaux pour la protection de l'environnement du porteur (appelés aussi masques chirurgicaux)[2] et les demi-masques filtrants contre les particules (masques FFP)[3] destinés à protéger ceux qui les portent répondent à des spécifications légales et normatives qui définissent des exigences en matière d'effet protecteur. C'est ce que confirme un courrier adressé au Comité européen de normalisation (CEN) par le service compétent de la direction générale « Justice et consommateurs » de la Commission européenne, dans lequel celle-ci explique que les masques barrières relèvent de la directive européenne sur la sécurité générale des produits[4]. Ce ne serait pas le cas, si des règles de sécurité plus spécifiques étaient applicables à ces produits au sein de l'Union.
Quoi qu'il en soit, les masques barrières font partie des règles prescrites dans la réglementation allemande en matière de SST relative au Sars-CoV-2, visant à protéger la santé des employés durant la pandémie[5]. L'une des raisons en est certainement le fait que, en particulier au début de la

© Gaël Kerbaol/INRS/2020

pandémie, on déplorait une pénurie de masques à effet protecteur. Les masques chirurgicaux et EPI disponibles ont été en priorité mis à la disposition du personnel soignant. Pour l'usage privé et sur le lieu de travail, le masque barrière a été provisoirement maintenu comme solution de fortune.

Un projet de normalisation du CEN

En juin 2020, le Comité européen de normalisation (CEN) a publié le *Workshop Agreement CWA 17553*[6] sur les masques barrières. Ce texte définit les exigences minimales pour les masques réutilisables ou à usage unique destinés au grand public, le but étant d'apporter ainsi une aide aux fabricants professionnels éventuels. Il contient les exigences minimales relatives aux caractéristiques des matières utilisées, à la taille, au lavage et au marquage, mais aussi à des paramètres tels que le pouvoir filtrant et la résistance respiratoire. Des méthodes d'essai sont indiquées pour certains de ces aspects. Se basant sur ce CWA, le Comité technique du CEN TC 248 « Textiles et produits textiles » se propose maintenant de rédiger une spécification technique (CEN/TS).

La KAN voit d'un œil critique ce projet de normalisation. Comme expliqué ci-dessus, les masques barrières, en particulier ceux portés sur le lieu de travail, ont fait leur apparition à une époque où les masques de protection usuels n'étaient pas disponibles en quantité suffisante[7]. Une norme renforcerait cette solution apparue par pure nécessité. Dans les milieux de la santé et de la sécurité au travail, la crainte exprimée est que les masques barrières continuent à être utilisés une fois la pandémie terminée, ou quand les masques de protection usuels seront de nouveau disponibles en quantité suffisante. Le contenu du CWA laisse en outre penser que les critères de sécurité exigés pour les masques barrières se rapprocheront de ceux applicables aux masques chirurgicaux. Or, il s'agit d'une mesure inutile, les réglementations légales et normatives applicables aux masques médicaux fournissant déjà un système solidement établi et éprouvé.

Les travaux sur la spécification technique CEN/TS vont bientôt commencer[8]. Même si, suite à la prise de position négative de la KAN, le DIN (organisme de normalisation allemand) s'est abstenu lors du vote, des préventeurs allemands participeront à ce projet. On ne peut qu'espérer que ce projet de normalisation ne fera pas émerger un monde parallèle et que, en particulier, les solutions éprouvées de protection au travail ne se trouveront pas édulcorées. ●

1. Voir : www.baua.de/EN/Service/ Legislative-texts-and-technical-rules/ Rules/AR-CoV-2/AR-CoV-2.html.

2. Directive européenne n° 93/42/CEE relative aux dispositifs médicaux. Accessible sur : https://eur-lex.europa.eu/oj/direct-access.html. Norme EN 14683 – Masques à usage médical. Exigences et méthodes d'essai. Afnor, août 2019. Accessible sur : www.boutique.afnor.org.

3. Règlement européen n° 2016/425 relatif aux équipements de protection individuelle (EPI). Accessible sur : https://eur-lex.europa.eu/oj/direct-access.html. Norme NF EN EN 149 +A1 – Appareils de protection respiratoire – Demi-masques filtrants contre les particules. Exigences, essais, marquage.

4. Directive européenne n° 2001/95/CE relative à la sécurité générale des produits. Accessible sur : https://eur-lex.europa.eu/oj/direct-access.html.

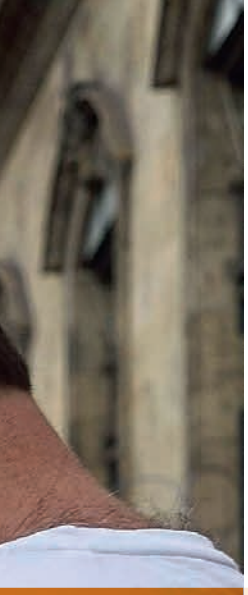
5. La réglementation a évolué depuis la parution de l'article: seuls les masques chirurgicaux et FPP sont désormais autorisés.

6. CWA 17553 – Community face coverings – Guid to minimum requirements, methods of testing and use. *Bruxelles, CEN, juin 2020.*

7. Ce qui était le cas dans l'Union européenne, au moment de la préparation de cet article (ndlr).

8. Au moment de la parution de l'article (décembre 2020)

© Patrick Delapierre pour l'INRS/2020



Dossier

LA MESURE DES EXPOSITIONS AUX AGENTS CHIMIQUES : TECHNIQUES ET OUTILS

❶ Les objectifs et les intérêts de la mesure des expositions aux agents chimiques
P. 20

❷ Les contraintes de la mesure des expositions aux agents chimiques
P. 26

❸ Les techniques de mesure
P. 32

❹ Complémentarité, similarités, antagonismes et limites de la mesure à travers deux exemples
P. 40

Le présent dossier fait suite à celui, paru en septembre 2020, sur l'utilité de la métrologie dans la prévention des risques professionnels. Centré sur l'exemple du risque chimique, il explore les trois grands volets de la mesure utilisés de manière courante pour contribuer à la prévention de ce risque : les prélèvements d'atmosphère ; la surveillance biologique des expositions professionnelles ; et l'exploration de la contamination des surfaces par des substances chimiques. Pour chaque type de technique, sont détaillés le contexte d'utilisation, les contraintes et limites, ainsi que les acteurs pouvant réaliser les prélèvements, analyser les échantillons recueillis et interpréter les résultats. En fin de dossier, deux exemples d'utilisation de la mesure en prévention sont présentés : l'un porte sur un chantier d'enlèvement de peintures contenant du plomb, le second concerne des cabines de tri des déchets ménagers. De nombreux outils de mesure, développésou rassemblés par l'INRS ou des organismes partenaires, y sont également évoqués.

MEASUREMENT OF EXPOSURE TO CHEMICAL RISK: TECHNIQUES AND TOOLS – *The present dossier follows the one published in September 2020 on the use of metrology in the prevention of occupational risks. Centred on the example of chemical risk, it explores the three major elements of measurement used commonly to contribute to the prevention of this risk: air sampling; biological surveillance of occupational exposure, and exploration of surface contamination by chemicals. For each type of technique, a description is given of the context of use, the constraints and limits, as well as the players that may perform sampling, analyse the samples collected and interpret the results. At the end of the dossier, two examples of the use of measurement in prevention are presented: one on the removal of paint containing lead, the second on household waste-sorting cabins. Many measurement tools, developed or collected by INRS and partner organisations, are also presented.*

Dossier coordonné par : Frédéric Clerc, INRS, département Métrologie des polluants.

LES OBJECTIFS ET LES INTÉRÊTS DE LA MESURE DES EXPOSITIONS AUX AGENTS CHIMIQUES

Le « mesurage » (action de mesurer) est utile pour évaluer les expositions en vue de prévenir le risque chimique en entreprise. Encore faut-il bien cerner les obligations réglementaires et ne pas confondre en particulier le « respect des valeurs limites » avec des mesures de prévention adaptées, qui commencent bien évidemment par une évaluation aussi complète que possible des risques existants. Ce premier article présente l'objet de ce dossier et revient sur les principes encadrant l'usage de la mesure pour mieux lutter contre les expositions professionnelles aux agents chimiques.

GAUTIER MATER, WILLIAMS ESTÈVE, FRÉDÉRIC CLERC
INRS, département Métrologie des polluants

BRUNO COURTOIS
INRS, département Expertise et conseil technique

NADIA NIKOLOVA-PAVAGEAU
INRS, département Études et assistance médicale

PHILIPPE DUQUENNE
INRS, département Ingénierie des procédés

La directive cadre européenne n°89/391 CEE, relative à la sécurité et à la santé au travail, adoptée en 1989, a marqué un tournant décisif en garantissant aux travailleurs des conditions minimales de sécurité et de santé, tout en autorisant les États membres à maintenir ou à mettre en place des mesures de prévention plus strictes.

En France, l'employeur est responsable de la santé et de la sécurité de ses salariés (d'après le Code du travail). Par conséquent, il doit mettre en œuvre une démarche de prévention des risques. À travers la coordination de ses différentes équipes, il met en place les moyens nécessaires à la préservation de la santé physique et mentale de tous ses salariés.

Les obligations générales de l'employeur découlent des articles L. 4121-1 et suivants du Code du travail et reposent sur les neuf principes généraux de prévention *(Cf. Encadré 1)*.

Comme cela est prévu par l'article R. 4121-1 et suivants du Code du travail, l'employeur doit établir et mettre à jour un document unique d'évaluation des risques professionnels (DUER) de l'établissement. Ce document expose les résultats de l'évaluation de l'ensemble des risques pour la santé et la sécurité des salariés, intègre un inventaire des risques identifiés dans chaque unité de travail et représente le point de départ de la démarche de prévention à travers le plan d'action qui en émane.

Évaluation du risque chimique

L'évaluation du risque chimique (ERC) a pour objectif d'identifier les risques liés à l'exposition des salariés à des produits chimiques et d'évaluer le niveau de risque correspondant. Pour les substances utilisées délibérément, en plus de la dangerosité des produits et de leur concentration dans le mélange, l'évaluation doit prendre en compte leur volatilité. Au niveau européen, une réglementation existe pour l'étiquetage des produits chimiques (Règlement (CE) n° 1272/2008 CLP – *Classification/Labelling/Packaging*) qui permet d'en connaître les dangers. Différents outils sont proposés pour aider les entreprises dans cette démarche d'ERC. Par exemple, l'INRS a mis en ligne l'outil Seirich[1]. Cet outil, tout en s'adaptant au niveau d'expertise de l'utilisateur, permet d'évaluer le risque chimique : modéré, élevé ou très élevé. Les résultats obtenus avec Seirich peuvent être complétés par des informations rétrospectives d'évaluation des expositions, disponibles par exemple dans la base de données Solvex[2], mais aussi par l'expertise et par la connaissance des postes de travail. Le résultat final de l'évaluation du risque chimique est ensuite utilisé pour hiérarchiser les

ENCADRÉ 1

LES NEUF PRINCIPES GÉNÉRAUX DE PRÉVENTION (« PGP »)

1. Éviter les risques ;
2. Évaluer les risques qui ne peuvent pas être évités ;
3. Combattre les risques à la source ;
4. Adapter le travail à l'homme ;
5. Tenir compte de l'état d'évolution de la technique ;
6. Remplacer ce qui est dangereux par ce qui n'est pas dangereux ou par ce qui est moins dangereux ;
7. Planifier la prévention ;
8. Prendre des mesures de protection collective en leur donnant la priorité sur les mesures de protection individuelle ;
9. Donner les instructions appropriées aux travailleurs.

© Grégoire Maisonneuve pour l'INRS/2017

Un contrôleur de sécurité du Laboratoire interrégional de chimie de l'Est (Lice) effectue des mesures d'exposition des salariés lors de travaux pour la construction d'un gazoduc.

actions de prévention à mener dans le cadre du plan d'action suivant les neuf principes de prévention *(Cf. Encadré 1)*.

Ainsi, à l'issue de l'ERC, certaines situations de travail insuffisamment documentées ou requérant de plus amples investigations peuvent nécessiter :

- la mise en place de mesurages dans l'air, au niveau de la zone respiratoire d'un travailleur, notamment pour définir s'il existe un risque de dépassement de la valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP, *Cf. Encadré 2)* à un poste de travail ;
- la mise en œuvre d'une surveillance biologique des expositions aux agents chimiques ;
- la mesure de la contamination des surfaces de travail.

Les objectifs de la mesure des concentrations dans l'air des lieux de travail

L'évaluation des expositions des travailleurs

Dans le cadre d'une démarche de prévention des maladies professionnelles, l'objectif visé consiste à ce que l'exposition des travailleurs aux agents chimiques présents dans l'air des lieux de travail soit évitée ou réduite aux niveaux les plus faibles possibles. Dans les environnements de travail, cette exposition peut intervenir principalement par voie respiratoire (inhalation) et par contact cutané ou avec les muqueuses.

Le respect d'une VLEP ne signifie pas systématiquement l'absence de risque[3] et doit être considéré comme un objectif minimal. Une VLEP a pour intérêt de protéger les travailleurs, en limitant l'apparition d'effets négatifs pour leur santé au regard de l'agent chimique concerné. C'est une valeur moyenne pondérée sur sa période de référence qui ne doit jamais être dépassée. Les périodes de référence sont généralement établies sur huit heures (VLEP-8h), pour protéger les travailleurs des effets à moyen ou long terme, mais elles peuvent également l'être sur des périodes plus courtes ou sur des pics de concentration (VLEP - court terme, généralement sur 15 minutes), permettant de prévenir les risques d'effets toxiques immédiats ou à court terme.

Cinq directives[4] européennes définissent les listes des VLEP harmonisées pour 156 substances chimiques. En parallèle, la directive n° 2004/37/CE, concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérigènes ou mutagènes au travail, fixe des VLEP contraignantes (les États membres ne peuvent fixer des valeurs plus élevées dans leur propre réglementation). En ce qui concerne les agents cancérigènes

ENCADRÉ 2

BREF HISTORIQUE DES VLEP

L'évaluation de l'exposition des travailleurs à des produits chimiques est une démarche entamée depuis la fin du XIXe siècle, par la publication en 1883 d'une première VLEP pour le monoxyde de carbone, par l'hygiéniste allemand Max Gruber. Depuis, de nombreux pays ont proposé des VLEP, qui, pour certaines, sont transcrites dans la réglementation nationale. En France, la réflexion sur les VLEP est apparue assez tardivement, avec une première VLEP pour l'amiante en 1977. C'est au début des années 1980, sous l'égide du Conseil supérieur de la prévention des risques professionnels (CSPRP), que des groupes d'experts toxicologues issus de divers organismes ont proposé des VLEP à caractère réglementaire.

Le dispositif européen de fixation des VLEP

À la suite de la publication de la directive n° 98/24/CE du 7 avril 1998, qui concerne la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs contre les risques liés à des agents chimiques sur le lieu de travail, chaque État membre de l'Union européenne doit publier/transposer/prévoir les VLEP dans sa réglementation.

De 1995 à 2018, le Comité scientifique des limites d'exposition professionnelle (Scoel), créé par la Commission européenne pour évaluer les effets potentiels sur la santé de l'exposition professionnelle aux produits chimiques, a travaillé sur des VLEP à fixer au niveau de l'Union européenne conformément à la directive sur les agents chimiques (directive n° 98/24/CE) et à la directive sur les cancérogènes et mutagènes (directive n° 2004/37/CE).

Depuis 2019, l'évaluation scientifique pour proposer des VLEP est menée par le Comité d'évaluation des risques (Rac) de l'Agence européenne des produits chimiques (Echa), qui a repris le rôle du Scoel. Les travaux du Rac en lien avec les VLEP sont disponibles sur le site de l'Echa (https://echa.europa.eu/fr/oels-activity-list). La Commission européenne et l'Echa ont signé un accord pour que l'Agence fournisse régulièrement des recommandations sur les VLEP qui protègent les travailleurs exposés à des produits chimiques dangereux. L'accord signé avec la Commission européenne exige de l'Echa qu'elle évalue quatre à cinq VLEP par an à partir de 2020.

Le dispositif français de fixation des VLEP repose sur une démarche en trois phases

Depuis 2005, l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset), devenue l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), expertise scientifiquement et de manière indépendante les VLEP et émet des avis rendus publics sur lesquels s'appuie l'État.

Ce dernier, après une phase de concertation sociale au sein du Conseil d'orientation sur les conditions de travail (Coct), fixe par décret les valeurs réglementaires contraignantes et par arrêté les valeurs réglementaires indicatives.

Aujourd'hui, l'outil n° 65, disponible sur le site de l'INRS[a], liste une version à jour des VLEP françaises réglementaires et admises, renseigne sur le caractère CMR (cancérogène, mutagène ou reprotoxique) des agents chimiques au regard de la classification CLP[b], stipule s'il existe un risque de pénétration percutanée et est assorti de la mention « bruit » pour certains agents chimiques, indiquant la possibilité d'une atteinte auditive en cas de co-exposition au bruit, même à des niveaux sonores inférieurs aux valeurs réglementaires.

a. Accessible sur : https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil65.
b. CLP : classification, emballage et étiquetage des substances chimiques. Voir : https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206207.

ou mutagènes, en 2017 et 2019, trois directives[5] ont défini des VLEP qui concernent 27 agents chimiques. Pour celles de 2019, les dates limites de transposition étaient les 16 janvier et 11 juillet 2021. En France, elles sont reprises sous forme de VLEP réglementaires *(Cf. Encadrés 2 et 3)*.

D'autres VLEP dites « admises » existent pour plusieurs centaines d'agents chimiques : elles proviennent notamment de valeurs établies par l'*American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH[6], États-Unis) et ont été publiées dans des circulaires par le ministère chargé du Travail de 1982 à 1996, sans analyse scientifique de la méthode employée pour leur élaboration.

Les objectifs conduisant à la mesure sont variés. Un préventeur peut par exemple émettre le besoin d'évaluer l'exposition lors de tâches particulières, pour engager si nécessaire des actions de prévention ou encore caractériser un poste de travail et/ou les sources d'émissions afin d'identifier les déterminants associés aux expositions. Il peut aussi chercher à définir de nouveaux moyens de prévention et d'en mesurer leur efficacité, vouloir objectiver les expositions suite à l'ERC ou également compléter l'approche qualitative d'une ERC par une démarche quantitative. Enfin, un préventeur peut souhaiter identifier, par le biais de techniques de *screening,* les agents chimiques émis par des procédés ou des opérations de travail unitaires, afin d'en intégrer les résultats à son ERC.

La mesure peut également répondre aux exigences des contrôles des expositions pour les agents chimiques possédant une VLEP réglementaire. Ces contrôles annuels sont alors effectués par un organisme accrédité sur la base des conclusions de l'ERC.

L'enjeu de la variabilité des mesures atmosphériques

Les objectifs motivant l'organisation d'une campagne de mesures sont multiples, mais il est essentiel qu'ils soient précisés clairement. Ces objectifs ne sont généralement pas restreints à l'acquisition de connaissances sur la période de temps mesurée, ils visent aussi des connaissances générales sur les niveaux d'exposition dans les mêmes circonstances et conditions que le jour où ont eu lieu les mesures. Pour cela, les mesures effectuées doivent être représentatives de l'exposition des travailleurs et tenir compte de la variabilité spatiale et temporelle des émissions, de l'activité réelle des travailleurs à travers leurs gestes et postures ainsi que des variations observées d'une journée à l'autre *(Cf. Figure 1)*. Pour permettre cette représentativité, le préleveur doit s'appuyer sur la stratégie de mesure, définie préalablement sur la base d'informations collectées lors de la visite initiale dans l'entreprise.

Les objectifs de la surveillance biologique des expositions professionnelles

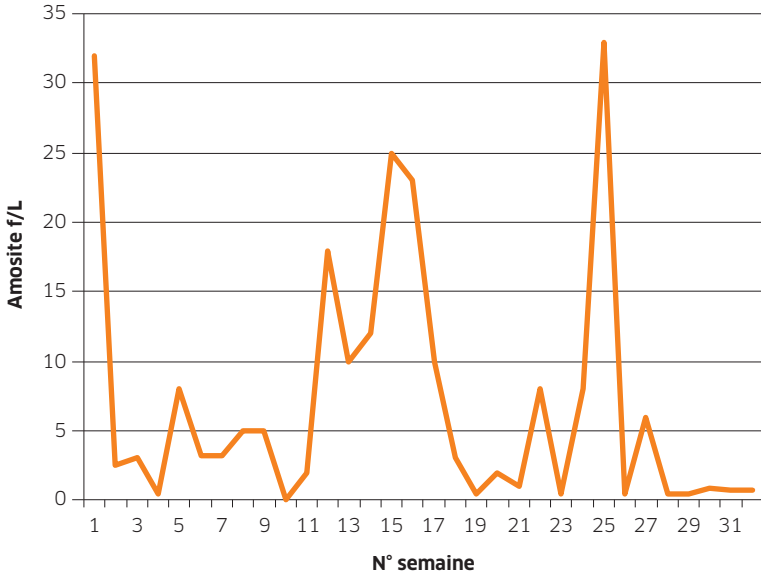
La surveillance biologique des expositions professionnelles aux agents chimiques (SBEP), ou biométrologie, a été définie en 1984 par des experts réunis par la Commission des communautés européennes (CEC), le *National Institute of Occupational Safety and Health* (NIOSH, États-Unis) et l'*Occupational Safety and Health Administration* (OSHA, États-Unis) comme « *l'identification et la mesure des substances de l'environnement du poste du travail ou de leurs métabolites*

© Grégoire Maisonneuve pour l'INRS/2011

Mesures de prélèvements de fumées de soudage par le Centre de mesures physiques (CMP) de la Carsat Nord-Picardie, sur un chantier de construction à Lille.

dans les tissus, les excreta, les sécrétions ou l'air expiré des travailleurs exposés, pour évaluer l'exposition et les risques pour la santé, en comparant les valeurs mesurées à des références appropriées ». Les paramètres mesurés sont appelés indicateurs biologiques d'exposition (IBE) et les références utilisées pour interprétation du résultat de l'IBE, valeurs biologiques d'interprétation (VBI). Réglementairement, la mesure d'un IBE est un examen complémentaire, qui peut être prescrit par le médecin du travail[7].

L'objectif premier de la SBEP est, comme pour la mesure des concentrations dans l'air des lieux de travail, l'évaluation des expositions des travailleurs. Elle a pour avantage de rendre compte de la dose réellement absorbée par les travailleurs. En effet, la SBEP prend en compte toutes les voies d'absorption, ce qui est important en particulier lorsque les voies cutanée et/ou digestive contribuent à la dose absorbée, en plus de la voie respiratoire : exposition à des composés bien absorbés par voie percutanée (mention « *peau* » ou « *risque de passage percutané* » accompagnant certaines valeurs limites d'exposition professionnelle proposées par différents organismes), exposition à des aérosols d'oxydes ou de sels métalliques (absorption digestive du fait du non-respect des mesures d'hygiène ou après déglutition secondaire des particules de granulométrie supérieure à 5 µm déposées dans la partie supérieure de l'arbre respiratoire). Réglementairement, lors de l'appréciation du risque lié aux agents CMR, « *toutes les expositions*



↓ FIGURE 1
Exemple de variabilité des concentrations (mg/m³) journalières à une substance chimique observée au sein d'un même établissement liée à l'activité fluctuante.
Cette figure met en évidence l'importance d'effectuer des mesures sur des journées et des périodes différentes pour être représentatives de l'exposition des travailleurs.

ENCADRÉ 3
LES CMR

Par agent chimique dit « CMR » (cancérogène, mutagène ou reprotoxique), le Code du travail entend les CMR de catégories 1A et 1B (selon le CLP), ainsi que les agents chimiques concernés par les procédés classés comme cancérogènes (les poussières alvéolaires de silice cristalline, par exemple). En effet, la réglementation CLP *(Cf. Encadré 2)* distingue les CMR de catégorie 1A dont les effets sont avérés, 1B dont les effets sont présumés et 2 dont les effets sont suspectés. Ceux classés en catégorie 2 relèvent des règles générales de prévention du risque chimique. Pour identifier le caractère CMR d'un agent chimique ou d'un mélange chimique dangereux, les mentions de danger (H) figurant sur l'étiquette du produit sont utiles :

- H 350 : peut provoquer le cancer ;
- H 340 : peut induire des anomalies génétiques ;
- H 360 : peut nuire à la fertilité ou au fœtus.

susceptibles de mettre en danger la santé ou la sécurité des salariés doivent être prises en compte, y compris l'absorption percutanée ou transcutanée »[8].

La SBEP tient également compte des caractéristiques de l'exposition (solubilité des composés, granulométrie des particules en cas d'exposition à des aérosols), des conditions de travail (mesures de prévention en place, port d'équipements de protection individuelle, effort physique responsable d'une augmentation du débit ventilatoire et de l'absorption respiratoire, température ambiante élevée entraînant une vasodilatation périphérique qui favorise l'absorption cutanée), ainsi que de facteurs individuels (caractéristiques physiologiques, pathologies, prises médicamenteuses, habitudes pouvant interférer avec la mesure) et des expositions extraprofessionnelles (environnement, loisirs).

La SBEP permet d'objectiver l'exposition individuelle, mais c'est également un outil de surveillance des expositions au niveau collectif. La SBEP permet d'identifier des groupes d'exposition similaire (GES) ou des tâches à risque, afin de prioriser les actions de prévention à mettre en place et d'évaluer l'efficacité de ces actions.

Par ailleurs, elle contribue au suivi individuel de l'état de santé des travailleurs exposés au plomb et à ses composés. Le Code du travail prévoit un suivi individuel renforcé, en fonction notamment du niveau de la plombémie et fixe pour celle-ci une valeur limite biologique à ne pas dépasser[9].

Enfin, la SBEP permet d'assurer la traçabilité individuelle et collective des expositions professionnelles.

Les objectifs de la mesure de la contamination des surfaces

Cette évaluation va principalement concerner des composés susceptibles de souiller les surfaces de travail ou de s'y déposer (outils, machines, plans de travail, claviers, EPI, etc.), tels que les composés organiques semi-volatils, les particules métalliques, ou tous les agents chimiques pouvant engendrer des contaminations surfaciques lors de la mise en œuvre d'un procédé ou d'un travail, comme l'usinage des métaux générant des brouillards d'huile.

De nombreux secteurs d'activité génèrent des produits semi-volatils et particulaires qui contaminent les surfaces de travail. Cette contamination peut conduire à une exposition secondaire des travailleurs par contact avec ces surfaces souillées, pouvant représenter des voies d'entrée de composés toxiques dans l'organisme par voie cutanée ou par ingestion involontaire, ou indirectement par voie respiratoire, par la remise en suspension dans l'atmosphère.

Cette exposition peut alors entraîner des effets sanitaires propres aux polluants concernés et à ces modes de contamination, tels que des effets cancérigènes et mutagènes, mais aussi irritants et allergiques ; les dermatoses constituent une part importante des maladies liées au travail. Une mention « *peau* » est attribuée à certains agents chimiques pouvant passer dans l'organisme par voie cutanée, en complément des VLEP atmosphériques, afin d'alerter sur les effets sanitaires potentiels d'une exposition cutanée.

Contrairement à l'évaluation de l'exposition des travailleurs aux agents chimiques dans l'air, cette approche a émergé plus récemment, dans le courant des années 1990. Il est ensuite apparu que ce domaine manquait de lisibilité et d'harmonisation dans les pratiques, ce qui pouvait constituer un frein à l'interprétation et l'intercomparaison des données, et donc au développement de l'évaluation des contaminations surfaciques. Ainsi, depuis quelques années, cette approche tente de se structurer, notamment sur l'aspect de la standardisation des pratiques métrologiques.

Des protocoles encadrant ces mesures sont actuellement disponibles ; un grand nombre d'entre elles sont rassemblées dans la base de données MétroPol, développée par l'INRS[10]. Cependant, en l'absence de valeurs de référence, l'utilisation des données est, pour l'heure, pédagogique et a essentiellement vocation à sensibiliser sur les expositions potentielles. Ainsi, certains travailleurs peuvent ne pas

POUR EN SAVOIR +

• **Articles du Code du travail** (notamment R. 4121-1, etc.) : accessibles sur : www.legifrance.gouv.fr

• **Directives européennes :** accessibles sur : https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/

• **Publications de l'INRS :** accessibles sur : www.inrs.fr :
- VLEP ED 6443 : https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206443
- Outil n° 65 : https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil65
- CLP, ED 6207 CLP : https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206207
- Dossier – La métrologie au service de la prévention du risque professionnel. *HST,* 2020, 260, pp. 22-56. Accessible sur : www.hst.fr
- Dossier – Polyexpositions chimiques diffuses et massives : une réalité méconnue. *HST,* 2020, 261, pp. 30-82. Accessible sur : www.hst.fr
- Rediffusion (« replay ») de la Journée technique de l'INRS « Surfaces contaminées », organisée le 8 avril 2021, sur la chaîne YouTube de l'INRS : www.youtube.com/playlist?list=PLqIw8IH6G3t1JI9QuPeTIzThiLSDendSe

• **Outils et bases de données INRS :**
- MétroPol : www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html
- Seirich : accessible sur : www.seirich.fr
- Solvex : accessible sur : www.inrs.fr/publications/bdd/solvex.html
- MiXie France : accessible sur : www.inrs.fr/publications/outils/mixie.html
- Biotox : www.inrs.fr/biotox

avoir conscience de cette contamination sur les surfaces de travail, mais aussi dans des locaux annexes comme les réfectoires, les vestiaires, etc., et donc potentiellement relâcher leur vigilance. Des prélèvements surfaciques peuvent révéler la présence de polluants sur des surfaces régulièrement touchées comme les distributeurs de boissons, les portes de vestiaires, les poignées de porte, etc. L'objectivation de ces contaminations peut alors avoir un rôle doublement salutaire : la mise en place d'actions collectives pour réduire les émissions à la source et modifier les pratiques ou faire évoluer les environnements professionnels, comme l'installation de portes automatiques en lieu et place de portes traditionnelles avec poignées, ainsi qu'une prise de conscience individuelle des travailleurs de l'exposition potentielle avec des modifications de leurs comportements, comme le lavage systématique des mains en entrant dans les espaces communs.

Les prélèvements surfaciques représentent un outil complémentaire aux mesures atmosphériques et biométrologiques, pouvant être mis en œuvre par les entreprises afin d'appréhender l'évaluation des risques chimiques d'une manière globale. Réalisés en parallèle de prélèvements atmosphériques et biométrologiques, ils complètent la connaissance d'une situation professionnelle précise et contribuent à une analyse plus approfondie et à des conclusions plus robustes en termes de prévention.

Tout comme les mesures de polluants dans l'air des lieux de travail, les prélèvements surfaciques doivent être représentatifs de l'exposition des travailleurs et sont déterminés sur la base d'éléments collectés en amont, notamment lors de la visite préalable de l'entreprise.

Enfin, la standardisation de l'approche métrologique et l'obtention de données quantitatives fiables représentent un prérequis indispensable à toute évolution réglementaire. Maintenant que la métrologie des prélèvements surfaciques tend vers une harmonisation, une réflexion sur la construction et l'établissement de valeurs limites surfaciques, ou *a minima* de références ou de valeurs guides par domaine d'activité, semble se dessiner.

Conclusion

Dans un contexte réglementaire européen datant de plus de trente ans, la mesure de l'exposition des travailleurs à des agents chimiques a toute sa place. Malgré tout, elle n'est pas toujours nécessaire et doit répondre à un besoin. Les besoins conduisant à la mesure, et donc leurs objectifs, sont variés, mais doivent être clarifiés avant toute campagne. Il appartient à l'employeur d'en apprécier la pertinence dans le cadre de la démarche de prévention des risques mise en place.

Dans la suite de ce dossier, les sujets suivants seront abordés en mettant en scène la complémentarité et les différences entre les prélèvements atmosphériques, surfaciques et la biométrologie :

- Les contraintes de la mesure des expositions aux agents chimiques *(Cf. Article p. 26)* ;
- La description des techniques de mesures les plus communément employées pour contribuer à la prévention des risques professionnels *(Cf. Article p. 32)* ;
- À travers plusieurs exemples, les complémentarités, similarités et limites de la mesure *(Cf. Article p. 40)*. ●

1. Accessible sur : www.seirich.fr.

2. Accessible sur : www.inrs.fr/publications/bdd/solvex.html.

3. Voir à ce sujet : ED 6443, INRS. Accessible sur : www.inrs.fr.

4. Directives relatives à l'établissement de listes de valeurs limites d'exposition professionnelle de caractère indicatif en application de la directive n° 98/24/CE du Conseil concernant la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs contre les risques liés à des agents chimiques sur le lieu de travail : Directive n°2000/39/CE du 8 juin 2000 (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=CELEX%3A32000L0039) ; Directive n°2006/15/CE du 7 février 2006 (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=CELEX%3A32006L0015) ; Directive n°2009/161/UE du 17 décembre 2009 (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0161) ; Directive (UE) n°2017/164 du 31 janvier 2017 (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=CELEX%3A32017L0164) ; Directive (UE) n°2019/1831 du 24 octobre 2019 (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=CELEX%3A32019L1831).

5. Directives modifiant la directive n°2004/37/CE concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérigènes ou mutagènes au travail : Directive (UE) n°2017/2398 du 12 décembre 2017 (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:32017L2398) ; Directive (UE) n°2019/130 du 16 janvier 2019 (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:32019L0130) ; Directive (UE) n°2019/983 du 5 juin 2019 (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32019L0983).

6. Voir : www.acgih.org.

7. Art. R. 4412-51 du Code du travail. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr

8. Art. R. 4412-65 du Code du travail. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr

9. Code du travail. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr

10. Accessible sur : www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html.

À noter

Au moment où ce dossier est rédigé, des modifications sont attendues dans le contexte réglementaire français. Toutefois, les fondements exposés ici ne devraient pas être impactés, dans la mesure où ils décrivent surtout des bonnes pratiques préconisées par l'INRS, à l'exception des encadrés spécifiquement dédiés à la réglementation, qui pourraient évoluer.

LES CONTRAINTES DE LA MESURE DES EXPOSITIONS AUX AGENTS CHIMIQUES

La réalisation de mesures ne s'improvise pas, et des méthodes et bonnes pratiques les encadrant doivent être appliquées. Or, l'application de toute méthode requiert de respecter des règles qui contraignent plus ou moins fortement la réalisation. Dans cet article, les points les plus importants sont présentés sous la forme de questions/réponses, sur les différents types de prélèvements. Plus spécifiquement, il s'agit d'identifier les contraintes liées aux acteurs qui peuvent réaliser les mesures ; celles liées à la nature de la mesure ; celles liées à la réalisation elle-même ; et enfin, celles liées à l'interprétation.

BRUNO COURTOIS
INRS, département Expertise et conseil technique

GAUTIER MATER, ANDRÉA EMILI, WILLIAMS ESTÈVE, FRÉDÉRIC CLERC
INRS, département Métrologie des polluants

PHILIPPE DUQUENNE
INRS, département Ingénierie des procédés

NADIA NIKOLOVA-PAVAGEAU
INRS, département Études et assistance médicale

La mesure des agents chimiques dans l'air des lieux de travail

Qui réalise les prélèvements ?

Des prélèvements atmosphériques peuvent être réalisés par différentes personnes, à condition que ces dernières aient préalablement suivi une formation théorique et pratique sur le terrain pour être reconnues comme compétentes. Une fois formés, préventeurs, hygiénistes, personnels des services de santé au travail, personnels rattachés à un service qualité, hygiène, sécurité et environnement ([Q]HSE) d'une entreprise, ou encore techniciens préleveurs d'un laboratoire d'hygiène industrielle peuvent réaliser des campagnes de prélèvements.

Lorsque l'objectif porte sur le contrôle du respect des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) réglementaires, l'entreprise doit faire appel à des techniciens préleveurs d'un organisme accrédité pour le « *contrôle des expositions professionnelles aux substances chimiques dans l'air des lieux de travail*[1] ». Lorsque l'objectif de mesures répond à un autre besoin de prévention, tout acteur compétent pour le prélèvement peut les réaliser.

Que faut-il mesurer ?

Le document phare recensant les agents chimiques présents dans l'entreprise est le document unique d'évaluation des risques (DUER). En effet, les produits, les substances utilisées, mais aussi les agents chimiques émis par les procédés au poste de travail y sont décrits, et les conclusions de l'évaluation du risque chimique (ERC) permettent de prioriser la prévention pour les agents chimiques dont la mesure de l'exposition peut avoir un intérêt, en fonction du niveau de risque évalué.

La plupart du temps, des mélanges incluant agents chimiques émis par les procédés et produits étiquetés sont identifiés au poste de travail. Bien qu'il ne soit généralement pas nécessaire de réaliser des mesures de l'exposition de tous les agents chimiques présents à un poste de travail, les expositions doivent néanmoins être prises en compte dans leur ensemble. Pour cela, un outil comme MiXie France[2] permet, quantitativement ou qualitativement, c'est-à-dire avec ou sans mesures, d'identifier le potentiel additif ou non des substances[3]. Par exemple, MiXie France informe que l'exposition conjointe à l'acétone et au toluène engendre un effet cumulé, puisque ces deux substances sont toutes les deux associées à la classe « *Atteintes du système nerveux central* ». À l'inverse, il précise qu'une exposition simultanée d'acétone et de silice cristalline n'induit pas d'effet cumulatif. Chaque situation est à étudier au cas par cas, afin de déterminer pour quels agents chimiques il y a un intérêt, pour la prévention, à réaliser des mesures d'exposition.

Au regard des 143 000 substances enregistrées dans l'inventaire Reach[4], seulement environ 700 d'entre elles (soit 0,15 %) ont une VLEP et sont listées dans l'outil n° 65 de l'INRS[5]. Une recherche de valeurs de référence étrangères peut être engagée pour compléter les valeurs françaises, par l'intermédiaire de bases de données telles que Gestis[6], développée par la DGUV (Allemagne), qui regroupe des VLEP provenant de 27 pays différents pour plus de 2 200 substances.

Dans le cadre de mesures menées dans une démarche de prévention, l'absence de VLEP ne doit pas être un frein. La mesure de l'exposition apporte une information que le préventeur doit savoir interpréter et utiliser, dans le but de réduire l'exposition des travailleurs à son plus bas niveau techniquement possible. La limite à laquelle il peut être confronté est l'absence de méthode visant à mesurer l'agent chimique concerné.
Quelle que soit la démarche engagée (prévention du risque ou vérification du respect de la réglementation – les deux n'étant ni contradictoires, ni exclusives), il est important d'avoir à l'esprit que l'on ne trouvera que ce que l'on cherche[7]. Pour cette raison, il ne faut pas se limiter à mesurer les agents chimiques disposant d'une VLEP.

Comment réaliser la mesure ?

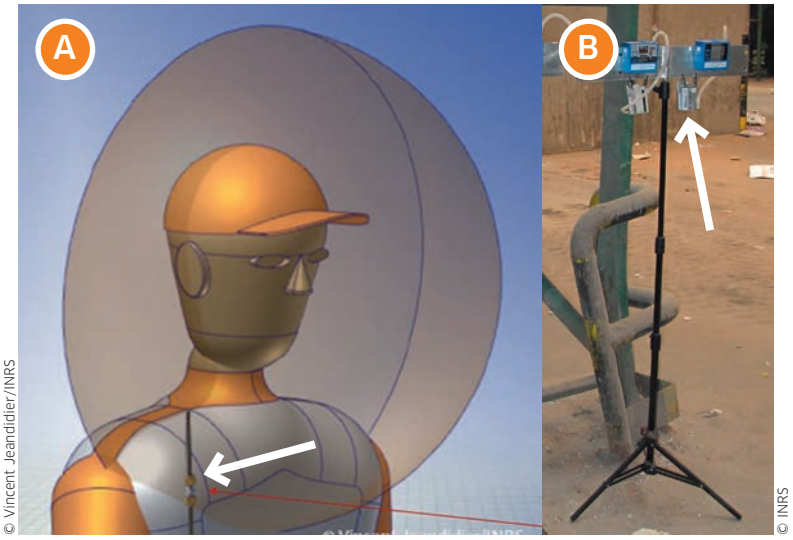
Dans un contexte de prévention, le guide méthodologique MétroPol[8] décrit la démarche à suivre pour la réalisation de prélèvements, en fonction de l'objectif recherché. Elle se construit en quatre étapes successives : l'élaboration d'une stratégie de prélèvement, la réalisation de la campagne de mesurages, l'analyse des échantillons et l'exploitation statistique des concentrations mesurées. Elle est adaptable à l'objectif visé. La constitution de groupes d'expositions similaires (appelés GES) est souvent nécessaire pour des raisons techniques, mais aussi économiques : il n'est pas possible de mesurer, tous les jours, tous les agents chimiques, sur tous les travailleurs.

La durée d'un prélèvement dépend de l'objectif visé. Lorsque celui-ci consiste à mesurer l'exposition d'un travailleur à un poste de travail, alors la durée du prélèvement doit être proche de la durée du poste de travail ou, *a minima,* suffisamment longue pour être représentative de l'exposition. Si l'objectif porte sur l'évaluation de l'exposition à une tâche particulière, alors la durée sera celle de la tâche. Comme cela a été évoqué précédemment, la mesure doit être représentative de l'exposition des travailleurs à leur poste de travail.
Lorsque l'objectif vise à répondre à ses obligations réglementaires, l'employeur doit respecter les dispositions décrites dans le Code du travail.
Dans tous les cas, ces mesures doivent être utiles à l'employeur, en lui permettant par exemple de revoir les conclusions de son évaluation des risques chimiques ou encore, le cas échéant, de planifier la périodicité des mesures à venir.
Enfin, pour l'interprétation des résultats des prélèvements, il est nécessaire de relever pour chaque poste de travail, et/ou chaque tâche, les paramètres susceptibles de déterminer ou d'influer sur l'exposition. Ces paramètres sont notamment :

1. le lieu de travail défini s'il est en plein air, en espace confiné, en cabine…, l'existence d'une ventilation mécanique générale ;
2. les circonstances d'exposition caractérisées par le type de matériels utilisés, le type de procédé (ouvert, clos…), la fréquence d'exposition du travailleur, les moyens de prévention collectives existants (captage à la source…) et les conditions

© Gaël Kerbaol/INRS/2016

Sur une plateforme logistique, à l'arrivée des conteneurs, une sonde reliée à un capteur permet de mesurer les concentrations en monoxyde de carbone, cyanure d'hydrogène, phosphine, formaldéhyde et composés organiques volatils.



© Vincent Jeandidier/INRS

© INRS

↑ FIGURE 1
Emplacement des dispositifs de mesure : pour A : prélèvement individuel et pour B : prélèvement d'ambiance à point fixe.

météorologiques (température et humidité relative) – tout particulièrement pour les postes de travail en extérieur ;
3. la description du poste de travail par la tâche effectuée, le métier, l'utilisation ou non de protection individuelle.

Prélèvement d'ambiance ou individuel ?

Lorsque l'objectif est d'évaluer l'exposition à un poste de travail ou pour une tâche spécifique, il est nécessaire de réaliser des prélèvements individuels, chaque fois que ceux-ci sont possibles.
Les prélèvements individuels permettent, en effet, de prendre en compte la gestuelle, le positionnement et les déplacements d'un travailleur. Ces prélèvements s'effectuent au niveau des voies respiratoires du travailleur comme l'indique la demi-sphère sur le schéma *(Cf. Figure 1)*. Pour réaliser ce type de prélèvements, les travailleurs sont équipés de pompes et de dispositifs de prélèvement en fonction des agents chimiques à prélever.
Les prélèvements d'ambiance, effectués le plus souvent à point fixe, peuvent être déployés pour évaluer les concentrations dans différentes zones de travail de l'entreprise ou à différents postes de travail *(Cf. Figures 1 et 2)*. Ces prélèvements sont préconisés notamment si l'on souhaite réaliser une cartographie spatiale ou spatiotemporelle des niveaux de concentration des agents chimiques d'intérêt à l'intérieur d'un atelier. Pour ce faire, les points de mesure sont positionnés en différents emplacements à l'intérieur de l'atelier, selon un maillage prédéfini, de manière à pouvoir évaluer les niveaux de concentration dans la zone investiguée. L'emploi de dispositifs de type trépied permet de positionner les appareils de mesure à hauteur des voies respiratoires.

↓ FIGURE 2
Exemple de cartographie des concentrations ambiantes en polluant chimique dans l'air d'une zone de travail. *L'exemple représente les concentrations en NH_3 dans une usine de méthanisation des déchets (atelier de presse) et la cartographie a été effectuée avec l'outil Dactari (Dispositif d'acquisition et de trajectographie pour l'analyse du risque individuel) [1]*

La surveillance biologique des expositions professionnelles

Qui réalise les mesures ?

La mesure d'un indicateur biologique d'exposition (IBE) dans un milieu professionnel, pour la surveillance biologique des expositions aux agents chimiques (SBEP), est un examen complémentaire prescrit par le médecin du travail (art. R. 4412-51 du Code du travail), qui sera réalisé par un laboratoire d'analyses biologiques.
Les analyses destinées à vérifier le respect des valeurs limites biologiques (VLB), fixées par décret (VLB pour la plombémie uniquement), doivent être réalisées par des organismes accrédités dans ce domaine (art. R. 4412-51-1 du Code du travail) [9].

Que faut-il mesurer ?

Comme pour la métrologie atmosphérique, c'est la hiérarchisation des dangers qui permettra de lister les agents chimiques pour lesquels l'exposition devra être évaluée en priorité (agents CMR, toxiques cumulatifs, agents neurotoxiques…).
Il est important de noter que la SBEP ne sera pas pertinente en cas d'exposition à des agents responsables d'effets exclusivement locaux, pulmonaires ou cutanés, ou de mécanisme irritatif ou immuno-allergique, ou bien encore d'effets systémiques, déterminés uniquement par les pics d'exposition (cas de la phosphine, du cyanure d'hydrogène…). En pratique, elle ne sera réalisée que si un IBE validé par des données scientifiques et, idéalement, des valeurs biologiques d'interprétation (VBI, *Cf. Encadré)* permettant l'interprétation du résultat, sont disponibles.
La seule VLB réglementaire établie en France est celle pour le plomb sanguin (art. R. 4412-152 du Code du travail). Par ailleurs, l'arrêté du 14 mai 2019, fixant une VLEP-8h indicative pour la fraction inhalable du cadmium et ses composés inorganiques, prévoit une option alternative avec une VLEP-8h pour sa fraction alvéolaire, sous réserve du respect d'une valeur biologique maximale définie pour la concentration de cadmium mesurée dans les urines des travailleurs.

En l'absence de VLB réglementaire, le médecin du travail peut s'appuyer sur les recommandations de bonne pratique pour la surveillance des expositions professionnelles aux agents chimiques de la Société française de médecine du travail [2]. Des VLB sont proposées, notamment par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) en France, et par le comité d'évaluation des risques (Rac) de l'Agence européenne des produits chimiques (Echa) en Europe. Le choix d'un IBE et de la ou les VBI scientifiquement validés pourra être guidé par la base de données Biotox de l'INRS[10].

Comment réaliser la mesure ?

Le prélèvement d'un échantillon biologique pour la SBEP fait partie des examens complémentaires pouvant être prescrits par le médecin du travail. À ce titre, le temps nécessaire à sa réalisation est pris sur les heures de travail, sans retenue de salaire pour les salariés, ou rémunéré comme temps de travail effectif lorsque cet examen ne peut avoir lieu pendant les heures de travail. Les éventuels frais de transport pour réaliser cet examen sont également pris en charge par l'employeur (art. R. 4624-39 du Code du travail).

Le prélèvement peut être réalisé dans un laboratoire de biologie médicale de proximité, dans le service de santé au travail ou sur le lieu de travail, lors d'une campagne de biométrologie, organisée par le service de santé au travail. Lorsque le prélèvement n'est réalisé ni dans un laboratoire de biologie médicale, ni dans un établissement de santé, une convention signée entre le représentant légal du laboratoire et le professionnel de santé, ou la structure dans laquelle exerce celui-ci, doit fixer les procédures applicables (art. L. 6211-14 du Code de la santé publique).

Les prélèvements sanguins doivent être réalisés par un professionnel de santé habilité (biologiste, médecin, infirmier…), dans un lieu respectant les conditions d'asepsie nécessaires. Quant au recueil urinaire, il est réalisé par le travailleur concerné, préalablement informé des précautions à prendre, notamment pour limiter le risque de contamination de l'échantillon, en cas de dosage de l'agent chimique non métabolisé (réalisation du prélèvement si possible après une douche ou, au minimum, après un lavage des mains).

Prélèvement collectif ou individuel ?

Par définition, la SBEP est basée sur la réalisation de dosages biologiques individuels. Seul le travailleur concerné est informé du résultat individuel par le médecin du travail. Cependant, une campagne de SBEP peut être réalisée au niveau d'un collectif de travail, après constitution de groupes d'expositions similaires (GES). Elle donnera lieu à une restitution et une interprétation anonyme et globale des résultats auprès de l'employeur et du collectif, en garantissant le respect du secret médical (art. R. 4412-51 du Code du travail).

ENCADRÉ

VALEURS BIOLOGIQUES D'INTERPRÉTATION (VBI)

Le terme de valeurs biologiques d'interprétation (VBI) a été proposé pour désigner l'ensemble des références auxquelles peut être comparée la mesure d'un indicateur biologique d'exposition dans le cadre de la surveillance biologique [2]. Il peut s'agir de valeurs établies dans un contexte d'exposition professionnelle ou de valeurs issues de la population générale[a].

En France, une valeur limite biologique réglementaire est fixée pour le plomb sanguin (art. R. 4412-152 du Code du travail). Par ailleurs, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) est chargée de proposer des valeurs sanitaires de référence[b], notamment :

- des valeurs limites biologiques (VLB) qui visent à protéger les travailleurs des effets néfastes liés à l'exposition à moyen et long terme à l'agent chimique considéré (exposition régulière et pendant la durée d'une vie de travail) ;
- des valeurs biologiques de référence (VBR), correspondant le plus souvent au 95e percentile des valeurs de l'indicateur mesurées dans la population générale adulte.

Au niveau européen, c'est le comité d'évaluation des risques (Rac) de l'Agence européenne des produits chimiques (Echa) qui élabore des propositions de valeurs biologiques[c].

Des VBI sont également proposées par d'autres organismes, en particulier l'*American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH, États-Unis[d]), la *Deutsche Forschungsgemeinschaft* (DFG, Allemagne[e]), le *Finnish Institute of Occupational Health* (FIOH, Finlande[f]).

Les VBI disponibles sont référencées et régulièrement mises à jours dans la base de données Biotox de l'INRS[a].

a. Voir : Signification des principales valeurs biologiques d'interprétation (VBI). Accessible sur : www.inrs.fr/publications/bdd/biotox.html
b. Voir : www.anses.fr/fr/content/les-valeurs-de-r%C3%A9f%C3%A9rence
c. Voir : https://echa.europa.eu/oels-activity-list
d. Voir : www.acgih.org
e. Voir : www.dfg.de/en/dfg_profile/statutory_bodies/senate/health_hazards/index.html
f. Voir : www.ttl.fi/en/service/biomonitoring/

La mesure de la contamination des surfaces

Qui réalise les mesures ?

Les mesures de contaminations surfaciques n'ont pas de caractère obligatoire dans le cadre du Code du travail et ne sont pas soumises à habilitations réglementaires. De plus en plus de laboratoires agissant dans le domaine des prélèvements en hygiène industrielle commencent à se spécialiser en matière de prélèvement des polluants sur les surfaces de travail, sur la base de protocoles publiés ou ayant fait l'objet de validations préalables.

→

© Serge Morillon/INRS/2016

Dans un laboratoire de l'INRS, un banc de génération d'aérosols organiques permet d'étudier le comportement des dispositifs de prélèvement individuel.

Ainsi, certains laboratoires de Carsat ou tout autre acteur de la prévention s'inscrivant dans cette démarche d'expertise, tels que des laboratoires privés, pourront être légitimes pour la réalisation de campagnes de mesures, sur demande des services de santé au travail ou des services QHSE, par exemple.

Que faut-il mesurer ?

Les polluants cibles pour les prélèvements surfaciques sont essentiellement des composés pouvant se déposer sur les surfaces par sédimentation depuis le compartiment atmosphérique, ou par projection. Ainsi, les composés organiques semi-volatils et les composés particulaires, ainsi que les substances utilisées en grande quantité lors d'un procédé industriel, tels que les fluides d'usinage, sont des candidats d'intérêt prioritaire pour la mesure de la contamination sur les surfaces des environnements de travail.

Comment réaliser la mesure ?

Les prélèvements peuvent concerner un poste spécifique, ou un procédé ou une activité dans son intégralité.

Ils doivent être effectués dans un environnement de travail représentatif des conditions de travail quotidiennes des travailleurs. Tout nettoyage inhabituel préalablement aux phases de prélèvements est donc à éviter, sous peine de sous-évaluation des contaminations surfaciques habituelles, et donc des expositions réelles.

Il convient également, après analyse de la situation professionnelle en amont (bibliographie, visite préalable, questionnaires, etc.), de cibler préférentiellement des zones de forte activité des travailleurs pour la réalisation des prélèvements, plutôt que des zones peu fréquentées.

L'aspect de la temporalité des prélèvements doit également être pris en compte lors de la conception du plan de prélèvements. En effet, les dépôts de contaminants sur les surfaces évoluent au cours du temps et sont directement liés aux phases d'activité. Tout comme pour la localisation des prélèvements, ceux-ci doivent être effectués à des moments pertinents, tels que des phases de présence d'opérateurs dans l'environnement ciblé et/ou après des phases potentiellement polluantes. Une approche de prélèvement, répétés au cours du temps dans un même environnement peut, par ailleurs, renseigner sur l'évolution et les cinétiques de contaminations des surfaces.

Dans l'objectif d'une évaluation de la contamination surfacique d'un local entier, une approche par cartographie peut être réalisée. Le maillage de celle-ci dépend alors du niveau de précision souhaité par le préventeur. Ce type d'évaluation globale peut mettre en évidence des zones plus chargées que d'autres, et surtout le fait que les surfaces les plus souillées ne

sont pas forcément les surfaces à proximité immédiate des procédés ou des machines, où la vigilance et la protection sont maximales, comme il pourrait être supposé de prime abord. En effet, l'aéraulique d'un local peut déporter la pollution générée à distance de sa source d'émission.
Par extension, les surfaces des locaux annexes, tels que les réfectoires, vestiaires, salles de repos, etc., peuvent également présenter des risques de contamination non négligeables, que les mesures surfaciques peuvent mettre en évidence. Là encore, les objets ou zones les plus susceptibles d'être en contact avec les travailleurs, comme les distributeurs de boissons ou les poignées de portes, sont à privilégier dans un but d'évaluation réaliste.

Prélèvement sur des surfaces d'équipements ou sur la peau ?

Les prélèvements sur des surfaces d'équipements ou de locaux peuvent être réalisés en gardant à l'esprit l'objectif de prévention lié à ces mesures. Ainsi, la stratégie et le choix des zones d'intérêt prioritaire pour les prélèvements doivent être établis en fonction de l'activité des travailleurs et des zones ou surfaces les plus potentiellement concernées par des contacts (outils, manettes, claviers d'ordinateurs par exemple). Il est également possible de cartographier un atelier entier ou une machine en particulier. Dans le premier cas, une approche par maillage se révèle adaptée. Pour une analyse plus localisée, la stratégie peut également être basée sur un maillage, mais plus resserré, ou sur des prélèvements concentriques, permettant d'évaluer la dispersion de la pollution en fonction de la distance à la source.
Des prélèvements sur la peau des travailleurs peuvent également être réalisés, en général sur les mains, les avant-bras ou certaines parties du visage et du cou. Ils ont pour objectif de mettre en évidence des contaminations par des agents chimiques, qui possèdent une capacité de passage à travers la peau significative, ou peuvent conduire à des expositions digestives par l'intermédiaire des mains, au contact du tractus digestif. Les résultats de ces prélèvements peuvent être utilisés pour l'évaluation des risques ou dans un but pédagogique, vis-à-vis des travailleurs, des managers, des décideurs ou encore des responsables HSE.

Conclusion

Les contraintes relatives à la réalisation des mesures relèvent de différents domaines. Les prélèvements atmosphériques sont fortement contraints par des décennies d'études et recherches internationales ayant débouché sur une littérature riche [3], des bonnes pratiques[12], des textes normatifs [4] et réglementaires. En conséquence, la démarche est bien encadrée. La surveillance biologique des expositions professionnelles est une méthode moins ancienne. La principale limite à sa mise en place est le nombre encore relativement peu élevé d'indicateurs biologiques d'exposition validés par des données scientifiques et de valeurs biologiques d'interprétation disponibles, mais c'est un domaine en plein développement. Même si elle s'appuie sur des dosages biologiques individuels, elle constitue également un outil de surveillance collective des expositions, permettant d'identifier des priorités en termes de prévention et d'évaluer l'efficacité des mesures entreprises. Enfin, concernant l'exposition surfacique, les pratiques n'étant pas pleinement stabilisées, le caractère contraignant provient davantage du manque de maturité de ce domaine et de l'absence de valeurs de référence.
En dépit de toutes les limites recensées, les mesures atmosphériques, biométrologiques et surfaciques restent les méthodes les plus fiables pour objectiver les expositions professionnelles à un danger provenant d'un produit chimique. ●

1. Voir : www.inrs.fr/publications/bdd/organismes-agrees/a-propos-des-organismes-accredites.html et www.inrs.fr/risques/mesure-expositions-agents-chimiques-biologiques/reglementation.html

2. Voir : www.inrs.fr/publications/outils/mixie.html

3. Voir : Dossier – Polyexpositions chimiques diffuses et massives : une réalité méconnue. HST, *2020, 261, pp. 30-82. Accessible sur : www.hst.fr*

4. Voir : https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/annex-iii-inventory

5. Voir : www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil65

6. Voir : https://limitvalue.ifa.dguv.de/

7. Voir : Dossier – La métrologie au service de la prévention du risque professionnel. HST, *2020, 260, pp. 22-56. Accessible sur : www.hst.fr*

8. Voir : www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html

9. Voir : www.legifrance.gouv.fr

10. Voir : www.inrs.fr/biotox

11. Voir : www.legifrance.gouv.fr

12. Voir : www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html

BIBLIOGRAPHIE

[1] Galland B., Dirrenberger P., Gerardin K., Levilly R., Martin P., Duquenne P. – Analyse spatio-temporelle des expositions professionnelles aux agents chimiques et biologiques. *Hygiène & sécurité du travail,* 2020, 260, pp. 50-56. Accessible sur : www.hst.fr

[2] Société française de médecine du travail (SFMT) – Surveillance biologique des expositions professionnelles aux agents chimiques. Recommandations de bonne pratique. *Références en santé au travail,* 2016, 146, pp. 65-93.

[3] Damiano J., Mulhausen J. – *A strategy for assessing and managing occupational exposures,* 4th ed. AIHA Publications, 2015.

[4] Norme EN 689 – *Workplace exposure – Measurement of exposure by inhalation to chemical agents – Strategy for testing compliance with occupational exposure limit values.* Bruxelles, CEN, 2018.

LES TECHNIQUES DE MESURE

Cet article décrit les spécificités de la mesure pour les trois grandes familles de prélèvements décrites dans ce dossier : mesure dans l'air des lieux de travail ; surveillance biologique des expositions professionnelles ; mesures de contamination des surfaces. Le mesurage doit se réaliser en quatre phases : élaboration d'une stratégie de prélèvement ; réalisation de campagnes de mesures ; analyse des échantillons recueillis ; interprétation des résultats, dans une optique de prévention des risques.

GAUTIER MATER, FRÉDÉRIC CLERC, WILLIAMS ESTÈVE
INRS, département Métrologie des polluants

BRUNO COURTOIS
INRS, département Expertise et conseil technique

NADIA NIKOLOVA-PAVAGEAU
INRS, département Études et assistance médicale

PHILIPPE DUQUENNE
INRS, département Ingénierie des procédés

La réalisation d'une mesure, quel que soit son type, respecte un phasage identique, décliné en quatre étapes, décrites ci-dessous

1. L'élaboration d'une stratégie de prélèvement : elle s'appuie sur les conclusions de l'évaluation du risque chimique (ERC) et doit être élaborée après consultation de l'employeur, du médecin du travail ou du service de santé au travail et des instances représentatives du personnel. De nombreuses sources d'informations nécessaires à sa réalisation sont disponibles. Par exemple, la base Solvex [1], disponible sur le site de l'INRS, regroupe plus de 703 000 résultats d'exposition professionnelle pour 343 agents chimiques appartenant à différentes familles de substances utilisées en milieu de travail : composés organiques volatils tels que les isocyanates, composés organiques semi-volatils tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), aérosols, silice, métaux, acides, bases, etc.. Cette base peut apporter de la connaissance *a priori* sur les niveaux d'exposition par situation de travail. Pour mener à bien l'élaboration de la stratégie, la visite de l'établissement est une étape incontournable, notamment pour connaître l'organisation et la description des postes de travail, disposer des éléments nécessaires permettant d'expliquer les variations des niveaux d'exposition en polluants au cours d'une journée, entre différentes journées ou différents travailleurs, afin de pouvoir définir les groupes d'expositions similaires (GES). Ces GES sont des ensembles de travailleurs effectuant des tâches similaires et exposés à des niveaux comparables pour des mêmes agents chimiques.

2. La réalisation de campagnes de mesures : à l'issue de la définition de la stratégie de prélèvement, un plan de mesurages synthétisant les éléments nécessaires à la conduite des prélèvements est transmis au préleveur en charge de la réalisation des mesures.

3. L'analyse des échantillons : elle est réalisée par un laboratoire spécialisé. Certains laboratoires sont accrédités pour l'analyse de l'air des lieux de travail, d'autres sont spécialisés pour les échantillons biologiques et certains sont multicompétents.

4. L'interprétation des résultats des mesures : les résultats obtenus à la suite de l'exploitation statistique des mesures doivent permettre de décider des actions de prévention à mener. En fonction du cas, il peut s'agir de calculer quelle est la probabilité de dépassement de la valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP), de comparer les dosages d'un indicateur biologique d'exposition (IBE) à une valeur biologique d'interprétation (VBI) ou d'interpréter des résultats de contamination des surfaces. Dans le cas du prélèvement atmosphérique réglementaire, les résultats sont transmis par l'organisme accrédité à l'employeur. Il les communiquera aux instances représentatives du personnel de l'établissement et au médecin du travail et les tiendra à disposition de l'inspecteur du travail, du médecin inspecteur du travail, ainsi qu'aux agents des services de prévention des organismes de la Sécurité sociale (Carsat, Cramif, CGSS, etc.). Les résultats individuels de la surveillance biologique des expositions professionnelles aux agents chimiques (SBEP) sont couverts par le secret médical ; ils sont personnellement restitués par le médecin du travail aux travailleurs concernés. Seuls les résultats globaux et anonymes font l'objet d'une restitution auprès de l'employeur, des instances représentatives du personnel et du collectif de travail.

Cet article décrit les spécificités de ces phases pour les trois grandes familles de prélèvements décrites dans ce dossier : mesure dans l'air des lieux de travail ; surveillance biologique des expositions professionnelles ; mesures de contamination des surfaces.

Mesure dans l'air des lieux de travail

La stratégie de prélèvement

Cette étape consiste à préparer l'intervention dans le temps et dans l'espace : définir le planning exact, les personnes et/ou les lieux concernés, le matériel à prévoir, les techniciens qui interviendront sur le terrain. La conception en tant que telle est souvent

© Serge Morillon/INRS/2019

Dans un laboratoire de l'INRS, le banc d'essai « Caiman » permet de produire des aérosols de nanoparticules, pour étudier les performances d'appareils de mesures.

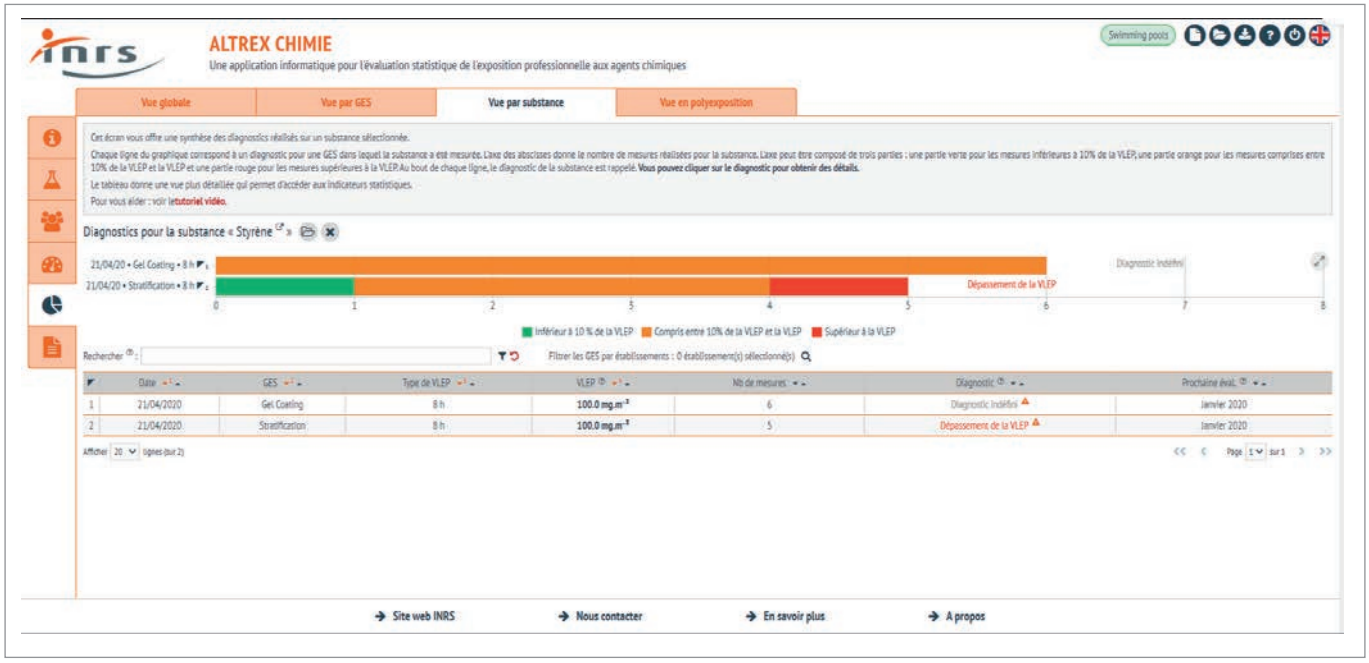
déléguée à un préventeur, un service (Q)HSE ou à un laboratoire compétent.

En effet, le niveau de concentration d'agents chimiques dans l'air des lieux de travail est fortement variable. Selon l'endroit ou le moment, des différences de plusieurs ordres de grandeur peuvent être observées. Il est par ailleurs impossible de mesurer en temps réel l'exposition sur tous les postes de travail et sur tous les travailleurs. Pour obtenir une mesure de concentration fiable, il est indispensable de collecter des échantillons d'air représentatifs, c'est-à-dire qui prennent en compte toute la diversité des situations rencontrées à un poste de travail ou dans un lieu précis. Seule une planification spatiotemporelle construite et réfléchie permet cette représentativité.

Concrètement, les informations pertinentes, en particulier la partie dédiée au risque chimique du document unique d'évaluation des risques, doivent d'abord être collectées. En complément, toutes autres informations utiles améliorant la connaissance du secteur d'activité, caractérisant les substances chimiques potentiellement présentes sur le lieu de travail ou encore décrivant l'activité et son organisation, sont également à recenser. Sur cette base documentaire, une visite initiale, en suivant le sens de la fabrication, doit servir à recenser les lieux et/ou postes de travail qui doivent faire l'objet d'un prélèvement. Lorsque cela s'applique, la stratégie définit en particulier les GES. Pour finir, un plan de prélèvement décrivant précisément l'organisation des prélèvements est élaboré. Il sert alors de « feuille de route » aux équipes en charge de la réalisation des prélèvements. Le nombre de mesures par GES selon les situations est préconisé dans la norme EN 689 [1], il y en a au minimum est trois, s'ils répondent à certains critères. Plus petit est le nombre total de prélèvements, plus difficile est l'interprétation des résultats car ils ne seront pas suffisamment représentatifs de la diversité des situations rencontrées dans le GES. Six mesures permettent de réaliser des calculs prenant en compte cette diversité. Entre neuf et douze mesures, les résultats calculables sont fiables. Il ne semble en contrepartie pas acquis qu'un grand nombre de prélèvements autorise une interprétation plus fiable [2].

Le prélèvement

La définition de la stratégie est suivie par la réalisation des prélèvements, qui vise à connaître le niveau de concentration pour un ou plusieurs agents chimiques présents dans l'air, pendant une période de prélèvement donnée. Le prélèvement doit être adapté, d'une part, à l'objectif recherché (prélèvement individuel pour évaluer les expositions tout en tenant compte de la gestuelle, du positionnement et des déplacements du travailleur ou prélèvement d'ambiance pour évaluer l'émissivité d'un procédé, par exemple) et, d'autre part, aux agents chimiques d'intérêt. La base de données MétroPol, développée par l'INRS et rassemblant un grand nombre de



© INRS

↑ **FIGURE 1**
Copie d'écran d'Altrex Chimie représentant un tableau de bord des mesures du styrène dans une entreprise de fabrication de piscines (d'après [4]).

méthodes de mesure éprouvées sur le terrain, offre toutes les informations indispensables sur cette étape[2]. Le prélèvement, qui peut être actif (à l'aide d'une pompe), passif (avec un badge) ou encore en temps réel (avec un analyseur en continu), consiste à récolter une quantité définie d'air des lieux de travail sur, ou à travers, un dispositif de prélèvement. Selon le type de dispositif, les agents chimiques contenus dans l'air seront piégés dans le support, avant d'être analysés par un laboratoire ou *in situ*. Certains dispositifs permettent de capter plusieurs agents chimiques en même temps[3].

Pendant que le prélèvement s'opère sur le terrain, il est indispensable de surveiller les opérations réalisées dans l'environnement de travail, afin de recueillir les informations liées à l'activité du travailleur ou de reporter des faits notables susceptibles d'influencer la mesure (notamment, un dysfonctionnement ou des projections de produit). En effet, il est possible que des valeurs de mesures inhabituelles soient observées lors de la phase d'interprétation et il est indispensable de pouvoir les expliquer. Par exemple, une pompe peut s'arrêter de fonctionner et fausser le prélèvement. C'est le rôle d'un technicien expérimenté de mettre en place les appareils, de suivre leur fonctionnement tout au long de la période, et de finaliser l'opération de prélèvement.

L'analyse

Une fois les prélèvements terminés, les échantillons sont conditionnés et transmis à un laboratoire spécialisé et accrédité si nécessaire[4], c'est-à-dire lorsqu'ils sont effectués dans un cadre réglementaire, pour être analysés afin de déterminer la nature et la quantité d'agents chimiques piégés. Le résultat d'analyse est la concentration moyenne sur la durée de prélèvement, pour un ou plusieurs agents chimiques. Le résultat peut être inférieur à la limite de détection (l'agent chimique recherché est en quantité trop faible pour être détecté par les appareils d'analyse) ou inférieur à la limite de quantification (l'agent est détecté, mais sa quantité est trop faible pour être déterminée précisément). Sur un rapport d'analyse, la limite de quantification doit être indiquée par le laboratoire.

L'interprétation

La concentration mesurée est le rapport entre la quantité de polluant dosé lors de l'analyse (généralement exprimée en milligrammes) et le volume d'air prélevé (exprimé en mètres cubes) [$mg.m^{-3}$]. La valeur de la concentration peut être estimée en pondérant la concentration moyenne mesurée sur la durée de prélèvement par le facteur de protection assignée de l'équipement de protection respiratoire porté le jour du prélèvement par le travailleur, sous réserve que son emploi soit justifié (ultime solution pour réduire le risque, en l'absence d'autres mesures disponibles), effectif et qu'il soit efficace[5] [3].

Les résultats pour chaque substance doivent ensuite être interprétés à partir d'indicateurs statistiques calculés, qui permettent de conclure sur le niveau et la variabilité des concentrations. Le type d'indicateurs dépend du nombre de mesures disponibles. Lorsqu'il y a moins de trois valeurs de mesure, on ne peut pas conclure. Lorsqu'il y a trois, quatre ou cinq mesures, alors on compare la valeur de mesure la plus élevée à une fraction de 10 %, 15% ou 20 % de la VLEP. Lorsqu'il existe six mesures ou plus, alors on réalise un calcul statistique visant à calculer la probabilité que la concentration mesurée dépasse la VLEP.

Analyse de la situation de travail

Attention, le mélange contient au moins une substance associée à la classe "Atteintes sur le développement".

MiXie n'applique pas l'additivité pour cette classe. Il convient d'éviter les expositions aux substances associées à ces effets ou, à défaut, de les réduire au plus bas niveau possible. Une attention particulière doit être portée aux femmes enceintes ou désireuses de débuter une grossesse ou qui allaitent. Cf « **Reproduction** ».

Attention, le mélange contient au moins une substance associée à la classe "Effets cancérogènes et/ou mutagènes".

MiXie n'applique pas l'additivité pour cette classe. Il convient d'éviter les expositions aux substances associées à ces effets ou, à défaut, de les réduire au plus bas niveau possible. Cf « **Agents chimiques CMR** ».

Attention, le mélange contient au moins une substance associée à la classe "Perturbateur endocrinien".

MiXie n'applique pas l'additivité pour cette classe. Il convient d'éviter les expositions aux substances associées à ces effets ou, à défaut, de les réduire au plus bas niveau possible. Cf « **Perturbateurs endocriniens** ».

La situation de travail est potentiellement à risque vis-à-vis des multi-expositions, en considérant les hypothèses de MiXie.

Il y a une ou plusieurs classes toxicologiques pour lesquelles l'indice d'exposition à effets additionnels IAE est supérieur à 100 %. Nous vous conseillons de réduire les expositions aux substances concernées.

Le mélange contient au moins une substance associée à la classe "Atteintes du système auditif".

Certaines substances chimiques peuvent rendre l'oreille interne plus vulnérable au bruit. Leur présence dans un mélange, même si l'IAE est inférieur à 100 %, est susceptible de générer un risque pour l'audition en cas d'exposition au bruit. Cf « **Dossier bruit** ».

© INRS

Dans tous les cas, la périodicité à laquelle de nouvelles mesures devront être réalisées est déterminée à partir des résultats et de leur nombre. Le calcul de la probabilité de dépassement de la VLEP étant l'indicateur le plus fiable, il convient dans un premier temps de disposer d'au moins six mesures. Ensuite, plus la probabilité est faible, plus les prochaines mesures seront réalisées tardivement. Les détails de cette méthodologie sont expliqués dans la fiche MétroPol se rapportant à cette partie (modes opératoires pour l'interprétation des résultats)[6], qui elle-même s'appuie sur la réglementation française *(cf. Article pp. 20 et suivantes)* et la norme européenne EN 689 [1].
Pour aider le préventeur dans cette étape de calcul, il existe différents outils, comme l'outil en ligne Altrex Chimie[7] qui permet de réaliser l'évaluation statistique de l'exposition professionnelle : il offre une liste de VLEP, une aide à la constitution des GES ; il permet de gérer les valeurs de mesure, de calculer les indicateurs et de générer des rapports *(Cf. Figure 1)*.

Pour finir, les effets des agents chimiques sur l'organisme humain peuvent se cumuler, lorsque le travailleur est « polyexposé ». L'évaluation des polyexpositions doit être incluse dans les analyses selon, par exemple, la méthodologie décrite dans l'outil INRS MiXie-France[8] *(Cf. Figure 2)*.

Analyse du mélange

Mode d'affichage des résultats : ◉ SYNTHÉTIQUE ○ COMPLET

Classe d'effets toxiques	IAE	S1	S2	S3
Atteintes sur le développement du fœtus, de l'embryon et/ou de l'enfant	N.A.	74%		31%
Effets cancérogènes et/ou mutagènes	N.A.	74%		
Perturbateur endocrinien	N.A.	74%		
Atteintes du système nerveux central	178%	74%	73%	31%
Atteintes du système nerveux périphérique	147%	74%	73%	
Atteintes oculaires	147%	74%	73%	
Atteintes cutanées	105%	74%		31%
Atteintes du système auditif	105%	74%		31%
Atteintes des voies respiratoires supérieures	74%	74%		

Astuce : cliquez sur un Indice d'Exposition des effets Additionnels (IAE) pour afficher le détail du calcul correspondant à cet indice. Il est également possible d'avoir plus d'information sur une substance ou une classe d'effets toxiques en cliquant sur leur nom.

© INRS

↑ **FIGURE 2** Copies d'écran de MiXie France. La partie haute de la figure donne les explications, en particulier concernant les effets pour lesquels le principe d'additivité n'est pas pertinent. Le tableau en partie basse présente les effets potentiels de la combinaison d'agents chimiques. *En colonne 1, la liste des effets potentiels ; en colonne 2, l'indice d'exposition à effets additionnels, qui est la somme des indices d'exposition unitaires des substances : il doit alerter lorsqu'il dépasse 100 % ; en colonnes 3-4-5, les indices d'exposition des substances S1 = 23,8 mg/m³ de toluène ; S2 = 74,2 mg/m³ de styrène ; S3 = 883,3 mg/m³ d'acétone.*

Surveillance biologique des expositions professionnelles (SBEP)

La stratégie de prélèvement

La stratégie de la surveillance biologique des expositions professionnelles (SBEP) est définie par le médecin du travail avec l'équipe pluridisciplinaire en santé au travail, au cours de l'étape préalable d'étude des postes de travail et de constitution des GES. En pratique, les recommandations de bonne pratique pour la SBEP aux agents chimiques de la Société française de médecine du travail (SFMT) constituent un guide méthodologique pour la mise en place d'une telle surveillance [5].

Dans un premier temps, les objectifs de la SBEP sont déterminés :

- identifier les postes de travail ou tâches à risque pour prioriser des actions de prévention ;
- évaluer l'exposition suite à une modification du procédé de travail ;
- évaluer l'efficacité des mesures de prévention mises en place ;
- estimer le risque sanitaire (si la valeur biologique d'interprétation retenue est établie sur la base d'une corrélation avec des effets sanitaires) ;
- documenter une exposition en vue d'une déclaration de maladie professionnelle ;
- assurer une traçabilité des expositions par des mesures périodiques.

La stratégie de SBEP est établie de manière à répondre aux objectifs définis. Une étape particulièrement importante est le choix de l'indicateur biologique d'exposition (IBE) pertinent à doser pour évaluer l'exposition à un agent chimique donné et du moment de prélèvement, à l'aide des informations fournies dans la base de données Biotox[9]. Le choix du moment de recueil des échantillons doit tenir compte de la toxicocinétique[10] de l'IBE identifié, mais aussi des caractéristiques temporelles de l'exposition (par exemple, tâches exposantes ponctuelles) et être conforme au moment de prélèvement recommandé associé à la valeur biologique d'interprétation (VBI) retenue.

Enfin, un plan de prélèvement est élaboré par le médecin du travail. Celui-ci décrit les modalités pratiques de recueil des échantillons biologiques et les rôles respectifs des membres de l'équipe pluridisciplinaire impliqués (infirmier en santé au travail, assistant en santé au travail, IPRP), travailleurs concernés.

Le prélèvement

Il est conseillé de prendre contact au préalable avec le laboratoire effectuant l'analyse, qui fournit au prescripteur des recommandations pour l'ensemble des étapes préanalytiques : quantité à prélever, matériel de prélèvement adapté, prévention du risque de contamination des échantillons, modalités de conservation des échantillons avant envoi et pendant le transport vers le laboratoire.

Chaque prélèvement est étiqueté pour permettre l'identification du travailleur et doit être acheminé vers le laboratoire associé à la prescription médicale et à la fiche de renseignements médicaux et professionnels (FRMP), renseignée au moment du prélèvement.

Les informations collectées dans cette fiche sont particulièrement utiles pour l'interprétation des résultats. Les membres de l'équipe pluridisciplinaire ayant une bonne connaissance des postes de travail peuvent remplir le descriptif des activités professionnelles, idéalement après observation de l'activité le jour ou la semaine des prélèvements (poste de travail, nature et quantité des produits utilisés, durée de manipulation, protections collectives et individuelles au poste…). Les informations médicales (consommation tabagique, alimentaire ou traitement médicamenteux pouvant interférer avec le dosage) ne peuvent être renseignées que par le médecin du travail ou l'infirmier avec le travailleur. Un exemple de fiche de renseignements médicaux et professionnels extrait des recommandations de bonne pratique de la Société française de médecine du travail (SFMT) est disponible sur la page d'accueil de la base Biotox. Son contenu peut être adapté en fonction de l'activité professionnelle et des objectifs de la SBEP.

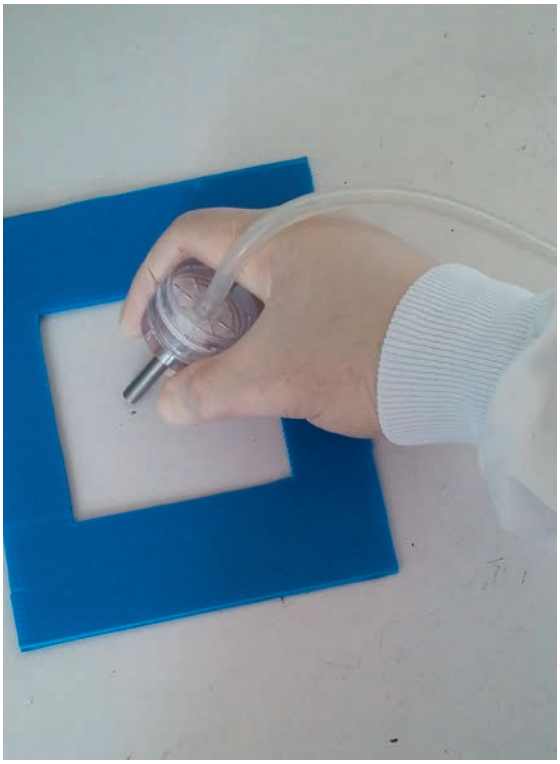
L'analyse

L'analyse des prélèvements est réalisée par un laboratoire de biologie médicale. Le choix du laboratoire revient au médecin du travail (art. R. 4624-36 du Code du travail) et peut être basé notamment sur l'expérience du laboratoire, la qualité de l'accompagnement proposé, la participation à des programmes de contrôle externe de la qualité des analyses. La méthode de dosage pour un IBE peut varier en fonction des laboratoires, la fiabilité des résultats étant sous la responsabilité du biologiste médical. Cependant, il est nécessaire de s'assurer que la limite de quantification de la méthode utilisée est inférieure au dixième de la VBI retenue pour l'interprétation des résultats.

Dans un objectif d'assurer la qualité analytique, la loi n° 2013-442 du 30 mai 2013 a introduit pour les laboratoires une obligation d'être accrédités sur l'ensemble des examens de biologie médicale (art. L. 6221-1 du Code de la santé publique[11]). Cette accréditation est délivrée par le Comité français d'accréditation (Cofrac) et repose sur la norme NF EN ISO 15189 [6].

Comme tout examen de biologie médicale, le dosage réalisé dans le cadre de la SBEP doit faire l'objet d'un compte rendu mentionnant le résultat de l'examen validé et interprété par un biologiste médical, la limite de quantification de la méthode analytique, les valeurs biologiques d'interprétation pertinentes. Les résultats sont transmis au médecin prescripteur, dans le respect du secret médical.

© William Estève/INRS


© William Estève/INRS

← **FIGURE 3**
Gabarit de prélèvement surfacique

L'interprétation

L'interprétation contextuelle et la restitution individuelle et collective des résultats de la SBEP sont de la responsabilité du médecin du travail.

Chaque travailleur est informé par le médecin du travail des résultats de ses examens et de leur interprétation (art. R. 4412-51 du Code du travail), par exemple lors d'une visite médicale. Dans un premier temps, le médecin du travail doit s'assurer de la validité des résultats et du respect des conditions de prélèvement, de conservation et de transport (moment de prélèvement adapté, respect des modalités de prélèvement pour éviter la contamination de l'échantillon…). Le résultat individuel sera comparé à la VBI retenue, mais aussi aux éventuels résultats antérieurs du travailleur et aux résultats anonymisés des autres sujets du GES. L'analyse des renseignements notés dans la fiche de renseignements médicaux et professionnels (FRMP) permettra de s'assurer de la représentativité de l'exposition le jour ou la semaine du prélèvement ou, au contraire, de rechercher des facteurs professionnels pouvant expliquer un résultat inattendu : exposition accidentelle, équipements de protection collective absents ou non fonctionnels, absence de port d'équipements de protection individuelle (EPI) ou port d'EPI inadaptés… Les informations médicales de la FRMP permettront d'évoquer certains facteurs explicatifs extraprofessionnels (par exemple, consommation de tabac en cas de dosage d'un IBE influencé par le tabagisme). Le résultat interprété sera consigné dans le dossier médical individuel de santé au travail.

Le médecin du travail informe l'employeur de l'interprétation anonyme et globale des résultats de la SBEP, en garantissant le respect du secret médical (art. R. 4412-51 du Code du travail). Dans cet objectif, si l'effectif de travailleurs est suffisant, il est recommandé de présenter les résultats globaux à l'aide de paramètres statistiques descriptifs (médiane, moyenne) ou sous forme graphique de type « boîtes à moustaches ». Les résultats des différents GES pourront être comparés à la valeur biologique d'interprétation (VBI) choisie, entre les GES (afin d'identifier des groupes à risque) ou à des résultats de campagnes antérieures. Lorsque l'effectif est faible, afin de respecter le secret médical, le médecin du travail pourra situer simplement le niveau d'exposition, soit par rapport à la VBI sélectionnée ou bien en indiquant l'évolution par rapport aux précédentes mesures.

La communication des résultats globaux auprès de l'employeur et du collectif de travail permet d'ouvrir une discussion sur les mesures de prévention engagées dans l'entreprise et la priorisation des éventuelles actions correctives. L'employeur mettra à jour le document unique en y intégrant la synthèse des résultats anonymes et globaux transmise par le médecin du travail.

Mesure des contaminants des surfaces

La stratégie de prélèvement

L'approche d'une campagne de mesure de contaminants présents sur les surfaces de travail est similaire à celle de contaminants dans l'air. Cependant, en l'absence de valeurs de référence pour les

→

contaminations surfaciques, le préventeur ne peut pas s'appuyer sur cet élément pour construire son plan de prélèvement et interpréter les résultats. L'objectif est ici aussi de constituer des échantillons de mesures représentatifs de la variabilité spatio-temporelle des concentrations surfaciques.
Ainsi, l'utilisation ou la génération d'un même polluant peut conduire à différents types de contamination. La sédimentation d'un aérosol grossier conduit plutôt à une contamination homogène des surfaces de travail, alors que d'autres activités ou d'autres procédés industriels peuvent générer des contaminations hétérogènes très localisées, liées par exemple à des projections. La prise en compte de cette variabilité spatiale est ici essentielle. De la même manière, l'activité sur un même site peut être amenée à varier d'un jour à l'autre, avec des pics ou des cycles d'activité distincts. De plus, pour une même activité les niveaux de contaminations varient au cours du temps en fonction des nettoyages ou décontaminations des lieux. À ce titre, il est indispensable de se renseigner sur les temps de fonctionnement des procédés émissifs et sur l'historique de l'activité ciblée préalablement à la réalisation des prélèvements.
La visite initiale de l'entreprise représente donc un élément essentiel dans la prise en compte de ces variations spatiotemporelles, dans la planification d'une campagne de mesure de polluants présents sur les surfaces. Cette visite permet de collecter des informations concrètes sur la réalité d'une activité, telles que l'organisation du travail, les procédés mis en œuvre, l'environnement général, les agents chimiques et leur quantité.
D'une manière générale, la stratégie définie dépend essentiellement de l'objectif de l'intervention. Celui-ci peut, par exemple, être d'ordre qualitatif, afin de dégager un message pédagogique de sensibilisation auprès des travailleurs. Le préventeur peut également proposer une approche plus quantitative, s'il souhaite, notamment évaluer l'évolution d'une contamination après des actions visant la réduction de l'exposition des travailleurs.
Enfin, le préventeur doit définir la portée de l'intervention et recenser les postes d'intérêt. L'approche est différente, notamment concernant la finesse de maillage, selon qu'un nombre restreint de postes est ciblé, ou l'ensemble d'un atelier. Sur la base de tous ces éléments, un plan de prélèvement que suivront les opérateurs en charge des mesures est élaboré.

Le prélèvement

Le prélèvement surfacique peut être effectué par essuyage ou par aspiration, selon la nature des polluants et des surfaces en présence. Ce choix est déterminé en amont, parallèlement à l'approche stratégique. Des méthodes de prélèvement et d'analyse sont disponibles, notamment dans la base de données MétroPol, et peuvent être employées directement. Dans le cas où aucune méthode ne serait disponible pour un polluant spécifique, une méthodologie rigoureuse adaptée à la situation réelle du lieu où seront réalisés les prélèvements peut être mise en œuvre en suivant le protocole MétroPol. Concrètement, l'opérateur en charge des prélèvements utilise en général un gabarit de prélèvement évidé pour matérialiser la superficie du prélèvement. Cette superficie est communément un carré de 100 cm^2 (10 cm x 10 cm) *(Cf. Figure 3)*.
Une contrainte forte réside dans la nécessité de changer de gants et de nettoyer le matériel, notamment le gabarit, entre chaque prélèvement, afin d'éviter toute contamination croisée.
Les prélèvements surfaciques sont réalisés à un instant T et non sur une longue durée. Un résultat ponctuel n'est représentatif que de la contamination présente à ce moment précis, compte tenu de l'historique de l'activité régulière et éventuellement accidentelle, telle que des éclaboussures, depuis le dernier nettoyage.
Le résultat obtenu doit donc être analysé au regard du contexte au moment du prélèvement. Ainsi, comme pour les autres types de prélèvements, l'opérateur en charge des prélèvements doit donc observer en détail l'activité considérée, à la fois avant et au moment du prélèvement, pour évaluer qualitativement les façons d'opérer des travailleurs et les procédés mis en œuvre. Toutes ces informations sont ensuite essentielles pour l'interprétation des résultats.

L'analyse

Comme pour les prélèvements atmosphériques, les échantillons sont conditionnés dans des contenants adaptés et remis à un laboratoire pour analyse. Les résultats, initialement présentés en unité de polluant dosé masse par échantillon, sont généralement convertis en unité de masse par 100 cm^2.
Les méthodes de préparation d'échantillons et d'analyse sont la plupart du temps semblables aux méthodes d'analyse d'échantillons atmosphériques. Des adaptations minimes de ces protocoles peuvent être apportées, telles que l'ajustement de la quantité de solvant pour une extraction optimale du support de prélèvement souvent plus volumineux (lingette, compresse, etc.), ou encore une modification des conditions d'extraction (durée, appareillage, etc.). Tout laboratoire spécialisé et/ou accrédité pour l'analyse des échantillons atmosphériques est en capacité technique de réaliser ces traitements analytiques.

L'interprétation

L'interprétation des résultats de mesures de polluants sur les surfaces de travail représente une étape complexe, due à l'absence de valeurs limites associées à ces contaminations.

Cependant, cette absence de cadre réglementaire ne doit pas être un frein à la mise en place d'actions de réduction des expositions.
Dans une première approche, un système de référentiel de contamination par polluant ou famille de polluants et par activité pourrait être imaginé et déployé, à l'instar des référentiels existants pour la pollution intérieure. Selon un principe proche, il existe une méthode publiée dans le guide MetroPol [12] qui décrit une manière de déterminer une valeur guide interne à l'entreprise. Le principe consiste à fixer une valeur qui permette de réduire l'exposition de manière échelonnée. Bien que décorrelées de toute considération toxicologique, contrairement à un système de valeurs limites d'exposition, ces approches pourraient conduire à comparer des résultats de prélèvements à des valeurs (moyenne ou centile d'une distribution statistique, par exemple) et d'engager des actions correctives en cas de dépassement.
Cependant, les méthodes et méthodologies quantitatives existantes permettent d'objectiver une évolution des contaminations surfaciques, suite à une action de prévention ou de décontamination de surfaces professionnelles.
Par ailleurs, les prélèvements à but qualitatif pourront également permettre de donner lieu à des conclusions en accord avec les objectifs du préventeur. En effet, la simple présence de polluants sur les prélèvements permet d'appliquer les principes de prévention, en commençant par viser la suppression du risque (principe général de prévention).
De plus, les travailleurs n'ont pas tous nécessairement conscience que les polluants peuvent être transportés des lieux d'activité vers des lieux de vie tels que les réfectoires, les vestiaires, etc. Des actions pédagogiques visant à sensibiliser les travailleurs à un risque potentiel peuvent aider à modifier certains comportements qui ont un impact hors de la seule sphère professionnelle.

Conclusion

Les grandes étapes à suivre pour la réalisation des mesures sont communes, quel que soit le type de mesure : stratégie, prélèvement, interprétation. À chaque étape, l'entreprise peut se tourner vers plusieurs interlocuteurs : le service de santé au travail, les caisses régionales de santé au travail (Carsat/Cramif/CGSS) et les laboratoires accrédités. Le choix de l'interlocuteur n'est pas prédéterminé, il dépend de l'objectif et du type de mesure. Par exemple, dans un contexte de contrôle réglementaire fortement contraint, il est envisageable de déléguer une grande partie de la réalisation des prélèvements atmosphériques à un laboratoire accrédité. À l'inverse, dans une démarche prospective de réduction des expositions à un agent chimique mal connu du point de vue de ses effets sur la santé, il est indispensable que tous les acteurs soient impliqués et que l'employeur soit en position de décider afin de pouvoir s'engager dans des actions concrètes. La mise en œuvre de ces grandes étapes dépend du préleveur dont le profil peut être similaire lorsqu'il s'agit de réaliser des prélèvements atmosphériques ou surfaciques. En revanche, la conduite d'une campagne de SBEP relève des compétences du médecin du travail, en collaboration avec l'équipe pluridisciplinaire en santé au travail. ●

1. Voir : www.inrs.fr/media.html?refINRS=FI%2021

2. Voir : www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html

3. Voir : www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_338

4. Voir le site du Cofrac : https://www.cofrac.fr/

5. Voir : www.inrs.fr/dms/inrs/CataloguePapier/ED/TI-ED-6106/ed6106.pdf

6. Voir : www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-resultat-interpretation-statistique/metropol-resultat-interpretation-statistique.pdf

7. Accessible sur : www.altrex.inrs.fr

8. Accessible sur : www.inrs-mixie.fr

9. Accessible sur : www.inrs.fr/biotox.fr

10. La toxicocinétique d'une substance chimique est définie comme l'étude de son devenir dans l'organisme.

11. Voir : www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000042012463/

12. Voir : www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-resultat-interpretation-statistique/metropol-resultat-interpretation-statistique.pdf

BIBLIOGRAPHIE

[1] Norme EN 689 – *Workplace exposure – Measurement of exposure by inhalation to chemical agents. Strategy for testing compliance with occupational exposure limit values.* Bruxelles, CEN, 2018.

[2] Clerc F., Vincent R. – Assessment of occupational exposure to chemicals by air sampling for comparison with limit values: the influence of sampling strategy. *Annals of Occupationnal Hygiene,* 2014, 58 (4), pp. 437-449. doi: 0.1093/annhyg/met084.

[3] Norme NF EN 529 – *Appareils de protection respiratoire – Recommandations pour le choix, l'utilisation, l'entretien et la maintenance* – Guide. Afnor, janvier 2006.

[4] Fiche INRS – Comment utiliser Altrex chimie pour contrôler les expositions aux substances chimiques ? *Hygiène & sécurité du travail,* 2020, 258. Accessible sur : www.inrs.fr/dms/inrs/CataloguePapier/HST/TI-FI-25/fi25.pdf.

[5] Société française de medecine du travail (SFMT) – Surveillance biologique des expositions professionnelles aux agents chimiques. Recommandations de bonne pratique. *Références en santé au travail,* 2016, 146, pp. 65-93.

[6] Norme ISO 15189 – *Laboratoires de biologie médicale – Exigences concernant la qualité et la compétence.* Genève, ISO, août 2014.

COMPLÉMENTARITÉ, SIMILARITÉS, DIFFÉRENCES ET LIMITES DE LA MESURE

Cet article décrit les synergies et antagonismes entre les différentes méthodes de mesure de l'exposition : atmosphérique, biométrologique et surfacique. Le constat est qu'il n'y a pas de préférence ou de méthode « meilleure » qu'une autre. Chacune a ses avantages et ses inconvénients, ses spécificités et ses limites. C'est l'objectif recherché par le préventeur qui guide le choix de la méthode de mesure. Deux exemples sont présentés dans le domaine du tri des déchets et du retrait de peintures au plomb afin d'illustrer cet état de fait.

BRUNO COURTOIS
INRS, département Expertise et conseil technique

GAUTIER MATER, FRÉDÉRIC CLERC
INRS, département Métrologie des polluants

PHILIPPE DUQUENNE
INRS, département Ingénierie des procédés

Similarités et complémentarité dans les approches

Quelle que soit leur nature, les mesures d'exposition à des agents chimiques doivent être réalisées avec un objectif de prévention et suite à l'évaluation des risques. Les résultats des mesures servent à prendre des décisions quant aux actions de prévention. Il est indispensable que l'employeur soit prêt à engager des actions concrètes consécutivement à la campagne de mesure. Si les résultats de l'évaluation des risques *a priori* sont suffisants pour décider d'un plan d'actions, alors la mesure n'est pas requise. Suivant leur nature, les mesures d'exposition apportent des informations qui sont différentes et complémentaires :

- Les mesures biologiques permettent de prendre en compte toutes les voies d'exposition.
- Les mesures atmosphériques permettent d'évaluer l'exposition par la voie respiratoire.
- Les mesures surfaciques apportent des informations indirectes sur les risques d'exposition par les voies cutanées et digestives.

La planification préalable des mesures et l'établissement d'une stratégie de mesurage détaillée est un prérequis dans tous les cas. Les groupes d'exposition similaire (GES) sont une notion applicable pour tous les types de prélèvements. Ils permettent d'organiser leur réalisation. Ces GES sont conçus en fonction des tâches effectuées, des métiers et d'autres paramètres qui pourront influencer l'exposition. Grâce au logiciel Altrex Chimie[1], on peut mettre en œuvre une méthodologie d'aide à la conception de ces groupes.

Sur le terrain, le préleveur doit savoir s'adapter aux aléas. En effet, le prélèvement doit toujours être documenté pour qu'il soit possible de justifier d'éventuels résultats inattendus. De nombreux cas de figure peuvent avoir une influence considérable sur les prélèvements et fausser l'interprétation : le capteur de prélèvement atmosphérique est souillé accidentellement ; le travailleur attendu pour un prélèvement dans un GES a été affecté à une toute autre tâche durant la période ; les tâches prévues pour les travailleurs n'ont pas pu être réalisées et ils n'ont pas été exposés ; les locaux habituellement nettoyés régulièrement ne l'ont pas été…

Différences entre les approches

Si la réalisation de mesures atmosphériques et surfaciques peut être décidée, pilotée et exploitée directement dans une entreprise, la réalisation de mesures biologiques est du ressort du médecin du travail. Les résultats des mesures biologiques individuelles sont soumis au secret médical, le médecin du travail ne pourra communiquer à l'employeur que des résultats globaux et anonymes ne permettant pas d'identifier le niveau d'exposition d'un opérateur en particulier.

L'interprétation des résultats de mesures d'exposition nécessite un niveau d'expertise qui ne peut être acquis que par la formation et l'expérience sur le terrain. Là encore, l'interprétation des résultats de surveillance biologique nécessite des compétences spécifiques qui sont du domaine médical.

L'utilisation des résultats de mesures biologiques dans l'entreprise pour des actions de prévention nécessitera donc une collaboration avec le médecin du travail.

Complémentarités entre les modes de mesure à travers deux exemples

Exemple de réalisation de mesures sur des chantiers d'enlèvement de peintures contenant du plomb

Les peintures contenant du plomb ont été massivement utilisées dans les bâtiments soit pour de la décoration (peinture à base de céruse ou de sulfate de plomb notamment), soit pour la protection contre la corro-

sion de l'acier (peintures à base de minium de plomb). Ces revêtements sont toujours présents dans de nombreux bâtiments anciens et font l'objet de chantiers d'enlèvement lors d'opérations de rénovation.

Sur ces chantiers, diverses techniques d'enlèvement sont utilisées en fonction de la nature du support et de la peinture elle-même (décapage chimique, décapage thermique, piquage, projection d'abrasifs…). Ces techniques conduisent à des émissions de poussières ou de fumées contenant du plomb qui entraînent des risques d'exposition des travailleurs présents.

Le plomb peut pénétrer dans l'organisme par inhalation de poussières et surtout par ingestion lorsque les mesures d'hygiène sont insuffisantes. Dans l'organisme, le plomb est à l'origine de nombreux effets néfastes dont la nature va dépendre de sa concentration dans le sang (plombémie). Le plomb et ses composés sont notamment classés comme toxiques pour la reproduction avec des effets sur la fertilité féminine et masculine et des effets sur le fœtus chez la femme enceinte. Des études récentes montrent que le plomb peut avoir des effets néfastes sur différents organes même pour des plombémies très inférieures aux actuelles limites réglementaires[2] [1], la démarche de prévention ne saurait se limiter au simple respect des valeurs limites et doit viser une exposition la plus faible possible.

Les chantiers d'enlèvement de peinture contenant du plomb nécessitent la mise en place de mesures de prévention[3] pour limiter à un niveau aussi bas que possible l'exposition des travailleurs. Ces mesures consistent en premier lieu à limiter les émissions de poussières ou fumées en choisissant une technique d'enlèvement aussi peu émissive que possible et en captant les émissions à la source lorsque cela est possible. Il est également important de limiter au maximum la dissémination de particules de plomb hors des zones de travaux, par la mise en place des mesures d'hygiène strictes sur le chantier (nettoyage des équipements et des vêtements, procédure de décontamination du personnel, gestion des déchets…).

Différents types de mesures permettent, sur de tels chantiers, de réaliser l'évaluation des risques et de contrôler l'efficacité des mesures de prévention mises en œuvre.

Préalablement au chantier et avant même l'appel d'offres pour les travaux, il est nécessaire qu'un repérage de la présence de plomb dans le bâtiment ait été effectué, pour que le maître d'ouvrage et les entreprises puissent effectuer leur évaluation des risques. L'évaluation de la présence de plomb dans les peintures se fait généralement par la mesure de la concentration surfacique en plomb à l'aide d'appareils à fluorescence X portables.

Les mesures d'exposition atmosphériques de la fraction inhalable en plomb ne sont souvent pas les plus pertinentes sur ce type de chantier, compte tenu de l'importance de la voie digestive pour l'exposition au plomb et de la forte variabilité des expositions. Elles peuvent malgré tout être nécessaires pour des raisons réglementaires et utiles pour caractériser le niveau d'exposition pour certaines tâches. Ces mesures sont notamment destinées à s'assurer que le facteur de protection des appareils de protection respiratoire prévus est suffisant lorsque des techniques d'enlèvement très émissives, comme la projection d'abrasifs, doivent être utilisées. De telles mesures sont souvent réalisées lors de chantiers d'investigation permettant de tester différentes techniques d'intervention et de choisir la plus adaptée.

Les mesures surfaciques sont généralement importantes sur les chantiers d'enlèvement de peintures contenant du plomb. Elles permettent :

- Avant le début des travaux :
  - de vérifier si une pollution est déjà présente et ainsi, évitent un potentiel conflit entre le donneur d'ordre et l'entreprise à la fin des travaux ;
  - de mettre à jour l'évaluation des risques et de prendre des mesures de prévention adaptées lors des travaux préparatoires ;
  - de s'assurer que les zones hors chantier ne sont pas polluées par des poussières de plomb (base vie, cheminement d'accès, zones publiques…).
- Pendant les travaux :
  - de vérifier l'absence de dispersion de pollution hors des zones d'intervention sur les peintures au plomb et notamment dans la base vie.
- Après les travaux :
  - de s'assurer de l'absence de pollution pouvant entrainer un risque d'exposition pour les opérateurs assurant la suite du chantier et pour les occupants des locaux. Après des travaux réalisés dans les immeubles d'habitation, la concentration en plomb acido-soluble sur les sols ne doit pas dépasser 1 000 µg/m².

La réalisation de prélèvements sur les mains des travailleurs à la sortie des installations de décontamination peut aider à vérifier l'absence de contamination résiduelle, notamment dans un but pédagogique.

L'employeur d'opérateurs effectuant du retrait de peintures au plomb doit déclarer cette activité en risque particulier auprès de son service de santé au travail. Le médecin du travail décidera, pour chaque travailleur concerné, s'il y a lieu d'assurer un suivi médical individuel renforcé, en fonction de sa plombémie ou de la concentration en plomb dans l'air au niveau du chantier. Les plombémies individuelles sont soumises au secret médical, le médecin du travail ne peut les communiquer à l'employeur.

Il peut en revanche transmettre à celui-ci des informations globales et anonymes sur les plombémies dans l'entreprise et sur leur évolution au cours de la réalisation du chantier, sous réserve expresse que ces données ne permettent pas d'identifier les travailleurs concernés. Une prévention maîtrisée du risque plomb doit se traduire par des plombémies qui n'augmentent pas au cours du temps et qui restent bien inférieures

→

© Gaël Kerbaol/INRS/2015

FIGURE 1 → Opérateur en charge du tri manuel des déchets dans une cabine de tri.

aux limites réglementaires[4] considérées comme insuffisamment protectrices. Une valeur limite biologique (VLB) pour la plombémie de 180 µg/L, basée sur les effets neurocomportementaux, ainsi que des valeurs biologiques de référence (VBR) correspondant au 95e percentile des valeurs observées dans la population générale adulte de 85 µg/L chez les hommes, 60 µg/L chez les femmes et 45 µg/L chez les femmes susceptibles de procréer, ont été proposées par l'Anses en 2019[5]. Par ailleurs, pour les femmes susceptibles de procréer, l'Anses préconise de ne pas dépasser la VBR de 45 µg/L, dans la mesure où il n'est pas possible d'identifier un seuil sans effet sur la reproduction.

La prévention des expositions au plomb sur les chantiers d'enlèvement de peintures contenant du plomb bénéficie de la réalisation de différents types de mesures :

- un repérage de la présence de plomb doit au préalable avoir été effectué ;
- la réalisation de mesures d'exposition atmosphérique et surfacique peut aider à l'évaluation des risques ;
- la réalisation de mesures surfaciques est importante pour le suivi du chantier et la restitution de locaux qui ne sont pas contaminés ;
- la surveillance biologique par la mesure de la plombémie permet d'apprécier au mieux l'exposition des travailleurs et d'estimer le risque sanitaire.

Exemple de réalisation de mesures dans un site de tri des déchets ménagers

La mise en évidence d'un agent chimique ou d'une famille d'agents chimiques dans l'environnement de travail peut attirer l'attention de l'employeur sur d'autres risques, dont il faudra tenir compte pour compléter le document unique d'évaluation des risques (DUER).

L'exemple des centres de tri traitant les déchets solides provenant de la collecte séparée des ménages et assimilés est ici considéré. Ce secteur d'activité est en plein essor ; il emploie environ 7000 personnes et les environnements de travail concernés présentent plusieurs facteurs de risques (liés à la circulation d'engins et à la coactivité, à des gestes et postures répétitifs, au bruit et aux vibrations, à des chutes de hauteur ou de plain-pied, ainsi qu'à des agents chimiques et biologiques). Dans ces centres de tri, les différents déchets sont séparés par types de matériaux (papiers, cartons, plastiques, acier, etc.) en vue de les valoriser, soit par le biais de la fabrication de produits nouveaux, soit par la production d'énergie. Le tri comprend des opérations manuelles et d'autres mécaniques. Les principaux postes occupés par les travailleurs sont ceux concernant le tri manuel dans les cabines de tri, la conduite des chargeuses et des grappins, l'entretien et la maintenance des installations *(Cf. Figure 1)* ; certains travailleurs sont polyvalents.

Les quelques études publiées dans le secteur du tri des déchets ménagers concernant l'exposition à des agents chimiques et biologiques signalent des niveaux d'exposition à certaines mycotoxines par inhalation plutôt faibles [2], mais les mesures des indicateurs biologiques d'exposition (IBE) suggèrent tout de même une exposition des travailleurs et vraisemblablement des voies d'exposition différentes (par contact) pour les mycotoxines signalées [3-4]. Les mycotoxines sont des molécules chimiques produites par certaines

espèces de moisissures, qui peuvent être présentes dans les cellules de ces microorganismes ou sécrétées dans l'environnement extracellulaire. Ces mycotoxines peuvent persister longtemps dans l'environnement et certaines d'entre elles présentent un danger pour la santé. Leur toxicité par ingestion, dont les effets sont variables selon la mycotoxine considérée, est connue depuis longtemps et ces molécules font l'objet d'une surveillance dans les denrées alimentaires. Les expositions professionnelles aux mycotoxines et les possibles effets sur la santé des travailleurs font l'objet d'une attention particulière depuis quelques années, car l'inhalation et le contact cutané peuvent constituer des voies d'exposition additionnelles [5].

En tout état de cause, la mise en évidence de ces composés chimiques dans les environnements de travail des centres de tri suscite deux remarques importantes. D'une part, l'exposition aux mycotoxines peut intervenir par voie respiratoire et par contact avec la peau. Il semble donc important de prévoir, dans toute démarche d'évaluation des expositions à ces agents chimiques, une approche complète intégrant la complémentarité de la mesure des IBE et des mesures dans l'air et sur les surfaces. D'autre part, l'exposition aux agents chimiques considérés attire l'attention sur d'autres expositions possibles, notamment à des agents biologiques. En effet, les micro-organismes sont généralement présents dans les déchets et peuvent même s'y développer si les conditions sont favorables. Leur activité peut être à l'origine de composés chimiques qui entrent dans leur composition (endotoxines, etc.) ou de produits de leur métabolisme souvent libérés (composés organiques volatils, mycotoxines, etc.). Ces agents biologiques et les composés associés peuvent être mis en suspension dans l'air des centres de tri lors de la manipulation des déchets et des opérations de tri. L'exposition des travailleurs a d'ailleurs été démontrée dans différents pays et notamment en France [6| et a été associée à des effets sur la santé des travailleurs. Il semble donc essentiel que les actions de prévention programmées dans le DUER tiennent compte de la multiplicité des nuisances.

Conclusion – Perspectives

Les trois types de mesurages sont complémentaires : chacun présente des spécificités. La mesure des concentrations dans l'air des lieux de travail au niveau des voies respiratoires des travailleurs est une méthode largement employée, qui permet d'identifier les expositions dues au travail et même de qualifier les phases de travail les plus exposantes. Toutefois, seule la surveillance biologique des expositions professionnelles (SBEP) permet d'estimer la dose réellement absorbée en prenant en compte toutes les voies d'absorption possibles des agents chimiques, les conditions de travail et les spécificités individuelles. Enfin, la mesure des contaminations surfaciques permet d'objectiver une situation où des contaminations indirectes peuvent se produire, incluant les voies digestive et cutanée. Les conclusions apportées peuvent aboutir à la mise en œuvre de mesures d'hygiène immédiates, comme des procédures de nettoyage plus approfondies et/ou plus fréquentes.

La complémentarité entre ces différentes méthodes reste améliorable, en particulier pour mieux guider l'utilisateur dans les choix à faire : L'exemple sur le plomb cité précédemment en est une illustration. À l'avenir, l'utilisation harmonieuse de ces différentes méthodes pourrait permettre de mieux évaluer les polyexpositions auxquelles sont soumis les travailleurs : l'interprétation conjointe des mesures pourrait apporter des informations plus riches et diversifiées. Depuis 2009, le Code du travail prévoit des modalités précises pour évaluer l'exposition atmosphérique des travailleurs à des agents chimiques. Aujourd'hui, la plupart des acteurs de la prévention des risques professionnels jugent ces modalités de contrôle comme ayant trop de poids par rapport à la mise en œuvre de moyens de prévention performants. Pour cette raison, le ministère chargé du Travail a engagé depuis près de deux ans une réflexion avec les partenaires sociaux et les organismes de prévention pour faire évoluer cette réglementation. ●

1. Voir : https://altrex.inrs.fr/AltrexChimie/Accueil

2. Voir : https://www.inrs.fr/dms/ficheTox/FicheFicheTox/FICHETOX_59-14/FicheTox_59.pdf

3. Voir : ED 6374 – Interventions sur les peintures contenant du plomb. *INRS, 2020. Accessible sur : www.inrs.fr/dms/inrs/CataloguePapier/ED/TI-ED-6374/ed6374.pdf*

4. Les valeurs limites biologiques à ne pas dépasser sont fixées à 400 µg de plomb par litre de sang pour les hommes et à 300 µg de plomb par litre de sang pour les femmes (art. R. 4412-152 du Code du travail).

5. Valeurs biologiques d'exposition en milieu professionnel. Le plomb et ses composés inorganiques. Avis de l'Anses/Rapport d'expertise collective, juillet 2019.

BIBLIOGRAPHIE

[1] GARNIER R. – Toxicité du plomb et de ses dérivés. *EMC-Toxicol.-Pathol.,* 2005, 2 (2), pp. 67-88.

[2] SCHLOSSER O., ROBERT S., NOYON N. – Airborne mycotoxins in waste recycling and recovery facilities: Occupational exposure and health risk assessment. *Waste Manag.,* 2020, 105, pp. 395-404.

[3] VIEGAS C. *ET AL.* – A new approach to assess occupational exposure to airborne fungal contamination and mycotoxins of forklift drivers in waste sorting facilities. *Mycotoxin Res.,* 2017, 33 (4), pp. 285-295, doi: 10.1007/s12550-017-0288-8.

[4] VIEGAS S., VEIGA L., FIGUEIREDO P. *ET AL.* – Assessment of workers' exposure to aflatoxin B1 in a Portuguese waste industry. *Ann. Occup. Hyg.,* 2015, 59 (2), pp. 173-181, doi: 10.1093/annhyg/meu082.

[5] N'DAW S. *ET AL.* – Mycotoxines en milieu de travail : quelle exposition pour les professionnels ? *Arch. Mal. Prof. Environ.,* 2020, 81 (5), p. 708.

[6] DUQUENNE P., FACON B. – Exposition aux bioaérosols dans les centres de tri des déchets ménagers recyclables. *Hygiène & sécurité du travail,* 2018, 252, pp. 43-52.

Études & solutions

Notes techniques
Expositions professionnelles lors de la fabrication additive utilisant des poudres métalliques
P. 45

Détermination des valeurs limites de l'exposition aux champs électromagnétiques. Les grands principes
P. 54

Étude de cas
Foyers de Covid-19 dans les abattoirs en 2020 : état des lieux et préconisations
P. 62

Bases de données
Portrait rétrospectif de l'exposition professionnelle au perchloroéthylène en France de 1987 à 2019
P. 66

Notes techniques

EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES LORS DE LA FABRICATION ADDITIVE UTILISANT DES POUDRES MÉTALLIQUES

La fabrication additive trouve des applications dans de nombreux secteurs. Afin d'améliorer la qualité de l'évaluation des risques, l'INRS et le CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) ont conçu une base de données intégrant leurs données d'émission et d'exposition recueillies au cours de campagnes de mesurages dans l'industrie de la fabrication additive utilisant des poudres métalliques.

COSMIN PATRASCU
INRS, département Expertise et conseil technique

SÉBASTIEN BAU, FRÉDERIC CLERC
INRS, département Métrologie des polluants

CÉCILE PHILIPPOT, JOSÉPHINE STECK, SÉBASTIEN ARTOUS
Université de Grenoble-Alpes – CEA Grenoble

Fabrication additive : enjeux et prévention

La fabrication additive est apparue dans les années 1980 et trouve aujourd'hui des applications dans de multiples secteurs industriels (aéronautique, automobile, médical, etc.). Elle consiste à produire une pièce en ajoutant de la matière, couche après couche, selon un passage bien précis [1]. Les modèles des pièces sont créés par conception assistée par ordinateur (CAO) ou en scannant une pièce existante, susceptibles d'être modifiés par la suite. Il existe sept procédés de fabrication additive définis par la norme NF ISO 17296 – Partie 2 [1]. Chaque technologie peut utiliser une multitude de matériaux : polymères, métaux, céramiques, etc. Ces matériaux peuvent se trouver sous forme de poudre, de fil ou de liquide. Dans son dernier rapport annuel, Wohlers [2] estime le marché mondial de la fabrication additive pour l'année 2019 à 11,8 milliards de dollars (Mds $), avec une croissance annuelle de 21,2 %. La fabrication additive utilisant des matériaux métalliques représente 17,4 % du marché. En France, une étude de février 2019 commandée par l'Observatoire de la métallurgie estime à 60,6 M€ le marché français de la fabrication additive métallique, sur un total d'environ 490 M€.

Les risques spécifiques liés aux procédés de fabrication additive sont le risque chimique et le risque d'incendie et d'explosion ; ils dépendent en premier lieu de la combinaison technologie – matière utilisée. Les autres risques identifiés sont liés à la machine ou sont communs à toute activité industrielle (comme le risque de chute, etc.) [2].

La prévention des risques dans ce secteur est propre à chaque situation, compte tenu des différentes technologies et matériaux présents sur le marché. Cependant, peu d'études sont recensées dans la littérature sur les risques professionnels liés à ces procédés. Le sujet est néanmoins préoccupant et plusieurs instituts, comme l'IFA, le NIOSH, le HSE l'INRS ou le FIOH [3], ont engagé des études. De plus, en normalisation internationale, le comité technique ISO TC 261 a créé un groupe de travail dédié à la sécurité lors des opérations de fabrication additive.

Poudres métalliques : une base de données pour mieux évaluer les risques

Les poudres métalliques utilisées par les machines de fabrication additive sont de taille micrométrique (10 à 80 µm). Elles peuvent contenir des particules ultrafines (nanométriques) ou en former au cours du processus. Elles peuvent être constituées en tout ou partie de nickel, cobalt, chrome, cuivre ou d'autres métaux dangereux pour la santé. Certains de ces métaux (ou leurs oxydes) sont même classés cancérogènes, mutagènes ou reprotoxiques (CMR). Aux effets sur la santé connus des particules micrométriques de métaux, s'ajoutent ceux liés à l'inhalation de particules ultrafines (nanométriques) qui peuvent être différents et font encore l'objet d'études. Même si un nombre réduit de machines utilise des poudres métalliques, les enjeux pour la santé des opérateurs sont réels compte tenu de la dangerosité des matières premières et des produits potentiellement émis.

Pour améliorer la qualité de l'évaluation des risques, l'INRS et le CEA ont conçu une base de données intégrant leurs données d'émission et d'exposition →

RÉSUMÉ

L'emploi de poudres métalliques lors de la fabrication additive peut présenter un risque pour les opérateurs, surtout à cause de la présence de certains métaux dangereux pour la santé comme le cobalt, le nickel ou le chrome. Pour cette activité, l'INRS et le CEA ont créé une base de données des mesures d'exposition et d'émission disponibles. L'exploitation de ces données d'exposition permet de déterminer les situations les plus exposantes et les polluants présents. Compléter ces données avec les données de mesures en temps réel permet de mettre en évidence les opérations à l'origine de la majorité de l'exposition. Ces travaux montrent que les opérateurs se trouvent dans des situations d'exposition maîtrisées la plupart du temps. Néanmoins, il existe des situations, lors des étapes de finition ou de préproduction par exemple, pour lesquelles ce n'est pas le cas, et qui nécessitent donc la mise en place des moyens de prévention supplémentaires.

Exposure during 3D printing using metallic powder

The use of metallic powder during 3D printing can present a risk for operators especially because of the presence of certain metals that are hazardous to health such as cobalt, nickel and chromium. For this activity, INRS and CEA created a database of available exposure and emission measurements. This database makes it possible to determine the situations involving the greatest exposure and the contaminants present. Supplementing these data with real-time measurements reveals the operations causing most of the exposure. This work shows that operators usually work in controlled exposure situations. Nevertheless, there are situations, during the finishing and pre-production stages, where this is not the case and which therefore require the implementation of additional prevention means.

recueillies au cours de campagnes de mesurages dans l'industrie de la fabrication additive utilisant des poudres métalliques (fusion sur lit de poudre et dépôt de poudre sous énergie concentrée) ainsi que les données existantes dans la littérature [3-4]. L'exploitation de cette base de données, qui sera enrichie au cours du temps, permettra de mieux connaître les niveaux d'exposition des opérateurs et les étapes les plus exposantes pour, à terme, valider la pertinence des solutions de prévention retenues.

Méthode d'enregistrement des données d'exposition

Avant l'enregistrement et le traitement des données, l'activité de fabrication additive a été analysée, car les risques peuvent être spécifiques à chaque étape du procédé de fabrication. La conception des pièces et le transfert numérique des pièces entre l'ordinateur et la machine de fabrication additive n'ont pas été considérés, car ces opérations ne comportent pas de risque chimique.

Un processus de fabrication est scindé en différentes étapes, pouvant être regroupées en trois phases distinctes *(Cf. Tableau 1)*. Toutes les étapes ne sont pas obligatoirement présentes dans chaque entreprise ou pour chaque marque de machine. Ce découpage a pour but d'associer les opérations comportant des risques similaires. Il existe d'autres opérations potentiellement exposantes, comme le nettoyage intégral de la machine, la maintenance, le changement des filtres, etc., mais elles ne sont pas systématiques pour chaque fabrication de pièce.

Pour chaque phase, les données d'exposition disponibles, provenant de l'INRS, des services Prévention des Carsat, Cramif, CGSS, ainsi que de la littérature, ont été renseignées dans la base de données[4]. La marque de la machine, la nature de l'alliage, la méthode de mesure ont également été enregistrées. Pour les mesures d'exposition par prélèvement, seules les concentrations massiques des polluants ont été exploitées. Le diagnostic d'exposition a été établi selon la norme EN 689 [5]. Selon cette norme :

- lorsque moins de trois mesures sont disponibles, aucun diagnostic n'est établi ;
- lorsque trois mesures sont disponibles, la valeur maximale doit être inférieure à 10 % de la valeur limite pour envisager un diagnostic de conformité ;
- lorsque quatre mesures sont disponibles, la valeur maximale doit être inférieure à 15 % de la valeur limite pour envisager un diagnostic de conformité ;
- lorsque cinq mesures sont disponibles, la valeur maximale doit être inférieure à 20 % de la valeur limite pour envisager un diagnostic de conformité ;
- lorsque six mesures ou plus sont disponibles, un diagnostic de respect ou de dépassement de la valeur limite est calculé.

Comme indiqué dans le *Tableau 2*, les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) françaises ont été employées, quand elles existent. En revanche, en l'absence de VLEP française, le choix a été fait de comparer les résultats à des VLEP étrangères (exemples du fer, cobalt, etc.), selon la norme XP E 67-006 [6]. Les calculs de diagnostic d'exposition ont été réalisés avec le logiciel AltrexChimie (accessible sur :

PRÉPRODUCTION	- Récupération de la poudre (métallique) de l'endroit de stockage ; - transfert de la poudre du récipient de stockage dans le récipient adapté à la machine ; - pesée de la poudre ; - alimentation en poudre de la machine ; - réglage de la machine.
PRODUCTION	- Fabrication proprement dite de la pièce.
FINITION	- Ouverture de la machine ; - nettoyage de la pièce dans la machine, récupération / retrait du maximum de poudre ; - récupération du plateau avec la pièce ; - nettoyage de la pièce en dehors de la machine ; - découpe de la pièce du plateau de fabrication ; - finition de la pièce (ponçage, ébavurage, etc.) ; - récupération de la poudre non utilisée de la machine ; - tamisage de la poudre avant recyclage.

← TABLEAU 1
Phases d'un procédé de fabrication additive.

www.altrex.inrs.fr), outil d'aide à l'établissement de la stratégie de prélèvement des substances chimiques et à l'interprétation des résultats.
En complément aux prélèvements effectués de manière conventionnelle, qui renseignent sur l'exposition moyenne des salariés, des techniques de mesure en temps réel [7] peuvent également être mises en œuvre. Ainsi, des résultats de mesures en temps réel conduites par l'INRS et le CEA ont été capitalisés, en vue de compléter la caractérisation des expositions liées à des procédés de fabrication additive métallique. Seront considérées dans cet article les mesures en temps réel de concentration en nombre des particules dispersées dans l'air, exprimées en unités par cm^3 (#/cm^3). S'il est délicat de comparer *stricto sensu* les mesures entre elles, notamment en raison des niveaux de concentration très variables de l'aérosol de fond et des écarts pouvant être liés au calibrage des appareils utilisés, il est néanmoins possible de mettre en évidence des variations relatives des niveaux de concentration mesurés, en fonction des activités réalisées. Les aérosols émis par les procédés de fabrication additive sont majoritairement composés de particules submicroniques, typiquement inférieures à 200 nm [8]. Dès lors, les aérosols auxquels sont potentiellement exposés les travailleurs sont constitués d'agglomérats submicroniques formés suite à différents mécanismes (agglomération, coagulation, diffusion), auxquels peut s'ajouter une fraction de particules de taille plus importante provenant de la poudre de départ. Il est donc probable que les

SUBSTANCE	VALEUR LIMITE UTILISÉE (mg/m^3)	PROVENANCE DE LA VALEUR LIMITE
Aluminium (pulvérulent)	5	VLEP : France
Poussières réputées sans effet spécifique (fraction alvéolaire)	5	VLEP : France
Poussières réputées sans effet spécifique (fraction inhalable)	10	VLEP : France
Fer (métal)	4	VLEP : Lituanie
Chrome (métal), composés de chrome inorganiques (II) et composés de chrome inorganiques (insolubles) (III)	2	VLEP : France
Chrome hexavalent et ses composés	0,001	VLEP : France
Nickel (métal)	1	VLEP : France
Cobalt et ses composants	0,005	VLEP : Allemagne
Manganèse et ses composés (fraction inhalable, exprimée en manganèse)	0,2	VLEP : Allemagne
Manganèse et ses composés (fraction alvéolaire, exprimée en manganèse)	0,05	VLEP : Allemagne
Titane (fraction alvéolaire)	5	VLEP : France
Cuivre (poussières, en Cu)	1	VLEP : France
Vanadium (poussières et fumées, en V_2O_5)	0,05	VLEP : Autriche

← TABLEAU 2
VLEP choisies pour l'interprétation des mesures d'exposition par prélèvement.

→

SUBSTANCES	NOMBRE DE MESURES TOTAL	NOMBRE DE MESURES « PRÉ-PRODUCTION »	NOMBRE DE MESURES « PRODUCTION »	NOMBRE DE MESURES « FINITION »
Poussières réputées sans effet spécifique (fraction alvéolaire)	39	14	9	16
Poussières réputées sans effet spécifique (fraction inhalable)	32	13	7	12
Aluminium (pulvérulent)	30	7	11	12
Fer (métal)	33	14	6	13
Chrome (métal), composés de chrome inorganiques (II) et composés de chrome inorganiques (insolubles) (III)	17	9	2	6
Chrome hexavalent et ses composés	18	10	0	8
Nickel (métal)	41	19	7	15
Cobalt et ses composés	11	5	1	5
Manganèse et ses composés (fraction inhalable, exprimée en manganèse)	9	4	0	5
Manganèse et ses composés (fraction alvéolaire, exprimée en manganèse)	5	3	0	2
Titane (alvéolaire)	14	6	2	6
Cuivre (poussières, en Cu)	8	4	3	1
Vanadium (poussières et fumées, en V_2O_5)	8	2	0	6
Total	**265**	**110**	**48**	**107**

↑ TABLEAU 3
Vue d'ensemble des données d'exposition.

opérateurs soient exposés à des aérosols de granulométries différentes au cours des diverses phases du procédé [9].

Les appareils mis en œuvre (DiSCmini [10] ou compteurs de noyaux de condensation [11]) renvoient en temps réel la concentration en nombre des aérosols sur la gamme submicronique, tandis que les compteurs optiques de particules couvrent une gamme de taille de 0,3 à ≈ 20 µm [12]. De manière systématique et en accord avec les préconisations émises par l'INRS, l'Ineris et le CEA [7], une mesure de la concentration de l'aérosol de fond a été réalisée en parallèle. Si les techniques de mesure en temps réel nécessitent encore des développements, elles offrent la possibilité de déterminer les sources potentielles d'aérosols, et notamment de mettre en évidence les différentes tâches associées aux émissions (existence de pics d'exposition/émission) [12-13]. Toutefois, il convient de garder à l'esprit que cette métrologie n'est pas spécifique à une substance donnée ; son utilisation en atmosphères professionnelles ne permet donc pas de distinguer les particules émises lors d'une activité de celles de l'aérosol de fond. Cette problématique implique des méthodes statistiques qui demandent encore à être développées et éprouvées [14].

Données d'exposition par prélèvement

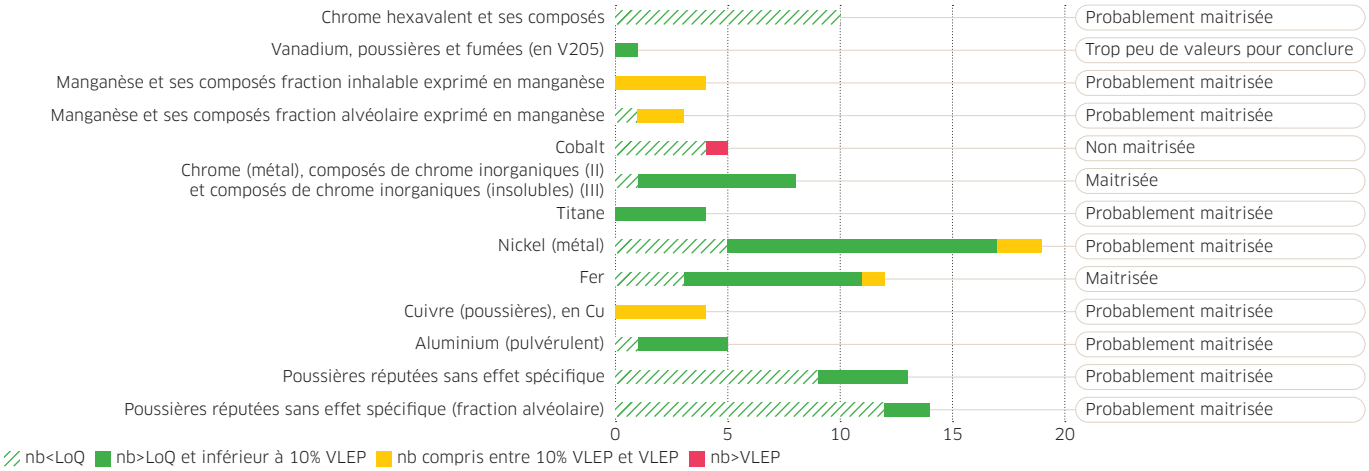
Description des données d'exposition par prélèvement

Le *Tableau 3* synthétise les données contenues dans la base, provenant de la littérature [3-4] ou obtenues par l'INRS et les services Prévention des Carsat, Cramif, CGSS dans le cadre de campagnes de mesure. Il s'agit de données d'exposition issues de prélèvements réalisés sur les opérateurs, dans le but d'évaluer l'exposition par inhalation.

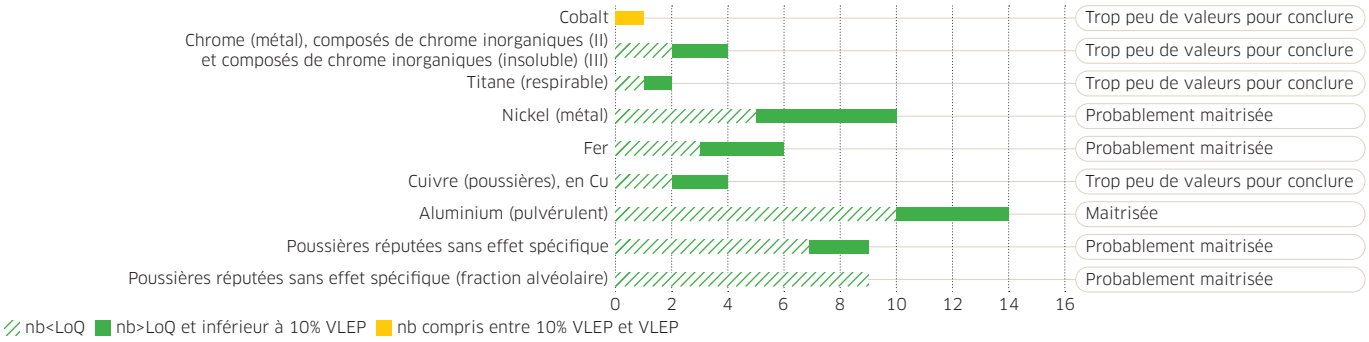
Exploitation des données

Les données enregistrées lors des étapes de préproduction pour différents polluants (métaux et poussières sans effet spécifique) sont présentées sur la *Figure 1*. Pour faciliter la lecture, seuls les nombres de mesures par polluant associés à un code couleur ont été représentés. Les mesures inférieures à la limite de quantification (LoQ) sont indiquées en hachuré vert, toute mesure inférieure à 10 % des VLEP françaises ou étrangères selon le *Tableau 2* est en vert. Si la valeur est entre 10 % et la VLEP, elle est de couleur ocre. Pour les mesures dépassant la VLEP, la couleur choisie est le rouge.

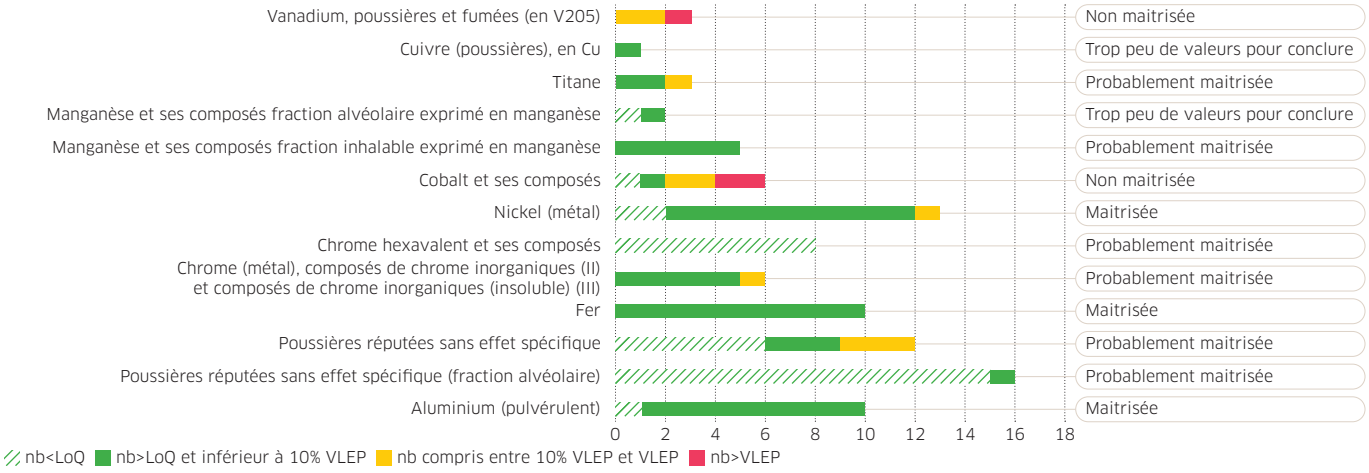
Pour cette étape, bien que la majorité des mesures soient inférieures à 10 % de la VLEP, une mesure de



↑ **FIGURE 1** Répartition des mesures en fonction des polluants et de leur VLEP pour la phase de pré-production.



↑ **FIGURE 2** Répartition des mesures en fonction des polluants et de leur VLEP pour la phase de production.



↑ **FIGURE 3** Répartition des mesures en fonction des polluants et de leur VLEP pour la phase de finition.

dépassement de VLEP est observée pour le cobalt. D'autre part, les résultats liés au Cr VI sont à interpréter avec précautions : ils sont inférieurs à la limite de quantification (LoQ), mais la limite en question est comprise entre 10 % de la VLEP et la VLEP, ce qui est incompatible avec les préconisations de la norme française NF EN 482 [15].

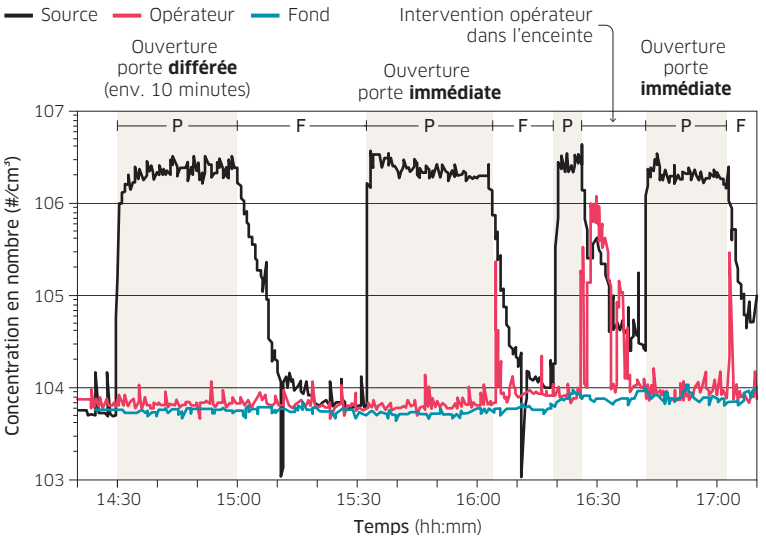
La même présentation des valeurs a été choisie pour les mesures d'exposition effectuées pour l'étape de production *(Cf. Figure 2)*. L'intégralité des mesures respectent les VLEP.

La *Figure 3* présente les mesures d'exposition obtenues lors des différentes activités associées à la finition, selon les mêmes codes que les figures précédentes. Quelques situations de dépassement de la VLEP sont enregistrées pour le vanadium et pour le cobalt.

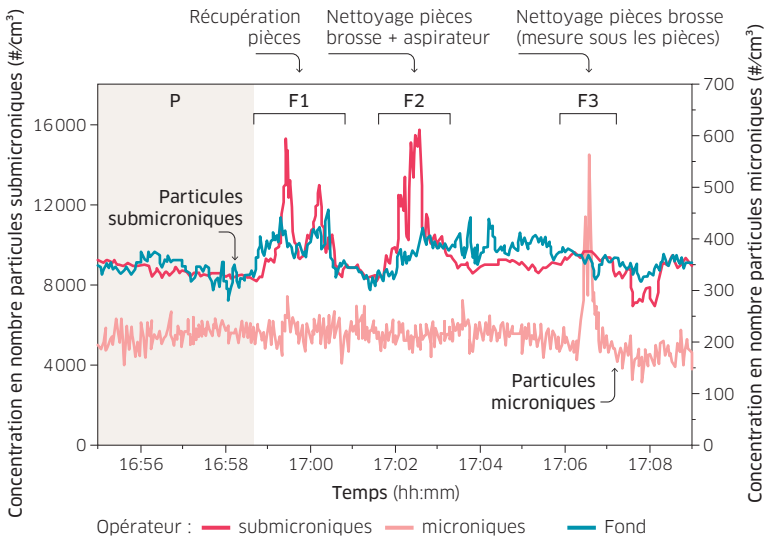
→

CONCLUSION DU DIAGNOSTIC D'EXPOSITION	DÉTAILS DU DIAGNOSTIC	PRÉ-PRODUCTION	PRODUCTION	FINITION	ENSEMBLE
Exposition maîtrisée	Diagnostic de conformité (validé par traitement statistique)	2	1	3	6
Exposition probablement maîtrisée	Nombreuses valeurs inférieures à la limite de quantification	3	2	2	19
	Diagnostic de conformité (validé par comparaison à la VLEP)	5	2	2	
	Autre situation	1	0	2	
Exposition non maîtrisée	L'une des valeurs dépasse la VLEP	1	0	2	3
Non concluant	Trop peu de valeurs pour conclure	1	4	2	7
Total		**13**	**9**	**13**	**35**

↑ **TABLEAU 4** Résumé des diagnostics effectués.



↑ **FIGURE 4** Profils temporels lors de quatre cycles de fabrication additive métallique par projection de poudre. *« P » = production ; « F » = finition.*



↑ **FIGURE 5** Profils temporels lors de la sortie et du nettoyage des pièces produites par fabrication additive par projection de poudre métallique. *« P » = production ; « F » = finition.*

Les données d'exposition présentées sur les figures 1 et 3 permettent d'avoir une vue d'ensemble des niveaux d'exposition rencontrés en fonction des polluants mesurés et des étapes de fabrication observées. L'exposition est « maîtrisée » ou « probablement maîtrisée » dans 25 situations sur 35 *(Cf. Tableau 4)*.

Au cours des phases de production où les polluants sont confinés à l'intérieur des machines qui sont généralement étanches, sous atmosphère inerte, les opérateurs sont peu exposés, selon les données utilisées (cinq situations « maîtrisées » ou « probablement maîtrisées » sur neuf ; pour les autres, le faible nombre de valeurs ne permet pas de conclure). Quand l'opérateur pourrait être en contact avec la poudre métallique ou d'autres produits émis, c'est-à-dire lors des étapes de préproduction et de finition, les expositions sont « maîtrisées » ou « probablement maîtrisées » dans 20 situations sur 26. Néanmoins, il existe des situations où l'exposition est importante, supérieure à la VLEP, qui plus est pour des substances classées cancérogènes et/ou reprotoxiques selon le règlement CLP, comme le cobalt.

Quelles que soient les phases de la fabrication additive, on observe que la majorité des diagnostics d'exposition concluent à des expositions plutôt maîtrisées. Il est cependant probable que la mesure d'exposition par l'approche classique fondée sur le prélèvement d'air ne permette pas d'identifier d'éventuels pics d'exposition. À cette fin, des techniques de mesure en temps réel ont été mises en œuvre de façon complémentaire.

Données de mesures en temps réel

Pour analyser l'évolution temporelle des émissions et des expositions, la métrologie en temps réel a été déployée. Deux exemples tirés de campagnes de mesure réalisées sur des procédés de fabrication additive par projection de poudre sont proposés.

La *Figure 4*, issue d'une campagne de mesure [16], illustre les profils de concentration mesurés au cours

de quatre périodes de production suivies par l'ouverture de la porte de l'enceinte afin de procéder à la récupération des pièces.
Les phases de production correspondent aux zones grisées (P), au cours desquelles on enregistre des niveaux de concentration à l'intérieur de l'enceinte (émission) de l'ordre de 2.10^6 #/cm³. La *Figure 4* met clairement en évidence que les niveaux de concentration mesurés sur opérateur présentent un pic (pouvant atteindre ≈ 3.10^6 #/cm³) à la fin des phases de production n^{os} 2 et 4, correspondant à l'ouverture de la porte de l'enceinte et à la récupération de la pièce par l'opérateur (phase de finition, F). Ce pic n'est pas mesuré lorsque l'ouverture de la porte est différée d'une dizaine de minutes (fin de la phase de production n° 1). Enfin, un dysfonctionnement technique lors de la phase de production n° 3 a nécessité l'intervention de l'opérateur ; lors de cette période d'une dizaine de minutes, les mesures indiquent un niveau d'exposition pouvant atteindre 10^6 #/cm³, soit deux ordres de grandeur au-dessus de l'aérosol de fond.
Par ailleurs, le profil de concentration enregistré en champ lointain (« fond »), relativement constant et non corrélé aux autres signaux, indique l'absence de transfert de particules issues de la zone de production au sein de l'atelier. De plus, au cours de la période de production, les niveaux de concentration mesurés sur opérateur sont similaires à ceux mesurés au point de mesure en champ lointain, ce qui confirme l'absence de fuite au niveau de l'enceinte.
Un second exemple *(Cf. Figure 5)* montre les profils de concentration en particules obtenus lors de la récupération et du nettoyage de pièces.
À nouveau, la *Figure 5* montre que l'étape de récupération des pièces (F1) conduit à une élévation du niveau de concentration mesuré, d'un facteur d'environ 2 par rapport à la période précédente, où la mesure de la concentration à proximité de l'opérateur est équivalente à la mesure au point de fond.
Lors des opérations de nettoyage des pièces à la brosse (F2), on note également une augmentation de la concentration, du même ordre que celui observé lors de la récupération des pièces, malgré l'utilisation d'un aspirateur.
Enfin, on note une augmentation furtive de la concentration des aérosols constitués de particules de taille micronique (facteur ≈ 2,5, axe de droite), lors du nettoyage des pièces à la brosse (mesure effectuée sous les pièces F3), qui correspond probablement au relargage du résidu de poudre non fusionnée. Cette observation est importante, car elle confirme la nécessité de mettre en œuvre différents appareils de mesure complémentaires, afin de couvrir l'ensemble de la gamme de taille des particules et d'éviter de conclure à l'absence de particules émises (situation de faux négatif).
Comme le suggèrent les résultats issus de l'analyse des données d'exposition par prélèvements, les mesures en temps réel montrent les niveaux d'exposition les plus élevés lors des phases de travail en contact avec les pièces produites ou la matière première (préparation de la charge, chargement de la machine, récupération des pièces), correspondant aux étapes de préproduction et de finition *(Cf. Tableau 1)*. Ces périodes de travail sont généralement assez courtes, même si certaines activités telles que le nettoyage peuvent durer quelques heures.

© Patrick Delapierre pour l'INRS/2017

Au titre de ses recherches, le Cetim-Certec investit depuis plusieurs années dans les procédés de fabrication additive (impression 3D). Travail sur une machine à fusion laser sur lit de poudre métallique. Très pulvérulentes, ces poudres peuvent créer un risque d'atmosphère explosive et d'incendie.

Discussion – Conclusion

Sur la base des données recueillies, il ressort qu'une majorité des valeurs d'exposition par prélèvement sont inférieures à la limite de quantification. Les phases conduisant à des situations exposantes sont la finition et, dans une moindre mesure, la préproduction. Ces observations sont par ailleurs étayées par les résultats de mesures en temps réel. L'analyse de la phase de fabrication ne démontre aucune situation d'exposition non maîtrisée, selon les données disponibles, ce qui est confirmé par les mesures en temps réel, avec des valeurs proches de l'aérosol de fond. Cette constatation s'explique par les besoins des procédés utilisant des poudres métalliques (fusion sur lit de poudre et dépôt de poudre sous énergie concentrée), qui fonctionnent généralement sous atmosphère contrôlée et donc avec une enceinte de production étanche dans la plupart des cas.
Dans le cadre de l'évaluation du risque chimique, la définition d'une situation à risque passe par la

POUR EN SAVOIR

- INRS – *Fabrication additive ou impression 3D utilisant des poudres métalliques.* Fiche pratique de sécurité, ED 144, 2020. Accessible sur : www.inrs.fr
- Perspectives – La 3D fait bonne impression. *Travail & Sécurité,* juillet 2014, pp. 26-27. Accessible sur : www.travail-et-securite.fr/ts/pages-transverses/revue.html?numRevue=752
- La fabrication additive : quelle prévention en entreprise ? *Hygiène & sécurité du travail,* 2021, 262, pp. 6-10. Accessible sur : www.hst.fr

comparaison des valeurs d'exposition par prélèvement à la VLEP française[5]. Pour certaines substances, les valeurs nationales sont supérieures à celles de certains pays européens. Si des VLEP plus basses étaient retenues, telles que celles proposées par exemple par l'Allemagne pour le nickel ou le cuivre, de nombreuses situations seraient considérées comme non maîtrisées. Il faut par conséquent rester prudent sur l'interprétation des résultats.

Cette évaluation des expositions basée sur les résultats de prélèvements conventionnels a été complétée par des mesures en temps réel, dont l'analyse permet d'objectiver les phases les plus exposantes de finition et de préproduction. Ces données incitent à la mise en place de mesures de prévention adaptées visant à réduire les expositions professionnelles, telles que le transvasement des poudres métalliques en circuit fermé ou le travail en boîte à gant pour la récupération des pièces et leur nettoyage *(Cf. En savoir plus)*. Une période de temporisation avant la récupération des pièces peut également être proposée. Enfin, une attention particulière doit accompagner les étapes de maintenance et de nettoyage des machines, qui n'ont pas été traitées dans cet article. Les mesures de protection collective classiques ne sont pas applicables à ces étapes ; des mesures spécifiques doivent alors être mises en place et l'emploi de cagoules ventilées, vêtements de protection et/ou de gants étanches aux poudres peut s'avérer nécessaire. ●

1. Voir : La 3D fait bonne impression. Cf. En savoir plus.

2. Voir : La fabrication additive. Cf. En savoir plus.

3. IFA : Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung *(Allemagne). NIOSH :* National Institute for Occupational Safety *(États-Unis). HSE :* Health and Safety Executive *(Royaume-Uni). FIOH :* Finnish Institute of Occupational Health *(Finlande).*

4. Le CEA n'a procédé qu'à des mesures d'exposition en temps réel.

5. La VLEP est alors bien considérée comme un indicateur pour évaluer l'exposition, et non comme une valeur d'exposition à « atteindre ».

BIBLIOGRAPHIE

[1] NF ISO 17296-2 – *Fabrication additive – Principes généraux – Partie 2 : Vue d'ensemble des catégories de procédés et des matières premières.* Afnor, 2014.

[2] WOHLERS T.T. – *Wohlers Report 2020: 3D Printing and Additive Manufacturing, State of the Industry, Annual Worldwide Progress Report.* Wohlers Associates Inc., 2020.

[3] BEISSER R., BUXTRUP M., FENDLER D. *ET AL.* – Inhalative exposition gegenüber Metallen bei additiven Verfahren (3D-Druck). *Gefahrstoffe Reinhalt. Luft,* 2017, 77, pp. 487-496.

[4] DU PREEZ S., DE BEER D.J., DU PLESSIS J.L. – Titanium powders used in powder bed fusion: their relevance to respiratory health. *South African Journal of Industrial Engineering,* 2018, 29, pp. 94-102.

[5] NF EN 689 – *Exposition sur les lieux de travail – Mesurage de l'exposition par inhalation d'agents chimiques – Stratégie pour vérifier la conformité à des valeurs limites d'exposition professionnelle.* Afnor, 2018.

[6] XP E 67-006 – *Fabrication additive. Sécurité, hygiène et environnement – Exigences liées aux matériaux métalliques.* Afnor, 2020.

[7] WITSCHGER O., LE BIHAN O., REYNIER M.D. *ET AL.* – Préconisations en matière de caractérisation des potentiels d'émission et d'exposition professionnelle aux aérosols lors d'opérations mettant en œuvre des nanomatériaux. *Hygiène & sécurité du travail,* 2012, 226, pp. 41-55. .

[8] MATERA V., ROUSSET D., BAU S., BÉMER D. – Émissions, distributions et analyses chimiques de particules ultrafines issues de divers procédés industriels. *Hygiène & sécurité du travail,* 2019, 256, pp. 54-61.

[9] PHILIPPOT C., L'ALLAIN C., ARTOUS S. *ET AL.* – *Potential workers exposure management in metal additive manufacturing and how to manage it.* In: Proceedings of the Euro PM2018 conference, 2018, Bilbao.

[10] BAU S., PAYET R, WITSCHGER O. *ET AL.* – Mesure en temps réel de l'exposition individuelle aux nanoparticules sous forme d'aésosols : performances et exemple d'application du DiSCmini. *Hygène & sécurité du travail,* 2021, 262, pp. 56-62.

[11] BAU S., WITSCHGER O. – *Fiche MétroPol : mesure en temps réel de la concentration en nombre d'un aérosol submicronique au moyen d'un compteur de noyaux de condensation.* In: Guide méthodologique MétroPol, 2019, 15 p. Accessible sur : www.inrs.fr.

[12] 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, pp. 6-10.

[13] GALEY L., AUDIGNON-DURAND S., BROCHARD P. *ET AL.* – Vers une méthode opérationnelle d'évaluation de l'exposition aux aérosols de nanoparticules par l'intégration de l'activité de travail à la mesure. *Archives des maladies professionnelles et de l'environnement,* 2020, 81, pp. 838-850.

[14] CLERC F., NJIKI-MENGA G. H., WITSCHGER O. – Exploratory study on a statistical method to analyse time resolved data obtained during nanomaterial exposure measurements. *Journal of Physics: Conference Series,* 2013, 429, 012003.

[15] NF EN 482 +A1 – *Exposition sur les lieux de travail – Exigences générales concernant les performances des procédures de mesure des agents chimiques.* Afnor, 2015.

[16] BAU S., ROUSSET D., PAYET R., KELLER F.X. – Characterizing particle emissions from a direct energy deposition additive manufacturing process and associated occupational exposure to airborne particles. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene,* 2020, 17, pp. 59-72.

l'Assurance Maladie
RISQUES PROFESSIONNELS
Agir ensemble, protéger chacun

ALLERGIES, INTOXICATIONS, CANCERS

Protégez vos salariés et votre entreprise

Les produits chimiques peuvent avoir de graves conséquences sur la santé. Le programme Risques Chimiques Pros vous permet d'agir simplement et concrètement.

Découvrez Risques Chimiques Pros sur ameli.fr/entreprise

L'image de cette annonce a été prise avant la crise sanitaire. Dans le contexte actuel, le respect des gestes barrières au travail s'impose à tous.

Notes techniques

DÉTERMINATION DES VALEURS LIMITES DE L'EXPOSITION AUX CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES. LES GRANDS PRINCIPES

La Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP) a publié en 2020 ses nouvelles lignes directrices pour la limitation de l'exposition aux champs électromagnétiques de 100 kHz à 300 GHz. Cet article explique le principe de la détermination des valeurs de référence, tel que détaillé dans cette mise à jour.

LOUIS LAURENT
INRS, direction des Études et recherche

ROMAIN MOUILLSEAUX
INRS, département Expertise et conseil technique

Normes européennes et réglementation française

Les travailleurs sont exposés à des champs électromagnétiques, comme ceux émis par des dispositifs de télécommunication ou des machines parcourues par de forts courants électriques. La directive n° 2013/35/UE[1] fixe des prescriptions minimales de sécurité et de santé pour les travailleurs exposés à de tels champs. Le décret n° 2016-1074 du 3 août 2016[2] relatif à la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition aux champs électromagnétiques transpose cette directive en droit français. Les dispositions de ce décret, codifié dans le Code du travail, sont entrées en vigueur le 1er janvier 2017. Ces dispositions réglementaires visent à prévenir l'apparition d'effets sur la santé. Elles prennent en compte les effets avérés, à court terme, qui apparaissent au-dessus d'un seuil dont le niveau est variable selon la fréquence. La prévention des risques professionnels repose sur une démarche d'évaluation qui conduit à mettre en œuvre des moyens de prévention lorsque l'exposition des travailleurs est susceptible d'atteindre les valeurs limites d'exposition réglementaires.

Il existe également des dispositions pour protéger la santé du public. Elles concernent aussi le monde du travail, dans la mesure où elles s'appliquent aux travailleuses enceintes. Afin de limiter l'exposition du public aux champs électromagnétiques, le Conseil de l'Union européenne a publié en juillet 1999 la recommandation n° 1999/519/CE[3]. La France a adopté, à travers le décret n° 2002-775 du 3 mai 2002[4], un cadre réglementaire qui repose sur ces recommandations. Les dispositions de ce décret se limitent aux champs électromagnétiques émis par les équipements utilisés dans les réseaux de télécommunication ou par les installations radioélectriques. Toutefois, il introduit dans le droit français l'ensemble des valeurs limites d'exposition du public définies dans la recommandation n° 1999/519/CE.

Les limites réglementaires sont établies en s'appuyant sur des publications internationales et en partie sur les lignes directrices éditées par l'ICNIRP en 1998. Ces dernières sont mises à jour en fonction des évolutions techniques et de l'avancée des connaissances scientifiques. Ainsi, en 2020, l'ICNIRP a publié de nouvelles lignes directrices concernant la limitation de l'exposition aux champs électromagnétiques radiofréquences de 100 kHz à 300 GHz [1]. Ce travail s'appuie sur :

- des considérations sur les effets des champs électromagnétiques sur la santé. Ces considérations mènent à des seuils à ne pas dépasser à l'intérieur du corps (comme la densité de puissance absorbée), les restrictions de base ;
- des calculs pour faire le lien entre les restrictions de base et les caractéristiques des champs auxquels le corps est exposé. Ces considérations mènent à des seuils de densité de puissance ou de champs électriques et magnétiques à ne pas dépasser à proximité de la personne exposée, les niveaux de référence.

Il existe deux jeux de valeurs : l'un pour l'exposition professionnelle et l'autre pour la population

RÉSUMÉ

La Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP) est une organisation non gouvernementale créée en 1992, afin de poursuivre les travaux du Comité international des rayonnements non ionisants (INIRC) de l'Association internationale de radioprotection (IRPA). Depuis lors, elle élabore et diffuse des recommandations scientifiques pour l'établissement de valeurs limites d'exposition aux champs électromagnétiques pour le grand public et les travailleurs. Les conclusions de ses travaux sont reprises dans les réglementations des pays européens, telles quelles ou avec des marges de précaution supplémentaires. L'ICNIRP a publié en 2020 ses nouvelles lignes directrices pour la limitation de l'exposition aux champs électromagnétiques de 100 kHz à 300 GHz. Le but de cette note technique est d'expliquer le principe de la détermination des valeurs de référence, tel que détaillé dans cette mise à jour.

Determination of exposure limit values for electromagnetic fields. The main principles

The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) is a non-governmental organisation founded in 1992 to pursue the work of the International Non-Ionizing Radiation Committee (INIRC) of the International Radiation Protection Association (IRPA). Since then, it has drafted and disseminated scientific recommendations for the establishment of exposure limit values for electromagnetic fields for the general public and for workers. The conclusions of its work are adopted in European countries' regulations as such or with additional precautionary measures. In 2020, ICNIRP published its new guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields in the 100 kHz to 300 GHz range. The goal of this technical note is to explain the principle for determining reference values, as described in this update.

générale (et les travailleuses enceintes). À noter que dans le Code du travail, les restrictions de base correspondent aux valeurs limites d'exposition et les niveaux de référence correspondent aux valeurs déclenchant l'action *(Cf. Tableau 1)*. Pour le public, un facteur de sécurité supplémentaire a été appliqué afin de tenir compte notamment de la plus grande variabilité des personnes en termes d'âge, d'état de santé et de conditions physiques. D'autre part, les travailleurs sont « *formés afin d'être sensibilisés aux risques potentiels liés aux champs électromagnétiques radiofréquences et de pouvoir prendre les mesures appropriées d'atténuation des effets néfastes* ».

En ce qui concerne les effets sur la santé, on distingue deux cas. D'une part, il existe des effets aigus, bien documentés, dus à l'échauffement des tissus ou la stimulation des tissus nerveux et musculaires excitables. D'autre part, on soupçonne l'existence d'effets dits non thermiques qui se produisent dans le cadre d'expositions chroniques à des niveaux de puissance plus modérés, comme l'apparition de tumeurs. Ainsi, en 2011, le Centre international de recherche sur le cancer (Circ) a classé les champs électromagnétiques comme « *peut-être cancérogènes pour l'homme* » (groupe 2B). Ces effets continuent à faire l'objet de nombreuses publications, sans qu'un consensus en ressorte. Régulièrement des analyses de la littérature sont faites [2].

Les calculs de l'ICNIRP sont faits en prenant en compte les seuils associés uniquement aux effets thermiques et de stimulation, qui font l'objet d'un consensus. Ces derniers avaient été traités par l'ICNIRP en 2010 [3]. Dans la mise à jour de 2020, l'ICNIRP rappelle simplement qu'ils se produisent pour des fréquences jusqu'à 10 MHz et que, dans la gamme de 100 kHz à 10 MHz, les niveaux de référence à ne pas dépasser pour le champ électrique et l'excitation magnétique sont fixés respectivement à 170 V/m et 80 A/m pour

POPULATION GÉNÉRALE		TRAVAILLEURS	
ICNIRP	**DÉCRET N° 2002-775 DU 3 MAI 2002**	**ICNIRP**	**CODE DU TRAVAIL**
Restrictions de base applicables en cas d'exposition de la population générale	Restrictions de base	Restrictions de base applicables en cas d'exposition professionnelle	Valeurs limites d'exposition (VLE)
Niveaux de référence applicables en cas d'exposition de la population générale	Niveaux de référence	Niveaux de référence applicables en cas d'exposition professionnelle	Valeurs déclenchant l'action (VA)

← **TABLEAU 1**
Correspondance entre les termes utilisés par l'ICNIRP et ceux retenus dans la réglementation française.

les travailleurs.
L'objectif de cet article est d'expliquer de manière simplifiée la démarche de l'ICNIRP pour établir ses lignes directrices en reprenant le raisonnement détaillé dans la version 2020.

Physique des champs électromagnétiques dans la gamme de 100 kHz à 300 GHz

Les champs électromagnétiques sont caractérisés par un champ électrique (E) exprimé en volts par mètre et un champ magnétique qui s'exprime de deux façons, soit par l'excitation magnétique (H) exprimée en ampères par mètre, soit par le champ magnétique (B) exprimé en teslas[5]. Ils oscillent à la fréquence de la tension ou du courant qui en sont à l'origine. Dans le vide (ou dans l'air), loin de la source qui les a créés, ces champs prennent une forme simple, celle d'une onde plane qui se propage à la vitesse de la lumière en transportant de la puissance. Elle est caractérisée par une échelle de périodicité spatiale, la longueur d'onde, qui varie comme l'inverse de la fréquence, de 3 km (à 100 kHz), jusqu'à 1 mm (à 300 GHz). Pour les ondes, il existe une relation simple entre la puissance transportée par unité de surface et l'intensité du champ électrique ou l'excitation magnétique. Pour fixer les idées, une antenne qui émet de manière isotrope une puissance P est à l'origine de champs donnés par la formule suivante où d est la distance à l'antenne.

$$E = 5{,}5\,\frac{\sqrt{P}}{d} \text{ et } H = 0{,}0146\,\frac{\sqrt{P}}{d}$$ *(Unités : V/m, A/m, watt, mètres)*

Les tissus humains sont des « matériaux » diélectriques, faiblement conducteurs de l'électricité. Leur conductivité varie en fonction du type de tissu (il y a donc de fortes inhomogénéités dans le corps parfois sur moins d'un centimètre) et de la fréquence du champ. Elle est de l'ordre de 1 siemens par mètre, avec une tendance à l'augmentation aux hautes fréquences. Cette conductivité suffit à modifier la propagation des champs, surtout à haute fréquence. Un concept important est la profondeur de pénétration des ondes. Pour un matériau conducteur, d'une conductivité de 1 siemens par mètre, valeur que l'on trouve pour les tissus, cette profondeur de pénétration est donnée par la formule :

$$\delta = \frac{503}{\sqrt{f}}$$ *où f est la fréquence de l'onde. Les unités sont le mètre et le hertz.*

La majorité de la puissance est dissipée sur cette distance. Ainsi, pour une onde à 6 GHz, 86 % de la puissance est absorbée à moins de 6,5 mm de la surface du conducteur. Aux fréquences plus élevées, les ondes tendent à se localiser encore plus à la surface. Une autre propriété des tissus est leur capacité à s'échauffer en présence d'un champ électromagnétique du fait de deux phénomènes. À basse fréquence il s'agit de l'effet Joule, comme dans tout conducteur parcouru par un courant. Aux plus hautes fréquences s'ajoutent les pertes diélectriques (les molécules comme l'eau sont mises en mouvement par le champ électrique et oscillent à la fréquence de cette onde. Elles heurtent leurs voisines, ce qui a pour effet de chauffer le milieu). C'est la conjonction de ces deux phénomènes qui est à l'origine de l'échauffement des tissus. Une partie importante du document de l'ICNIRP consiste à analyser les échauffements admissibles. Cette analyse est effectuée à partir de données expérimentales et de modélisations. Des facteurs de sécurité sont ajoutés (de 2 à 10 suivant les cas), pour prendre en compte la variabilité entre travailleurs, celle de l'environnement (température, vent, vêtements) et les incertitudes dans les évaluations des seuils. Pour la population générale, on applique un facteur de sécurité supplémentaire de 5.

© Fabrice Dimier pour l'INRS/2015

Calcul des échauffements admissibles en régime stationnaire

Trois grandes familles de situations sont discutées qui correspondent à des limites différentes. Elles sont représentées sur la *Figure 1*.

Échauffement corps entier

Lorsque le champ chauffe les tissus, le premier risque à considérer est que les mécanismes de régulation thermique soient débordés et que le corps ne puisse se maintenir autour de 37°C [4]. Pour fixer les idées, un humain dissipe environ 1 W par kilogramme de masse corporelle au repos ; et 10 fois plus en cas d'effort intense. La puissance cédée par les ondes s'y ajoute. Cette puissance moyennée sur le volume du corps est représentée par le DAS (Débit d'absorption spécifique), qui s'exprime en watt absorbé par kg de tissu. À partir de données expérimentales disponibles et de modélisations, l'ICNIRP estime que, tant que la puissance déposée est inférieure à 4 W/Kg durant 30 minutes, celle-ci peut être compensée par la régulation thermique. En ajoutant un facteur de sécurité de 10, l'ICNIRP fixe le DAS maximum pour les travailleurs à 0,4 W/kg.

Lorsque le corps est exposé à des ondes haute fréquence, au-delà de 6 GHz, l'échauffement devient plus superficiel. On peut néanmoins calculer un DAS en faisant l'hypothèse protectrice que cette énergie déposée en surface n'est pas directement évacuée : le DAS est le flux de puissance déposée au niveau de la peau, multipliée par la surface de peau et divisée par la masse du corps. L'ICNIRP retient ce même seuil de 0,4 W/kg.

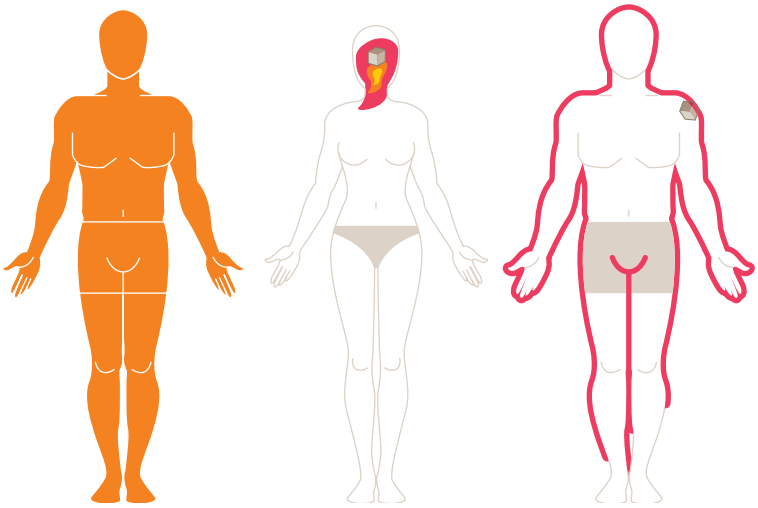
Échauffement local, fréquences inférieures à 6 GHz

Même si la puissance moyennée dans le volume du corps reste en dessous du seuil de 0,4 W/kg, il se peut qu'en présence d'un champ plus localisé, une partie du corps s'échauffe au-delà d'un seuil où les tissus vont être endommagés. L'ICNIRP fixe cette température critique à 41°C. Pour traiter l'échauffement local, on considère non plus le corps entier mais un petit morceau de tissus d'une masse de 10 grammes (il faut imaginer un cube de 2,15 cm de côté). L'ICNIRP considère qu'en cas d'échauffement très local, la chaleur diffuse et la température s'équilibre à l'échelle de ce cube, sur un temps de l'ordre de six minutes. On définit un DAS_{10g} qui est la puissance déposée dans ce cube par kg de tissu. Après avoir appliqué un facteur de sécurité de 2, l'ICNIRP retient pour les travailleurs un DAS_{10g} au maximum de 10W/kg dans la région « tête et torse » et 20 W/kg dans la région « membres » pour une exposition de plus de six minutes. Cette distinction entre deux DAS_{10g} est due au fait que les membres se refroidissent plus rapidement.

Cas des hautes fréquences, supérieures à 6 GHz

Aux fréquences élevées, la puissance se dépose au niveau de la peau avec, là aussi, des risques de brûlure. En revanche, les tissus internes ne sont pas atteints. Dans une première approche, on peut visualiser le petit cube de 2,15 cm de côté placé contre la peau. Toutes les ondes qui traversent la face contre la peau déposent leur énergie à proximité. Cela a amené l'ICNIRP à discuter l'exposition en termes de flux de puissance moyennée sur cette face, qui représente environ 4 cm^2. En adoptant un facteur de sécurité de 2, l'ICNIRP a ainsi fixé une valeur maximum de la puissance absorbée moyennée sur six minutes, à 100 $W.m^{-2}$ pour les travailleurs. Ce flux induit un échauffement local inférieur à 2°C et est donc applicable à tous les tissus, donc à toutes les surfaces du corps.

Pour les fréquences supérieures à 30 GHz, la puissance peut être focalisée sur une zone plus petite que la face de 4 cm^2 du petit cube imaginaire cité ci-dessus. Pour prendre en compte cette capacité des ondes à se concentrer sur une petite zone, on est amené à considérer un cube plus petit, de 1 cm de côté. Dans ce cas, l'ICNIRP préconise ainsi une valeur maximum de puissance absorbée moyennée sur six minutes de 200 $W.m^{-2}$.



↑ **FIGURE 1**
Schéma représentant le dépôt de puissance dans trois cas.
À gauche, un champ de fréquence modérée emplissant l'espace de manière plus ou moins homogène. L'ensemble du corps reçoit de la puissance et les mécanismes de régulation thermique peuvent être débordés. Au centre, la travailleuse est exposée à un champ plus localisé, par exemple parce qu'il est à proximité d'une antenne de petite taille. Le risque est plutôt celui d'une brûlure locale. À droite, le travailleur est en présence de champ haute fréquence au-delà de 6 GHz. La puissance se dépose alors essentiellement au niveau de la peau. Sont également représentés deux exemples des cubes fictifs servant à calculer le DAS_{10g}.

Calcul des échauffements admissibles en régime pulsé

En pratique, les tissus humains sont hétérogènes. Certaines zones absorbent plus de chaleur que d'autres. Tant que l'on considère des expositions moyennées sur les temps longs, cela a peu d'importance. En effet, la température s'équilibre rapidement dans le petit cube de 2,15 cm mentionné précédemment, de telle sorte que les points chauds sont effacés[6]. Toutefois, dans diverses applications, les ondes peuvent se présenter sous la forme de trains d'impulsions courts et de forte puissance. Dans ce cas, des petites parties du corps peuvent s'échauffer considérablement en une fraction de seconde, avant de refroidir au contact des tissus environnants

→

jusqu'à l'impulsion suivante. C'est particulièrement le cas dans la gamme [400 MHz - 6 GHz], gamme à laquelle la puissance se concentre déjà dans des épaisseurs de tissus comprises typiquement entre 1 et 5 cm. L'ICNIRP a été amené à définir des seuils spécifiques pour les impulsions courtes. Ceux-ci visent à limiter le nombre de joules déposés en six minutes, cette limite diminuant avec la brièveté de l'impulsion durant laquelle l'énergie est absorbée. Pour des expositions longues, le DAS_{10g} moyenné sur six minutes ne pouvait pas dépasser 10 W par kg. En d'autres termes, il ne faut pas déposer plus de 3600 J par kg sur six minutes. Si aucune correction n'était effectuée, cela signifie que si le travailleur est exposé à une impulsion de 100 ms une fois toutes les six minutes, la puissance instantanée déposée par kg ne devrait pas dépasser 36 kW. En pratique, pour une impulsion de 100 ms, la règle modifiée limite l'énergie à 250 J par kg, soit une puissance de crête inférieure à 2,5 kW.

Calcul des restrictions opérationnelles

Les restrictions de base définies par l'ICNIRP sont liées à la puissance déposée par les champs électromagnétiques dans les tissus, c'est-à-dire des grandeurs non directement accessibles à la mesure. Pour établir qu'on reste en dessous de ces seuils, il est nécessaire de définir une correspondance entre cette puissance et des caractéristiques du champ électromagnétique au poste de travail, plus faciles à mesurer, telles qu'excitation magnétique, champ électrique, puissance incidente, que l'ICNIRP nomme niveaux de référence.

Ces valeurs limites peuvent être estimées à partir de mesures. Pour cela, on simule le corps humain à l'aide d'un mannequin rempli d'une matière ayant des propriétés diélectriques proches de celles des tissus, dont on peut mesurer l'échauffement en fonction des caractéristiques des champs électromagnétiques à l'extérieur. On peut également effectuer un calcul de la puissance déposée sur un modèle numérique d'être humain, modélisé avec plus ou moins de précision (d'une forme rudimentaire jusqu'au modèle réaliste). Dans les deux cas, dans la mesure où on s'intéresse à la puissance déposée moyennée sur des temps longs, il n'est en général pas nécessaire de simuler les détails anatomiques internes, pour prendre en compte les inhomogénéités à l'intérieur des tissus.

Une question à traiter en amont est celle de la structure du champ au poste de travail, car elle joue un rôle déterminant sur la puissance déposée dans les tissus. Les situations sont très diverses : le champ peut être généré par un ensemble de conducteurs parcourus par des courants, par des conducteurs à haute tension, par des antennes qui émettent des ondes à différentes distances. Trois types de situations[7] sont distinguées :

- **Champ lointain :** Lorsqu'on est assez loin de l'émetteur, le champ électromagnétique s'organise sous la forme d'ondes qui sont bien décrites par des ondes planes qui se propagent entre l'émetteur et le travailleur. Elles sont décrites par un champ électrique et une excitation magnétique qui oscillent dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation. Dans ce cas, la connaissance de E ou de H ou de la puissance transportée suffit à caractériser entièrement l'onde, et la restriction opérationnelle peut porter sur l'une de ces trois grandeurs.
- **Champ proche :** Lorsqu'on est près de l'émetteur, il n'y a pas d'onde bien formée mais un ensemble (E, H) avec une structure qui peut être complexe. La puissance déposée dépend de ces deux champs. Dans ce cas, pour effectuer un calcul, il est nécessaire de connaître à la fois E et H, et des seuils ne doivent pas être dépassés pour chacun de ces deux champs.
- **Champ proche réactif :** Lorsqu'on est encore plus près de l'émetteur (une fraction de longueur d'onde) tout se passe comme si le travailleur était directement couplé avec celui-ci et forme un circuit électrique. Le cas extrême est le contact entre le travailleur et l'émetteur (ou un objet métallique proche) avec, dans ce cas, un risque qui s'apparente à une électrocution.

L'énergie déposée dépend également de la fréquence du champ, car sa propagation est affectée. D'autre part la conductivité des tissus ou les pertes diélectriques, donc leur échauffement, augmentent avec la fréquence. Pour cette raison, les limites à ne pas franchir dépendent de la fréquence.

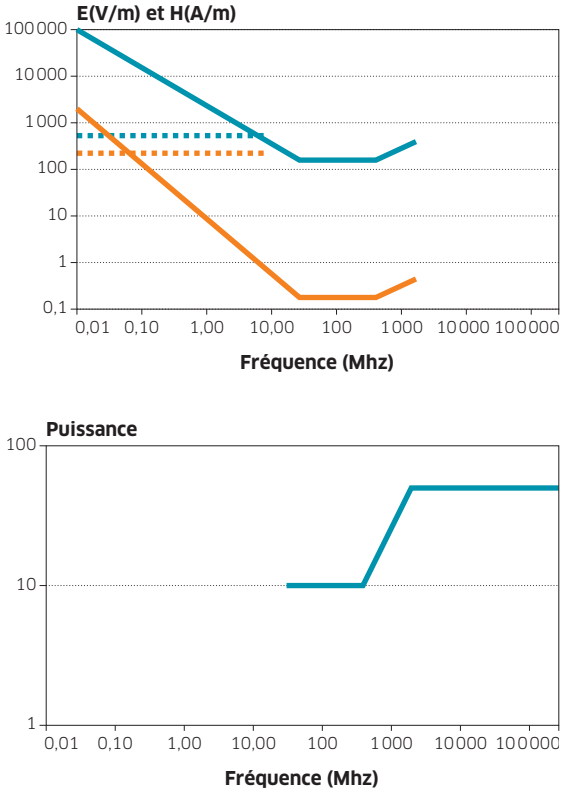
La *Figure 2a* représente les valeurs maximum de E et H incidentes à ne pas dépasser pour garantir qu'on est en dessous de la restriction de base 0,4 W/kg corps entier sur le dépôt de puissance. On remarque que la courbe est constituée de morceaux, qui correspondent à des régimes différents :

- Dans la gamme de fréquence [100 kHz – 30 MHz], la longueur d'onde dans le vide varie entre 10 m et 3 km. Le salarié est considéré dans la zone de champ proche et la notion d'onde n'est pas pertinente. On considère donc directement les champs créés par les charges et les courants à proximité. À ces basses fréquences, les équations qui décrivent ces champs se simplifient et il est possible de calculer deux contributions à l'énergie déposée dans les tissus, l'une issue du champ électrique et l'autre issue du champ magnétique. Il faut tenir compte du fait que, pour un champ d'une amplitude donnée, la résistivité des tissus, donc la puissance déposée, augmente avec la fréquence de l'onde, ce qui explique le fait que les valeurs limites décroissent avec la fréquence.
- Dans la gamme de fréquence [30 – 2 000 MHz = 2 GHz], la longueur d'onde dans le vide varie entre 10 m et 15 cm. Dans cette gamme de fréquence,

la profondeur à laquelle les ondes pénètrent passe d'environ 10 cm à 1 cm. La puissance incidente est donc déposée à l'intérieur du corps indépendamment de la valeur de la conductivité des tissus, ce qui explique que les valeurs seuils varient peu avec la fréquence. Selon le cas, le salarié peut être dans la zone de champ proche (dans ce cas, il faut respecter les deux valeurs limites pour E et H), soit dans la zone de champ lointain[8] (dans ce cas, il suffit que E ou H ou la puissance incidente soit conforme). L'ICNIRP a également abordé la question des phénomènes de résonances qui se produisent lorsqu'une dimension du corps est proche de la demi-longueur d'onde dans le vide. Des calculs montrent que l'énergie déposée peut augmenter de 40 %, mais que cette augmentation reste dans les marges de sécurité. Dans certaines configurations, en dessous de 110 MHz, lorsque le salarié est en contact avec la terre, des courants significatifs peuvent traverser ses membres. L'ICNIRP mentionne un niveau maximum de 100 mA.

- Dans la gamme de fréquence [2 GHz – 300 GHz], la longueur d'onde dans le vide varie entre 1 mm et 15 cm. Le champ a le plus souvent la forme d'une onde qui est partiellement réfléchie par la peau et partiellement transmise à travers la peau et totalement absorbée. Dans ces conditions, il est logique d'exprimer la limite en termes de puissance incidente maximum (50 W/m²).

Des courbes similaires existent pour les DAS_{10g}, applicables lorsque l'exposition ne concerne qu'une partie du corps, le but étant alors d'éviter des brûlures locales. Les champs associés sont 2,3 fois plus élevés, ce qui correspond à des puissances cinq fois plus fortes que pour les limites corps entier. Aux plus hautes fréquences, la courbe s'infléchit vers le bas pour être en conformité avec le flux de 100 W/m² absorbés.



↑ FIGURE 2
Niveaux de référence applicables en cas d'exposition professionnelle afin que le DAS corps entier ne dépasse pas la restriction de base correspondante de 0,4 W/kg.
Dans la figure du haut (2a), sont représentés les niveaux de référence pour le champ électrique (bleu) et l'excitation magnétique (rouge) moyennés dans le temps à ne pas dépasser au poste de travail en fonction de la fréquence. Sont également représentées en pointillés, les valeurs de 170 V/m et 80 A/m qui définissent les niveaux de référence visant à se prémunir contre l'apparition des effets de stimulation des tissus excitables.
En bas (2b), est représentée la puissance maximum incidente utilisée comme restriction de base pour les hautes fréquences.

Moyens de prévention

La prévention des risques liés à l'exposition aux champs électromagnétiques repose sur les principes généraux de prévention. Le choix des solutions à mettre en œuvre dépend principalement du type de source et de l'organisation du poste de travail. En premier lieu, il convient de réduire l'émission de rayonnement à la source en remplaçant l'équipement par un autre qui ne génère pas de champs électromagnétiques ou qui émet des champs de plus faibles intensités. Il est également possible d'arrêter ou de réduire le niveau d'émission de la source lorsqu'un travailleur est amené à se trouver à proximité. D'autre part, l'achat d'équipements intégrant des dispositifs de protection à la conception tels que des blindages sont à privilégier.

Les champs électromagnétiques étant décroissants avec la distance par rapport à la source, l'éloignement permet de diminuer l'exposition.

Lors de la conception d'une installation, on veillera ainsi à implanter la source de façon à limiter au maximum l'exposition au poste de travail et aussi à éviter toute proximité inutile avec d'autres postes de travail, ainsi que les zones de circulation.

Afin de limiter les risques de dépassement d'une valeur réglementaire (valeur déclenchant l'action du Code du travail ou niveau de référence concernant l'exposition du public), il est nécessaire de délimiter les zones correspondantes par un marquage au sol ou à l'aide de barrières matérielles.

Si aucune mesure de protection collective n'est réalisable ou si leur efficacité n'est pas suffisante, il est nécessaire de recourir à un équipement de protection individuelle (EPI). Les EPI disponibles sur le marché permettent d'atténuer uniquement le champ électrique d'un facteur 5 à 10, selon le modèle et pour des fréquences comprises entre 80 MHz et 2000 MHz[9].

Enfin, une formation ou une information doit être dispensée à l'ensemble des travailleurs susceptibles d'être exposés à un risque lié à des champs électromagnétiques. Cette formation ou information doit être établie en lien avec les résultats de l'évaluation des risques et définir les moyens de prévention mis en œuvre.

→

LOCALISATION	GAMME DE FRÉQUENCE	ΔT°	MOYENNE SPATIALE	MOYENNE TEMPORELLE	NIVEAU EFFET SANTÉ	TRAVAILLEURS	POPULATION GÉNÉRALE
Corps entier	100 kHz - 300 GHz	1 °C	Corps entier	30 min	4 W/kg	0,4 W/kg	0,08 W/kg
Tête et tronc	100 kHz - 6 GHz	2 °C	10 g	6 min	20 W/kg	10 W/kg	2 W/kg
Membres	100 kHz - 6 GHz	5 °C	10 g	6 min	40 W/kg	20 W/kg	4 W/kg
Tête, tronc, membres	> 6 GHz - 300 GHz	5 °C	4 cm²	6 min	200 W/m²	100 W/m²	20 W/m²
	30 GHz - 300 GHz	5 °C	1 cm²	6 min	400 W/m²	200 W/m²	40 W/m²

↑ TABLEAU 2
Synthèse des différentes valeurs limites d'exposition et des considérations associées en fonction de la région anatomique à protéger.

Conclusion

L'établissement de valeurs limites d'exposition de l'homme aux champs électromagnétiques est un exercice complexe et fastidieux, qui repose sur une approche pluridisciplinaire (biologie, physiologie, physique…). Il s'appuie sur un état des connaissances, régulièrement remis à jour, issu d'analyses de la littérature scientifique, au regard des critères de qualité établis pour la conduite des études scientifiques. Sur certains sujets, il existe un consensus (propagation des ondes, effets thermiques ou sensoriels) alors que sur d'autres, la situation est plus contrastée.

Les valeurs limites d'exposition proposées dans les publications de l'ICNIRP ont été établies après analyse de la littérature scientifique par sa commission, et elles s'appuient sur les connaissances qu'elle juge faire consensus. Il convient de noter que, si les connaissances sur les effets sur la santé des ondes évoluaient, les méthodes mentionnées ci-dessus pour décrire le comportement des ondes resteraient en grande partie valables.

Le poids important des recommandations de l'ICNIRP dans l'établissement des prescriptions minimales de sécurité et de santé établies au niveau européen impose d'en prendre connaissance. En effet, l'appropriation de son contenu permet d'anticiper les éventuelles évolutions réglementaires à venir et d'intégrer les nouveaux éléments le plus en amont possible dans la démarche de prévention de ce risque. ●

1. Directive n° 2013/35/UE du Parlement européen et du Conseil du 26 juin 2013. Accessible sur : https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:179:0001:0021:FR:PDF.

2. Décret n° 2016-1074 du 3 août 2016 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux champs électromagnétiques. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000032974358/.

3. Recommandation du Conseil n° 1999/519/CE du 12 juillet 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz). Accessible sur : https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1999:199:0059:0070:FR:PDF.

4. Décret n° 2002-775 du 3 mai 2002 pris en application du 12° de l'article L. 32 du code des postes et télécommunications et relatif aux valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques émis par les équipements utilisés dans les réseaux de télécommunication ou par les installations radioélectriques. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr/loda/article_lc/LEGIARTI000006211918/.

5. Ces deux grandeurs sont liées par la relation $B = \mu H$ dans laquelle μ représente la perméabilité magnétique du matériau. Dans l'air, $\mu = 4\pi.10^{-7}$ $H.m^{-1}$ et 1 A/m correspond à environ 1,25 µT.

6. Ce phénomène est très visible lorsqu'on cherche à décongeler un plat trop vite. Certains ingrédients peuvent être brûlants alors que l'ensemble du plat est tiède.

7. Pour visualiser ces trois régimes, on peut faire une analogie (partielle) avec la houle au voisinage d'une côte rocheuse irrégulière. Loin de la côte la houle réfléchie par le rivage est bien formée ; près de la côte, la mer peut être agitée de manière bien plus irrégulière ; encore plus près, on peut être aspiré contre les rochers.

8. Un exemple de cas où l'on est dans une telle situation est celle de l'utilisation d'un téléphone portable, l'antenne étant proche du crâne.

9. Les EPI sont utilisés dans certaines conditions essentiellement par les personnes qui interviennent sur des installations équipées d'antennes qui ne peuvent pas être coupées pour des raisons de continuité de service (télévision, radio, sécurité aérienne…).

BIBLIOGRAPHIE

[1] INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION (ICNIRP) – Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 khz to 300 ghz). *Health Physics*, 118 (5), pp. 483–524. Accessible sur : www.icnirp.org/en/publications/article/rf-guidelines-2020.html

[2] AVIS DE L'ANSES – Rapport d'expertise collective « radiofréquences et santé 2013 ». Accessible sur : https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2011sa0150Ra.pdf

[3] ICNIRP – Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 hz – 100 khz). *Health Physics*, 2010, 99 (6), pp. 818-836.

[4] AUBRY C., SIANO B. *ET AL.* – Dossier : Travailler dans des ambiances thermiques chaudes ou froides : quelle prévention ? *Hygiène & sécurité du travail*, 2020, 259, DO 29, pp. 36-66. Accessible sur : www.hst.fr

CYCLE
DE CONFÉRENCES
SCIENTIFIQUES INRS

inrs
Institut National de Recherche et de Sécurité

Appel à communications

MUTATION RAPIDE DES PROCÉDÉS

Quels risques professionnels ? Quelles démarches de prévention ?

Espace Prouvé, Nancy, France

Appel à communications
Date limite de soumission des résumés :
15 octobre 2021

28.29.30 juin 2022

Inscription : www.inrs-procedesenmutation2022.fr
Contact : procedesenmutation2022@inrs.fr

miserezdesign

Étude de cas

FOYERS DE COVID-19 DANS LES ABATTOIRS EN 2020 : ÉTAT DES LIEUX ET PRECONISATIONS

MYRIAM BOUSLAMA, AÏDA BOUGHAMMOURA
INRS, département Expertise et conseil technique

→ LA PROBLÉMATIQUE : **Lors de la première vague de la pandémie de Covid-19 au printemps 2020 en France, comme dans d'autres pays d'Europe ou aux États-Unis, de nombreux foyers de contamination ont été observés dans les abattoirs/usines de transformation de la viande (notamment de volailles et de porcs).**

→ L'ANALYSE DES CARSAT ET DE L'INRS :
Une analyse des différents facteurs de risques professionnels a été réalisée, en collaboration avec les Carsat Pays de la Loire et Bretagne, afin de comprendre l'origine des contaminations et de renforcer les mesures de prévention dans ces établissements.

Point de la situation dans les abattoirs

Plusieurs foyers de contamination ont été investigués par les Carsat et les Agences régionales de santé (ARS). La stratégie de dépistage dans ces entreprises dès la fin du premier confinement a permis de détecter de nombreuses personnes contaminées, dont une partie était asymptomatique.

- **Abattoir de volailles en Vendée :** à la date du 26 mai 2020, 15 personnes ont été testées positives sur 675 personnes travaillant dans l'entreprise. Le taux de cas confirmés est conforme au taux observé en Vendée, département peu touché à la même période. L'ARS a écarté l'hypothèse d'une chaîne de transmission dans l'entreprise *(source : Carsat)*.
- **Abattoir de porcs dans le Loiret :** à la date du 22 mai 2020, 56 personnes ont été testées positives sur 397 personnes travaillant dans l'entreprise. L'abattoir a été fermé par arrêté préfectoral jusqu'au 25 mai, puis a réouvert après réorganisation des postes de travail et des espaces collectifs *(source : ARS)*.
- **Abattoir de porcs dans les Côtes-d'Armor :** à la date du 25 mai 2020, 110 personnes ont été testées positives (dont 80 % présentaient des formes asymptomatiques) sur 1000 personnes travaillant dans l'entreprise. Elles exerçaient dans une zone circonscrite de l'entreprise : le secteur de la découpe et les ateliers de parage jambon et épaule. La poursuite de la production a été autorisée au vu des mesures sanitaires préexistantes. Néanmoins l'inspection du travail a demandé la mise en place de mesures complémentaires *(source : Carsat)*.
- **Abattoir de porcs en Mayenne :** à la date du 26 juin 2020, après que deux personnes travaillant à l'abattoir ont indiqué avoir été testées positives au Sars-CoV-2, 60 tests réalisés sur site ont permis d'identifier 28 personnes positives. Ces dernières ont été prises en charge et le travail d'identification des sujets contacts à risque et des chaînes de contamination a été engagé. L'activité du site a été interrompue jusqu'au 3 juillet *(source : ARS)*.

Point sur le mode de transmission de la Covid-19

Des études d'infections expérimentales sur les volailles et les porcs n'ont pas établi de sensibilité de ces espèces au Sars-CoV-2. Aucune transmission du Sars-CoV-2 à l'homme n'a été décrite jusqu'à présent à partir d'animaux de compagnie ou d'élevage domestique (bovins, ovins, porcs ou volailles), à l'exception des visons d'élevage [1]. Toutefois, le risque de constitution d'un réservoir animal existe, c'est pourquoi la possibilité d'une transmission zoonotique doit être surveillée.
En l'absence de masque, une personne infectée qui tousse, éternue ou parle émet des particules chargées de virus, dont les plus grosses se déposent par gravité sur les surfaces à proximité immédiate. Une personne saine peut alors s'infecter par contact direct avec la personne infectée

ou par l'intermédiaire des mains qui toucheraient des surfaces contaminées et seraient portées au niveau des muqueuses du visage [2, 3]. Le virus peut persister sur les surfaces et rester infectieux de quelques heures à plusieurs jours selon la nature du support, l'humidité, la température et la charge virale initiale. Il a ainsi été montré expérimentalement qu'il reste viable jusqu'à trois jours sur du plastique et de l'acier [4] et qu'il est très stable à 4 °C sur les surfaces (réduction de seulement : ≈ 0,7 x log de la charge virale au bout de quatorze jours) [5].

D'autre part, les plus petites particules émises par une personne infectée peuvent être entraînées à distance par l'air ambiant et y rester en suspension. Il a été montré que le virus peut survivre jusqu'à trois heures dans des aérosols produits expérimentalement [4]. Le virus peut ainsi s'accumuler dans l'air ambiant d'un espace confiné et conduire à une transmission par inhalation d'aérosols.

Plusieurs facteurs rendent la trajectoire et le temps de suspension des aérosols dans l'air très difficiles à déterminer :

- une température basse et une humidité élevée ont tendance à limiter l'évaporation des aérosols et gouttelettes, qui sédimentent alors plus rapidement [6] ;
- des flux d'air (ventilation, mouvements de machines…), générant un écoulement d'air autour des gouttelettes, favorisent leur évaporation et leur transformation en aérosols plus fins. Ces flux concourent également à disperser les aérosols [7] ;
- l'apport d'air neuf contribue à diluer les aérosols, donc leur concentration dans l'air ambiant.

Causes possibles des foyers de Covid-19

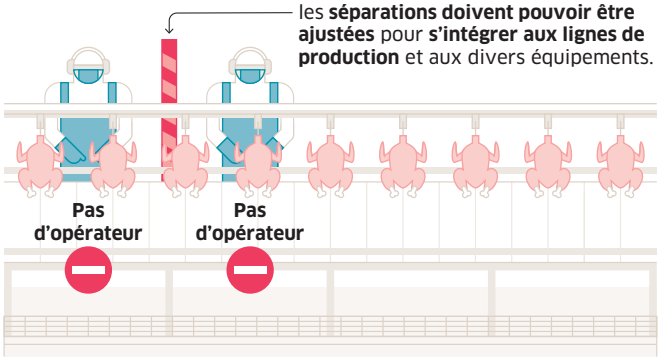
Des échanges avec les contrôleurs de Carsat accompagnant les abattoirs ont mis en évidence différents facteurs, spécifiques à l'activité, pouvant favoriser la propagation du SarS-CoV-2 :

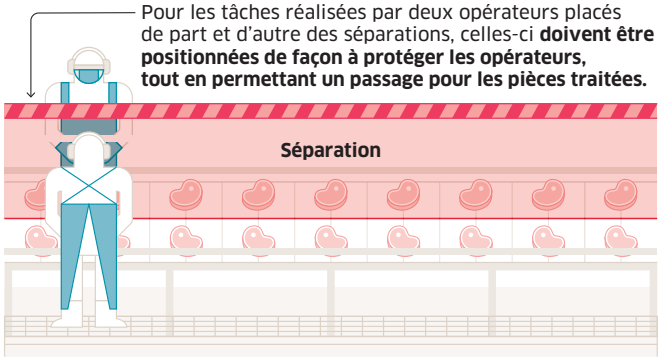
- la précarité de l'emploi de certains salariés peut générer des comportements à risque, comme travailler alors qu'ils sont malades, pour ne pas perdre leurs revenus (et/ou parce que la culture dans ces métiers est souvent de « tenir bon ») ;
- certaines opérations telles que le désossage et la découpe s'effectuent dans une ambiance froide (entre 6 °C et 12 °C) et humide, constituant un milieu particulièrement propice à la survie plus longue du virus sur les surfaces ;
- l'air des locaux est majoritairement recyclé (à 80 %) et les fenêtres ainsi que les portes ne sont pas ouvertes pour éviter l'entrée des rongeurs, or l'absence de renouvellement de l'air peut favoriser la transmission aérienne ;
- les abattoirs n'ont pas cessé leur activité pendant la période de confinement et les conditions de travail n'étaient pas optimales, en raison de l'absence de consignes claires à destination des abattoirs. Les mesures sanitaires de distanciation et d'isolement des postes de travail sur les lignes de production n'étaient pas mises en œuvre. Il s'agit d'un travail à la chaîne avec une succession de tâches spécifiques exécutées par des salariés en face-à-face ou côte-à-côte. Les cadences de travail n'ont pas diminué, voire ont augmenté en raison d'une demande élevée en début de confinement ;
- l'environnement de travail est bruyant, ce qui implique que les salariés haussent la voix, pratiquent une communication « à l'oreille » par rapprochement entre collègues, voire enlèvent leurs masques ;
- le nettoyage est effectué au jet d'eau à moyenne pression, ce qui peut remettre en suspension dans l'air ambiant les micro-organismes présents sur les surfaces (métalliques notamment) ;
- selon les établissements, les salariés portent des masques chirurgicaux, des masques alternatifs, voire des cache-cols. Le nettoyage des masques réutilisables est à la charge des salariés. Dans des ambiances froides et humides, la vapeur d'eau dégagée par la respiration entraîne une condensation rapide et une humidification du masque, entraînant un inconfort et une mauvaise adaptation du masque au visage ;
- les postes de travail sont pris et arrêtés simultanément, du fait de la dépendance des postes les uns par rapport aux autres sur la chaîne de production. Les salariés prennent leurs repas et leurs pauses ensemble sur leur lieu de travail et se changent ensemble dans des vestiaires souvent exigus. Faute de temps, les mesures barrières (respect de la distance physique, lavage des mains, changement des équipements de protection individuelle…) ne sont pas scrupuleusement appliquées lors des pauses. Le nettoyage des espaces collectifs n'est pas réalisé après utilisation ;
- certains salariés des abattoirs n'ayant pas le permis de conduire font du covoiturage sans respect des mesures barrières pour se rendre sur leur lieu de travail (zone rurale, sans moyen de transport en commun) ;
- une étude des *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC) américains montre que les conditions d'hébergement en communauté des travailleurs des abattoirs sont un facteur de risque [8]. Ce type d'hébergements partagés a également été observé dans les abattoirs allemands, où les travailleurs, majoritairement en contrats de prestation, viennent de pays de l'Est (Roumanie, Bulgarie, Hongrie). Cette caractéristique n'est pas notée en France, où le recours aux travailleurs étrangers saisonniers est moins important.

→

© Carsat Pays-de-la-Loire

© Carsat Pays-de-la-Loire





↑ **FIGURE 1**
Préconisations pour l'installation des postes en abattoirs dans un contexte de pandémie Covid-19.

Recommandations en matière de prévention Covid-19 à destination des abattoirs

Différentes mesures peuvent être mises en place dans les abattoirs.

Face à ces différents facteurs de risque, plusieurs recommandations ont été émises à destination des abattoirs pour prévenir les risques [9, 10] *(Cf. Figure 1)* et notamment :

- inciter les salariés ayant des symptômes évocateurs de la Covid-19 à ne pas se rendre au travail, notamment lors de points d'information mis en place par l'encadrement ;
- prévoir un protocole de prise en charge d'un salarié ressentant des symptômes de la Covid-19 et un local permettant de l'isoler sur le lieu de travail ;
- augmenter l'apport d'air neuf dans les locaux. Dans le cadre de la pandémie de Covid-19, la Carsat Bretagne a recommandé un apport d'air neuf de 30 % minimum. Par ailleurs, il est déjà recommandé, pour la prévention des risques biologiques dans la filière viande, de proscrire le recyclage de l'air dans les zones à risques biologiques, telles que la réception des animaux, l'abattage, l'éviscération, la boyauderie… [11] ;
- réorienter ou supprimer les ventilateurs afin d'empêcher l'air de souffler directement d'un employé vers un autre ;
- adapter les postes de travail sur la chaîne de production :
  - organiser les postes de travail de manière à respecter une distance supérieure à un mètre entre les salariés, en évitant le face-à-face ;
  - lorsque les salariés sont à une distance inférieure à un mètre les uns des autres, placer des écrans de protection (dépassant la hauteur du visage) entre chaque personne ;
  - éviter dans la mesure du possible de partager les outils et équipements (notamment les fusils d'affûtage) ;
  - diminuer la cadence de travail pour permettre notamment de nettoyer les matériels communs utilisés en cours de production ;
- proscrire les communications « à l'oreille » entre collègues, développer de nouveaux modes de communication (par gestes ou par écrit) ;
- mettre à disposition, à proximité des postes de travail, des moyens de lavage des mains sans contact manuel. S'assurer de l'approvisionnement en savon liquide, essuie-main en papier jetable, gel hydroalcoolique… ;
- nettoyer les surfaces contaminées avec un produit contenant un tensioactif puis les désinfecter avec un produit virucide, répondant à la norme NF EN 14476, efficace sur les virus enveloppés, en respectant un plan de nettoyage précisant :
  - les surfaces à traiter : poignées de porte, interrupteurs, parois des écrans de protection, outils communs, pistolet d'abattage ou « matador », couteaux, fusils d'affûtage, etc.
  - la périodicité : aussi souvent que nécessaire et

au moins à chaque changement d'équipe ou fin de poste ;
- le mode opératoire : en respectant strictement les indications du fournisseur du produit (concentration, matériel d'application, technique d'application et temps de contact). Le nettoyage des surfaces à jet d'eau haute pression est à proscrire ;
- fournir des masques adaptés au travail à réaliser. En particulier, les environnements humides peuvent nécessiter de remplacer les masques plus souvent. Dans les zones froides favorables à la survie des virus, le port d'un masque FFP2 est recommandé. Dans ce cas, il est nécessaire de réaliser des essais d'ajustement pour choisir le modèle et la taille du masque, adaptés à la morphologie du visage de chaque personne [12]. A chaque mise en place du masque, en contrôler l'étanchéité au visage [13]. Une formation adéquate sur le port et le retrait des équipements de protection individuelle (EPI) est nécessaire afin d'éviter de se contaminer ;
- anticiper les risques liés à l'intervention de personnes extérieures en mettant en place des procédures écrites (marche en avant, flux entrant et sortant, distanciation physique…) ;
- décaler les heures d'entrée et de sortie des équipes des différents ateliers. Décaler et augmenter les temps de pause (prise en compte du lavage des mains et du changement d'EPI) ;
- dans les locaux de restauration et les vestiaires, respecter les mesures de distanciation en gérant les flux de personnes, en créant des entrées et sorties séparées. La surface des locaux doit être suffisamment étendue et le cas échéant il peut être nécessaire d' augmenter le nombre de locaux pour répartir les salariés (par exemple en ajoutant des locaux modulaires) ;
- sensibiliser et former les personnels aux risques Covid-19 et aux mesures de prévention, dans les différentes langues parlées ;
- respecter les mesures barrières lors du covoiturage (installation des postes en quinconce, port de masque par chaque personne, friction des mains au gel hydroalcoolique avant d'entrer et de sortir du véhicule, renouvellement de l'air dans l'habitacle par ouverture des fenêtres du véhicule toutes les quinze minutes…).

Conclusion

En conclusion, la combinaison des différents facteurs de risque spécifiques aux abattoirs implique de mettre en place une stratégie globale de prévention, ciblant les facteurs environnementaux, organisationnels et individuels. Aux États-Unis, une réduction significative de l'incidence de la Covid-19 a été observée dans huit établissements sur treize après avoir mis en place le port du masque (chirurgical ou en tissu) et l'installation de barrières physiques [14]. En France, un projet coordonné par l'Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation et du travail (Anses) et financé par l'Agence nationale de la recherche (ANR) a débuté en 2021 et permettra de caractériser la persistance du virus dans l'environnement et de modéliser la dynamique de circulation et de transmission du virus dans les ateliers, pour simuler l'efficacité des mesures de prévention. ●

Remerciements

Les auteures remercient Nicolas Pésigot (Carsat Pays-de-la-Loire) et Magaly Bozec (Carsat Bretagne) pour leur contribution à cet article.

BIBLIOGRAPHIE

[1] BRUGÈRE-PICOUX J., BUISSON Y., ANGOT J.L. – SARS-CoV-2 : sensibilité des espèces animales et risques en santé publique. Avis de l'Académie nationale de médecine et de l'Académie vétérinaire de France, novembre 2020.

[2] STOECKLIN S. B. *ET AL.* – First cases of coronavirus disease 2019 (COVID-19) in France: surveillance, investigations and control measures, January 2020. *Eurosurveillance,* 2020.

[3] GUAN W. *ET AL.* – Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 in China. *N Engl J Med,* 2020, 382, pp. 1708-1720.

[4] VAN DOREMALEN N. *ET AL.* – Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared With SARS-CoV-1. *N Engl J Med,* 2020, 382, pp. 1564-1567.

[5] CHIN A. W. H. *ET AL.* – Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. *Lancet Microbe,* 2020, 1(1) : e10.

[6] SWETAPROVO CHAUDHURI *ET AL.* – Modeling ambient temperature and relative humidity sensitivity of respiratory droplets and their role in Covid-19 outbreaks. *Pré-print Arxiv :* 2004.10929v3 [physics.flu-dyn], 2020. Accessible sur : https://arxiv.org/abs/2004.10929.

[7] TANG J.W. *ET AL.* – Factors involved in the aerosol transmission of infection and control of ventilation in healthcare premises. *J Hosp Infect,* 2006, 64 (2), pp. 100-114.

[8] COVID-19 AMONG WORKERS IN MEAT AND POULTRY PROCESSING FACILITIES – 19 States. *CDC Morbidity and Mortality Weekly Report,* avril 2020.

[9] MINISTÈRE DU TRAVAIL, DE L'EMPLOI ET DE L'INSERTION – *Points de vigilance sur les précautions à prendre dans les entreprises de transformations des viandes face à l'épidémie de Covid-19,* 22 février 2021.

[10] ASSURANCE MALADIE – RISQUES PROFESSIONNELS – *COVID-19. Travail dans un abattoir : les précautions à prendre;* août 2020.

[11] CARSAT DES PAYS-DE-LA-LOIRE ET BRETAGNE – *Recommandation régionale sur les risques biologiques dans les filières viandes.* 2016.

[12] INRS – *Protection respiratoire. Réaliser des essais d'ajustement.* ED 6273, 2016. Accessible sur : www.inrs.fr.

[13] INRS – *Bien ajuster son masque pour se protéger.* A 758, 2013. Accessible sur : www.inrs.fr.

[14] HERSTEIN J.J. *ET AL.* – Characteristics of SARS-CoV-2 among meat processing workers in Nebraska, USA, and effectiveness of risk mitigation measures. *Emerg Infect Dis.,* 2021, 27 (4), pp. 1032-1038.

Base Colchic

La base de données d'exposition professionnelle aux agents chimiques 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 agents chimiques.

PORTRAIT RÉTROSPECTIF DE L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE AU PERCHLOROÉTHYLÈNE EN FRANCE DE 1987 À 2019

Afin d'évaluer la tendance temporelle des expositions au perchloroéthylène dans l'air des lieux de travail, cet article dresse un portrait des valeurs renseignées dans la base Colchic entre 1987 et 2019 en France dans un panel de secteurs d'activité.

JEAN-FRANÇOIS SAUVÉ, GAUTIER MATER
INRS, département Métrologie des polluants

Contexte

Le perchloroéthylène, ou tétrachloroéthylène, est un hydrocarbure aliphatique chloré, utilisé notamment dans le nettoyage à sec, le dégraissage de métaux et comme intermédiaire dans l'industrie chimique. Bien qu'il ait été synthétisé pour la première fois au début du XIXe Siècle, ce n'est qu'une centaine d'années plus tard que s'amorce sa production à l'échelle industrielle [1]. À partir des années 1940, le perchloroéthylène devient plus largement utilisé comme solvant dans le nettoyage à sec, en tant que substitut au tétrachlorure de carbone, un solvant plus toxique [1]. Selon une enquête menée en 2005, le secteur des pressings grand public utilisait environ 94 % de la consommation totale de perchloroéthylène en France [2]. Outre le nettoyage à sec, le perchloroéthylène est également retrouvé dans le nettoyage et dégraissage de textiles lors de leur fabrication et de métaux, dans certains procédés d'imprimerie, comme la flexographie lors d'opérations de nettoyage, ainsi que dans quelques colles, aérosols, peintures et adhésifs [3, 4]. D'après les résultats de l'enquête Sumer 2010, 30 300 travailleurs français étaient exposés au perchloroéthylène en 2010, comparativement à 47 400 travailleurs pour l'enquête précédente réalisée en 2003 [5]. Cette tendance à la baisse semble s'être poursuivie, selon les analyses préliminaires de la plus récente enquête Sumer de 2017 [6].
L'exposition aiguë au perchloroéthlylène, c'est-à-dire de courte durée et à des concentrations atmosphériques élevées, à l'instar de celle à d'autres solvants chlorés, est associée à une dépression du système nerveux central et à des irritations

Un biais d'interprétation est susceptible d'être introduit lors de l'exploitation des bases de données nationales d'expositions professionnelles, 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.

© Philippe Castano pour l'INRS/2016

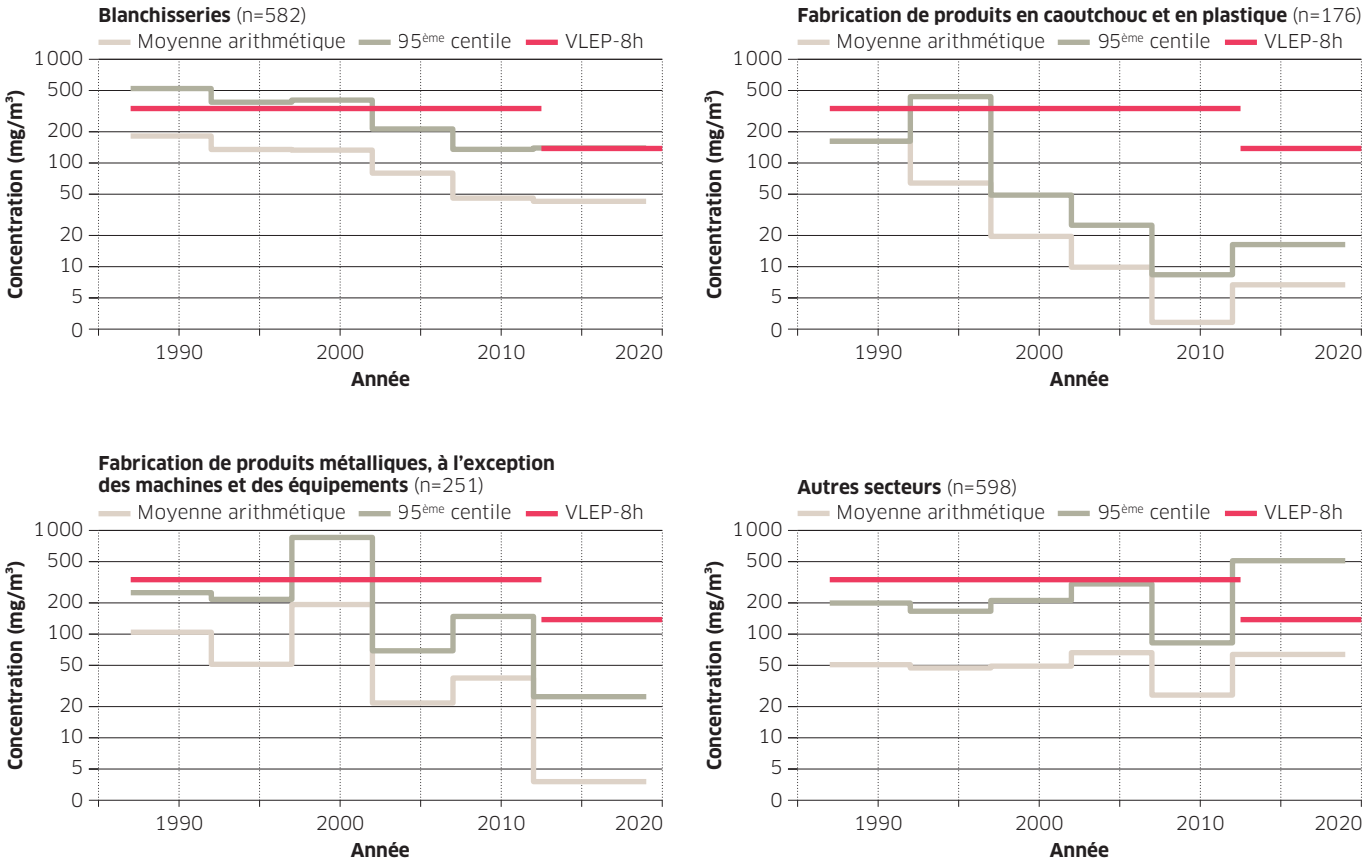
Entreprise de nettoyage désormais équipée pour l'aquanettoyage à la place du nettoyage à sec, qui impliquait l'utilisation de perchloroéthylène.

oculaires et respiratoires. L'exposition chronique est associée, quant à elle, à des atteintes neurologiques dont des difficultés de concentration, de mémoire et des altérations de l'humeur (syndrome psycho-organique). L'irritation oculaire, des atteintes respiratoires et gastro-intestinales, des troubles d'élocution et de la somnolence peuvent également survenir lors d'une exposition prolongée [7]. L'Agence européenne des produits chimiques (Echa) informe qu'une exposition de la peau au perchloroéthylène peut également provoquer une dermatite de contact, c'est-à-dire une réaction allergique cutanée[1].

Par ailleurs, le Centre international de recherche sur le cancer (Circ) considère le perchloroéthylène comme probablement cancérogène (groupe 2A) principalement sur la base des études chez l'animal, mais également sur des données limitées suggérant une augmentation du risque de cancer de la vessie chez l'humain [3]. Le perchloroéthylène est un des agents prioritaires pour une réévaluation de sa cancérogénicité par le Circ, sur la base de nouvelles données épidémiologiques montrant des risques de cancers de la vessie, des reins, et du système lympho-hématopoïétique depuis sa dernière évaluation en 2012 [8]. Le perchloroéthylène est également classé comme un cancérogène suspecté pour l'homme dans la réglementation CLP[2] (catégorie 2). Il peut aussi causer des troubles cardiaques aigus à type d'hyperexcitabilité ventriculaire ou supraventriculaire, qui figure dans le tableau n° 12 des maladies professionnelles (« Affections professionnelles provoquées par les hydrocarbures aliphatiques halogénés »), ainsi que certaines atteintes du système nerveux et atteintes cutanées, au même titre que d'autres solvants liquides, au sein du tableau n° 84 des maladies professionnelles[3].

Au plan réglementaire, le décret n° 2012-746 du 9 mai 2012[4] a fixé une valeur limite d'exposition professionnelle sur 8 heures (VLEP-8h) de

→



↑ **FIGURE 1**
L'évolution des moyennes arithmétiques et 95es centiles des concentrations en perchloroéthylène entre 1987 et 2019, par secteur d'activité, relativement à la VLEP-8h (par fenêtres de cinq années).

138 mg/m³, remplaçant la VLEP précédente de 335 mg/m³, et une VLEP court-terme (VLEP-CT) de 275 mg/m³ sur une durée de 15 minutes. Dans les deux cas, il s'agit de VLEP réglementaires contraignantes, qui sont entrées en vigueur le 1er juillet 2012. D'autre part, un arrêté[5] publié le 5 décembre 2012 interdit depuis 2013 l'installation de nouvelles machines de nettoyage à sec fonctionnant au perchloroéthylène et impose la substitution graduelle des machines existantes par des procédés de nettoyage fonctionnant à l'eau (aquanettoyage) ou par des solvants alternatifs, avec, comme objectif, l'élimination complète du perchloroéthylène au 1er janvier 2022. Afin de faciliter cette démarche de substitution, un programme a été mis en place par l'Assurance maladie – Risques professionnels, incluant entre autres la formation à l'aquanettoyage, la sensibilisation auprès des entreprises et la participation à un programme d'aide financière pour l'achat de matériel en remplacement des machines fonctionnant au perchloroéthylène [9]. Enfin, une fiche d'aide à la substitution du perchloroéthylène pour l'activité de nettoyage à sec permet d'aiguiller les entreprises concernées vers des procédés présentant de moindres risques pour la santé des travailleurs [10]. Afin d'évaluer l'évolution des niveaux d'exposition au perchloroéthylène parmi différents secteurs d'activité en France au fil du temps, cet article dresse un portrait des expositions renseignées dans la base Colchic entre 1987 et 2019. Les données exploitées concernent les mesures individuelles, prélevées pendant une durée comprise entre 60 et 480 minutes et en référence à la VLEP-8h actuelle, ou prélevées pendant une durée de 15 minutes ou moins, en référence à la VLEP-CT. Les valeurs dont la concentration était sous la limite de quantification (LQ) ont été remplacées par LQ/2.

État des lieux des données dans Colchic

Un total de 1 701 mesures a été identifié dans Colchic sur la période 1987-2019, dont 94 mesures de courte durée (6 %). Le nombre de mesures par année varie de sept (en 1987 et 2019) à 127 (en 2006), avec une médiane de 47 mesures. Pour la période depuis la dernière mise à jour de la VLEP (de 2012 à 2019), 267 mesures étaient disponibles dont 65 mesures d'exposition de courte durée. La majorité des prélèvements a été réalisée à l'aide de tubes de charbon actif (58 % du total), le reste étant les prélèvements passifs par badge (42 %). Seulement 6 % des mesures effectuées pour comparer l'exposition à une VLEP-CT ont été réalisées à l'aide de prélèvements passifs et provenaient toutes d'une étude menée par l'INRS [11]. Les prélèvements concernaient principalement trois secteurs d'activité : les blanchisseries, la fabrication de produits métalliques (à l'exception des

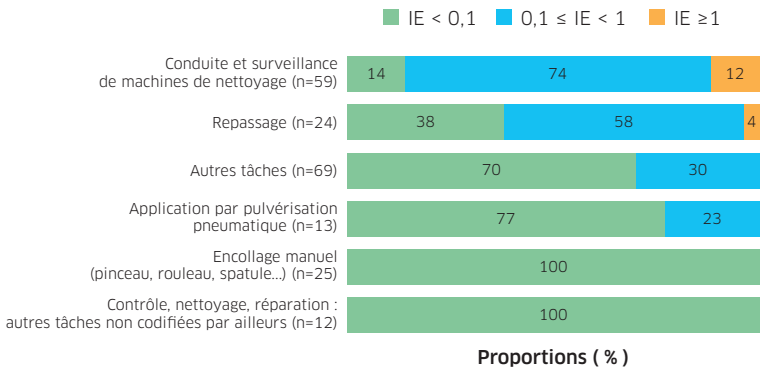
machines et des équipements) et la fabrication de produits en caoutchouc et en plastique.

Pour les mesures depuis 2002, année à laquelle les informations sur le type de procédé ont été introduites dans la base de données Colchic, on a pu prendre en compte ce paramètre. Il apparaît que 43 % des mesures étaient associées à un procédé clos mais ouvert régulièrement (par exemple lors d'opération de machines de nettoyage à sec ou de dégraissage chimique) ; et 40 % étaient associées à un procédé ouvert (par exemple, lors de tâches d'encollage manuel et d'application par pulvérisation). Le reste des mesures était distribué entre les procédés semi-ouverts (6 %), clos en permanence (1 %) ou non renseignés (10 %).

La *Figure 1* présente l'évolution temporelle des niveaux d'exposition (sur une durée de prélèvement supérieure ou égale à 60 minutes), regroupée par secteur d'activité, en considérant la moyenne arithmétique et le 95e centile par fenêtre de cinq ans, à l'exception de la période la plus récente (2012-2019). Une tendance temporelle globale à la baisse a été observée, avec une diminution de 6 % par année des concentrations moyennes sur l'ensemble de la période. Les tendances stratifiées par secteur étaient de 13 % par année pour la fabrication des produits métalliques ; de 10 % par année pour la fabrication de produits en caoutchouc et en plastique ; et de 6 % par année pour les blanchisseries – teintureries. Dans le cas du 95e centile des concentrations, le dépassement de la VLEP-8h était surtout observé pour le secteur des blanchisseries, avant le milieu des années 2000.

La *Figure 2* présente la distribution des indices d'exposition (ratio entre la concentration mesurée et la VLEP) par tâche pour la période 2012-2019. Les seuls dépassements de la VLEP-8h actuelle de 138 mg/m³ sont observés pour les tâches de conduite et surveillance de machines de nettoyage (sept mesures, soit 12 %), ainsi que pour le repassage (une mesure, soit 4 %). Entre 1987 et 2011, 179 mesures présentaient une concentration supérieure à 138 mg/m³, dont plus de la moitié (99 mesures) provenaient du secteur des blanchisseries. Parmi les autres secteurs identifiés sur cette période, apparaissent comme notables : la fabrication d'emballages métalliques légers (18 mesures), la construction aéronautique et spatiale (huit mesures), le découpage/emboutissage (six mesures) et les activités photographiques et hospitalières (cinq mesures chacune).

Concernant les mesures de courte durée, 15 mesures au total depuis 1987 (dont quatre depuis 2012) présentaient une concentration supérieure à la VLEP-CT actuelle, de 275 mg/m³. Toutes ces mesures étaient associées aux tâches de nettoyage, de la conduite et la surveillance de machines de nettoyage (14 mesures) et de rinçage et de lavage manuel ou automatique (une mesure).



↑ FIGURE 2
Distribution des indices d'exposition par tâche relativement à la VLEP-8h entre 2012 et 2019.

Discussion

Cette analyse a permis d'observer une baisse marquée des niveaux d'exposition au fil du temps, dans les trois principaux secteurs d'activité étudiés. Elle est cohérente avec les résultats d'une analyse précédente des niveaux d'exposition au perchloroéthylène issus de la base de données Colchic sur la période 2003-2010, pour laquelle une forte diminution des concentrations avait déjà été observée [12]. Dans le cas de la catégorie « autres secteurs », montrant une évolution stable voire à la hausse, l'interprétation des tendances n'est pas possible en raison de différences dans les secteurs présents d'une période à l'autre, ainsi que du très faible nombre de mesures disponibles par secteur. Au cours des dix dernières années, très peu de dépassements des VLEP ont été observés, et ceux-ci sont essentiellement circonscrits au secteur des blanchisseries. Les activités de prévention ciblant ce secteur, notamment pour les tâches de conduite et surveillance de machines de nettoyage et de repassage, devraient réduire et même éliminer les niveaux d'exposition à ce solvant. Depuis 2015, moins de 22 mesures par année visant à comparer l'exposition à une VLEP-8h sont disponibles, tous secteurs confondus, et même moins de dix mesures pour 2018 et 2019. Le faible nombre de mesures disponibles peut refléter la substitution du perchloroéthylène par d'autres solvants dans les blanchisseries et dans les autres milieux de travail où il était fréquemment utilisé historiquement. De même, il n'a pas été possible d'évaluer la part de l'évolution temporelle des niveaux d'exposition attribuable à des changements sur le type de procédé (par exemple, l'augmentation de procédés clos, ou la substitution du perchloroéthylène dans les produits associés à des tâches réalisées en procédés ouverts telles l'encollage de matières ou l'application de produits par pulvérisation) puisque cette information n'était pas disponible dans la base Colchic sur l'ensemble de la période.

D'autres approches complémentaires ou spécifiques à un objectif de mesurage existent pour étudier l'exposition d'un travailleur au perchloroéthylène *(Voir dossier « La mesure des expositions au risque chimique : techniques et outils », dans le même numéro)*. Des mesures de perchloroéthylène peuvent être réalisées par dosage urinaire (prélèvement en fin de poste et en fin de semaine) ou sanguin (prélèvement en début de poste et en fin de semaine) [13]. Comparativement aux prélèvements atmosphériques, ces mesures biologiques permettent de prendre en compte l'ensemble des voies d'exposition, bien que le potentiel de pénétration cutanée du perchloroéthylène soit faible. Le perchloroéthylène peut également être mesuré dans le condensat d'air exhalé [14, 15]. Cette technique permet de mesurer simultanément des biomarqueurs d'exposition et d'effets précoces de la substance au niveau pulmonaire, mais le prélèvement doit être réalisé immédiatement après la fin du poste de travail [16].

Finalement, le perchloroéthylène peut être prélevé sur les surfaces de travail, permettant ainsi de prendre en compte les expositions cutanées des travailleurs [17]. ●

1. ECHA – Tétrachloroéthylène. Accessible sur : https://echa.europa.eu/fr/substance-information/-/substanceinfo/100.004.388 .

2. Classification, labelling and packaging : *classification, étiquetage et emballage des substances chimiques, d'après le Règlement européen du même nom. Voir : ED 6207, INRS – Mémento du règlement CLP. Accessible sur : www.inrs.fr.*

3. Tableaux des maladies professionnelles. Accessible sur : www.inrs.fr/publications/bdd/mp.html.

4. Décret n° 2012-746 du 9 mai 2012 fixant des valeurs limites d'exposition professionnelle contraignantes pour certains agents chimiques. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000025836934.

5. Arrêté du 5 décembre 2012 modifiant l'arrêté du 31 août 2009 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique n° 2345, relative à l'utilisation de solvants pour le nettoyage à sec et le traitement des textiles ou des vêtements. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000026737424.

BIBLIOGRAPHIE

[1] DOHERTY R. E. – A history of the production and use of carbon tetrachloride, tetrachloroethylene, trichloroethylene and 1,1,1-trichloroethane in the United States: Part 1—Historical background; carbon tetrachloride and tetrachloroethylene. *Environmental Forensics,* 2000, 1(2), pp. 69-81. Accessible sur : www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1527592200900107

[2] INRS – *Inventaire CMR 2005.* 2021. Accessible sur : www.inrs.fr/publications/bdd/cmr.html

[3] CIRC – *Trichloroethylene, tetrachloroethylene, and some other chlorinated agents. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, volume 106.* Lyon, Centre international de recherche sur le cancer, 2014. Accessible sur : https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono106.pdf

[4] GOLD L.S., DE ROOS A.J., WATERS M., STEWART P. – Systematic literature review of uses and levels of occupational exposure to tetrachloroethylene. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene,* 2008, 5(12), pp. 807-839. Accessible sur : https://doi.org/10.1080/15459620802510866

[5] MINISTÈRE DU TRAVAIL, DE L'EMPLOI, DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE ET DU DIALOGUE SOCIAL – *Les expositions aux produits chimiques cancérogènes en 2010.* Dares Analyses, 2013. Accessible sur : https://dares.travail-emploi.gouv.fr/publications/les-expositions-aux-produits-chimiques-cancerogenes-en-2010

[6] MEMMI S., ROSANKIS E., SANDRET N. *ET AL.* – Premiers résultats de l'enquête Sumer 2017 : comment ont évolué les expositions des salariés aux risques professionnels sur les vingt dernières années ? *Références en santé au travail,* 2019, 159, pp. 53-78. Accessible sur : www.inrs.fr/media.html?refINRS=TF%20273

[7] INRS – *Tétrachloroéthylène. Fiche toxicologique n°29.* 2012. Accessible sur: www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_29

[8] CIRC – *Report of the Advisory Group to recommend priorities for the IARC Monographs during 2020–2024.* Lyon, Centre international de recherche sur le cancer, 2019. Accessible sur : https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2019/10/IARCMonographs-AGReport-Priorities_2020-2024.pdf

[9] HABERER M., CELESTIN C. – Programme « CMR » 2014-2017 de l'Assurance-maladie – Risques professionnels : Bilan global. *Hygiène & sécurité du travail,* 2019, 255, pp. 56-62. Accessible sur : www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2073

[10] INRS – *Perchloroéthylène. Nettoyage à sec. Fiche d'aide à la substitution de produit cancérogène.* 2019. Accessible sur : www.inrs.fr/media.html?refINRS=FAS%202

[11] LANGLOIS E., PELLETIER E. – Performance du prélèvement passif pour les polluants organiques volatils. *Hygiène & sécurité du travail,* 2020, 258, pp. 66-72. Accessible sur : www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2081

[12] BERTRAND N., CLERC F. – Panorama des expositions professionnelles à des composés organiques volatils entre 2003 et 2010. *Hygiène & sécurité du travail,* 2011, 225, pp. 31-44.

[13] INRS – *Base de données Biotox : Tétrachloroéthylène sanguin.* 2020. Accessible sur : www.inrs.fr/publications/bdd/biotox/dosage.html?refINRS=Dosage_253

[14] HEALTH AND SAFETY LABORATORY – *Interpretive data for breath tetrachloroethene.* Accessible sur : www.hsl.gov.uk/online-ordering/analytical-services-and-assays/biological-monitoring/breath-sampling-for-solvents/tetrachloroethene

[15] NIOSH – *Perchloroethylene (portable GC) 3704 in exhaled breath and air. Method 3704.* In: NIOSH Manual of analytical methods, 1998. Accessible sur : www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/3704.pdf

[16] ANSES – *Valeurs biologiques d'exposition en milieu professionnel: Le perchloroéthylène.* 2019. Accessible sur : www.anses.fr/fr/system/files/VSR2014SA0057Ra.pdf

[17] ESTEVE W. – *Protocole de mise au point des méthodes de prélèvement surfacique et d'analyse des substances chimiques sur les surfaces de travail.* In: Base de données MétroPol, 2019. Accessible sur : www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-analyse-validation-surfaces/metropol-analyse-validation-surfaces.pdf

Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles • 65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris . www.inrs.fr • Création graphique Zaoum . © INRS 2020 . AD 841

Découvrez nos supports sur les risques liés au travail par forte chaleur

Pour en savoir plus :
www.inrs.fr/chaleur

Institut National de Recherche et de Sécurité

Agenda & services

Congrès

Les biotechnologies. Quels secteurs ? Quels risques ? Quelle prévention ?
P. 73

Agenda/Congrès
P. 77

Participez à la recherche

L'INRS a besoin de vous
P. 79

Formation

Évolution des formations du secteur sanitaire et médico-social : Prap-2S et APS-ASD
P. 80

Agenda/Formations
P. 84

Sélection bibliographique

À lire, à voir
P. 86

Congrès

LES BIOTECHNOLOGIES. QUELS SECTEURS ? QUELS RISQUES ? QUELLE PRÉVENTION ?

Paris / à distance, 13 octobre 2020
Compte-rendu de la « Journée technique » organisée par l'INRS.

AÏDA BOUGHAMMOURA, MYRIAM BOUSLAMA, CHRISTINE DAVID
INRS, département Expertise et conseil technique

Le 13 octobre 2020, l'INRS a organisé une « Journée technique » sur les biotechnologies. Compte tenu du contexte sanitaire, l'événement initialement prévu en présentiel a été adapté, avec une douzaine d'interventions retransmises en ligne aux 250 participants et des temps d'échanges maintenus *via* un « tchat ». Cette journée, programmée avant la crise de la Covid-19, a fait écho à l'actualité avec une course contre la montre des entreprises de biotechnologies dans le monde pour développer des tests et des vaccins afin de lutter contre la Covid-19. Toutefois, les biotechnologies ne se cantonnent pas à la santé, mais se rencontrent dans de nombreux secteurs professionnels. L'objectif de cette journée était de dresser le panorama des secteurs concernés, de décrire les procédés biotechnologiques et leurs spécificités, en vue de mieux appréhender les risques professionnels, la démarche d'évaluation et les mesures de prévention mises en œuvre.

BIOTECHNOLOGY. WHAT SECTORS? WHAT RISKS? WHAT PREVENTION? –
On 13 October 2020, INRS held a technical day on biotechnology. Given the health context, the initially scheduled in-person event was adapted, with about a dozen presentations being webcast to 250 participants and a discussion session being held via a chat. This day, scheduled prior to the Covid-19 crisis, echoed current events with a race against time between biotechnology companies throughout the world to develop tests and vaccines to fight against the Covid-19 crisis. However, biotechnology is not limited to health, and concerns many professional sectors. The goal of this technical day was to highlight the sectors concerned, describe the biotechnological processes and their particularities, in order to better understand the occupational risks, the assessment approach and the prevention measures implemented.

Contexte et réglementation

Christine David (INRS) a défini les biotechnologies comme des technologies exploitant les propriétés des organismes vivants ou leurs composés (pigments, enzymes…) pour produire ou dégrader des molécules. Ces organismes peuvent être employés pour leurs propriétés naturelles ou être génétiquement modifiés. Les biotechnologies sont exploitées dans les secteurs de la santé (plus grande utilisatrice en France), l'agriculture/l'agroalimentaire, l'environnement et l'industrie chimique (chimie fine, cosmétologie…).
Procédés d'avenir, les biotechnologies nécessitent que tous les utilisateurs soient informés de la démarche d'évaluation et de prévention des risques spécifiques, notamment ceux liés à la construction d'organismes génétiquement modifiés (OGM) et à la →

© Claude Almodovar pour l'INRS/2016

Laboratoire de biotechnologie.

culture en masse de cellules dans des bioréacteurs. Il convient de s'appuyer sur le code du travail qui classe les agents biologiques en quatre groupes en fonction de l'importance de leur risque infectieux (art. R 4421-3 du Code du travail), ce qui définit ensuite le niveau de confinement (de 1 à 4) des salles techniques dans lesquelles ils sont manipulés.
Les OGM sont également classés en quatre groupes selon leurs risques croissants (art. D 532-2 du Code de l'environnement) et manipulés dans des salles dont les exigences de confinement (de C1 à C4) augmentent avec les risques.
La fabrication et l'usage d'OGM en milieu confiné se fait sous le contrôle du ministère en charge de l'enseignement supérieur et de la recherche qui s'appuie sur les avis du Haut conseil des biotechnologies (HCB), a ensuite expliqué le Pr **Jean-Christophe Pagès** (Comité scientifique du HCB). Toute entreprise ayant l'intention d'utiliser un OGM doit compléter un dossier sur l'application DUO (déclaration d'utilisation d'organismes génétiquement modifiés) du site du ministère. Ce dossier fournit des informations sur les risques et les mesures de prévention à chaque étape de la construction d'un OGM, en tenant compte de chaque élément qui le constitue (cellule donneuse et receveuse, insert, vecteur). Selon le groupe de risque de l'OGM, l'entreprise remplit soit une demande d'agrément (OGM des groupes II, III et IV) soit une déclaration d'utilisation (pour les OGM de groupe I, voire II si le laboratoire dispose déjà d'un agrément). Les experts du HCB évaluent les dossiers et donnent leurs avis au ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation qui accorde ou non les agréments.

Laboratoires de recherche et développement en biotechnologie

Émilie Lefèvre (Commissariat à l'énergie atomique, CEA) a illustré les risques associés à un dispositif de laboratoire automatisé (GM3), permettant de cultiver en continu des bactéries en suspension, tout en les soumettant à des régimes de culture sélectifs. Il s'agit d'un ensemble de bioréacteurs réalisant des cultures de micro-organismes en parallèle pour des études d'évolution dirigée[1]. L'analyse des risques biologiques et chimiques a mis en évidence l'utilisation de bactéries non pathogènes sauvages, d'OGM de groupe I et de soude 5M pour inactiver les bactéries. Différentes mesures de prévention supplémentaires ont été prises, comme : travailler dans une salle technique de niveau de confinement 2, porter des équipements de protection individuelle (EPI), inactiver chimiquement les déchets OGM, installer des douches de sécurité, des bacs de rétention et utiliser des produits neutralisants. La difficulté pour le préventeur a été d'appréhender les autres risques, notamment les troubles musculosquelettiques (TMS) liés à la manutention de contenants de milieux et de soude. Des mesures ont été prises pour y remédier, telles que l'adaptation des conditionnements, l'utilisation d'une table élévatrice et d'une paillasse surbaissée.
Le lien préventeur/chercheur est capital pour la maîtrise des risques qui sont évolutifs en laboratoire de recherche. Le préventeur doit être attentif et réactif pour aider les chercheurs sur leurs nouveaux projets, conserver leur confiance et les faire adhérer à la démarche de prévention pour obtenir une bonne observance des consignes de sécurité.

Jean Baudry (École supérieure de physique et de chimie industrielles, ESPCI) a partagé son expérience en laboratoire de recherche académique et en start-up de biotechnologies. En laboratoire de recherche, l'environnement est changeant, plusieurs risques (biologique, chimique, électrique, laser) sont généralement associés aux expérimentations, mais le personnel est très qualifié et il y a un soutien très fort de ses structures d'affiliation. À l'inverse, une start-up peut « concentrer » les facteurs de risque, parmi lesquels le niveau technologique élevé, la croissance très rapide, le développement de produits potentiellement à risques et la montée en volume (passage d'une échelle de recherche et développement à la production). Des mesures de prévention ont été mises en place grâce à la réflexion autour du document unique d'évaluation des risques (DUER), à l'accès aux ressources de l'INRS et à la formation en amont. L'incubation dans les locaux de l'ESPCI ou dans des incubateurs dédiés

permet une transition plus douce entre le laboratoire et l'autonomie complète. Les grands groupes industriels externalisent la R&D dans des petites structures telles que les start-ups, ce qui leur permet d'externaliser les risques scientifiques et financiers. Il faut être attentif à ne pas externaliser également les risques liés à la sécurité des personnels.

Marion Pasquier (Total) a présenté les activités de recherche en matière de production de biocarburants. Deux procédés biotechnologiques sont utilisés : la fermentation de sucres issus de plantes par des levures OGM et la production de molécules d'intérêt par des micro-algues. Le groupe Total a une grande expérience de gestion des risques, avec un cadre de référence « Maestro » (pour : *Management and Expectations Standards Toward Robust Operations)* intégrant la sécurité, la sûreté, la santé et l'environnement. Pour les laboratoires, un plan de biosécurité passe en revue l'ensemble des risques professionnels et les mesures de prévention. Les risques biologiques identifiés sont liés à l'utilisation de micro-organismes OGM pour la fermentation des sucres. Ces risques liés aux OGM sont évalués une fois par an par un comité externe d'experts. La production à grande échelle est réalisée en laboratoires de niveau de confinement 1.

Biotechnologies de la santé

Christelle Chaudron-Monier (Biomérieux) a expliqué comment la prévention des risques a pu être intégrée dans la mise en place très rapide de nouvelles chaînes de production de tests automatisés, permettant la détection d'anticorps anti-SARS-CoV-2. Leur fabrication requiert la modification génétique et la culture de bactéries et de cellules animales, et la purification de la protéine recombinante du virus SARS-CoV-2. Les risques ont été évalués pour chacune de ces étapes. Il apparaît que le risque de contamination par le virus lors de la manipulation d'un tube de plasma ou de sérum est très faible étant donné sa moindre présence dans ces liquides. Toutefois, les manipulations générant des aérosols sont effectuées sous poste de sécurité microbiologique (PSM) II, ce qui s'accompagne d'autres mesures comme le port d'EPI (gants, lunettes…), l'hygiène des mains, la décontamination des surfaces, sans oublier les autres dispositions concernant les risques chimiques, d'anoxie et de TMS.

Nathalie Holmes (Sanofi) a montré comment le site de Vitry-sur-Seine, produisant à l'origine des médicaments par voie chimique, s'est reconverti dans les biotechnologies pour produire des médicaments innovants : des anticorps monoclonaux. Une nouvelle expertise scientifique a été nécessaire pour évaluer et prévenir les risques de ce procédé comportant de nombreuses étapes : ensemencement, culture cellulaire en bioréacteur, récolte et purification. Les agents de production, formés aux biotechnologies, ont vu leurs conditions de travail évoluer (avec davantage de travail sur écran), les risques devenir moins visibles (confinement en bioréacteur) et différents : anoxie, équipements sous pression, brûlure, Atex[2], toxicité des anticorps/nanoparticules.

Biotechnologies dans l'agroalimentaire

Diane Bausson (Biospringer) a présenté les risques et mesures de prévention dans la production de levures et d'arômes alimentaires. La fermentation démarre en laboratoire pour se terminer dans des bioréacteurs d'environ 200 m^3. Les risques professionnels sont inhérents à une industrie agroalimentaire. La levure étant un agent biologique non pathogène, les risques biologiques ne sont pas liés à celle-ci, mais à l'utilisation de tours aéroréfrigérantes (TAR) potentiellement contaminées par des légionelles, ainsi qu'au contrôle qualité du produit. La mise en place de pare-gouttelettes, d'un protocole d'entretien, d'analyses de l'eau, la formation du personnel et le traitement de l'eau permettent de limiter le développement de légionnelles dans les TAR. Les analyses liées au contrôle qualité sont réalisées sous PSM dans des salles techniques dédiées.

Corinne Daffix (Carsat Auvergne) a présenté les risques encourus par les salariés exposés aux bioaérosols lors de la fabrication de saucisson. La fleur de saucisson est différente suivant le type de produit fabriqué. L'exposition à des bioaérosols peut provoquer des pneumopathies d'hypersensibilité, des rhinites et de l'asthme. Des réactions cutanées et ophtalmiques peuvent se manifester par contact. Les étapes les plus exposantes sont celles du brossage et du conditionnement (avec une apparition de pneumopathie d'hypersensibilité à partir de 106 UFC/m^3)[3]. Malgré l'absence de valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP), des actions de prévention peuvent être mises en place : utilisation d'une fleur moins émissive, captage à la source aux postes les plus émissifs, amélioration de la ventilation, vérification de l'étanchéité entre les ateliers, suppression du balayage à sec et de l'utilisation de la soufflette pour le nettoyage des postes, nettoyage régulier des surfaces (par une lingette imbibée de détergent), automatisation de certaines opérations, trempage des rosettes avant l'épluchage.

Biotechnologies dans l'environnement

Patricia Dirrenberger (INRS) et **Sébastien Triopon** (Carsat des Hauts-de-France) ont présenté une étude menée par l'INRS visant à mesurer les bioaérosols et l'ammoniac dans l'atmosphère de travail de six unités de méthanisation-compostage d'ordures ménagères. Ces mesures permettent de déterminer les zones les plus émissives et de suivre en temps réel

→

les niveaux d'exposition. Des expositions à l'ammoniac au-delà de la VLEP ont été constatées dans certains ateliers presse, notamment lors d'un bourrage, ou dans des halls de compostage. Les niveaux de bactéries mésophiles et thermophiles étaient importants notamment en zone compostage.
Le retour d'expérience mené par la Carsat sur un site a permis d'identifier d'autres sources d'exposition, dans la zone de réception (mise en suspension des matières déchargées et dispersion des polluants par un système de ventilation inadapté), dans le bâtiment de méthanisation (matières tombées au sol ou en circulation sur des convoyeurs, fuites dues à des joints dégradés), dans les cabines pressurisées des engins (portes laissées ouvertes), mais également dans les locaux sociaux.
Les axes d'amélioration ont porté sur le système de ventilation, le captage à la source, la maintenance des équipements pour éviter les fuites, le nettoyage régulier en évitant une remise en suspension, l'application de règles d'hygiène et l'information des salariés. L'accompagnement des services de prévention apporte un soutien important pour l'entreprise dans sa démarche d'amélioration des conditions de travail.

Jérémie Leplat (Biogénie) a présenté les techniques de biodépollution des sols. L'une d'elles consiste à regrouper les sols dans des biopiles, pour permettre aux bactéries de dégrader des polluants organiques par voie aérobie. Les bactéries endogènes peuvent être biostimulées (mises dans les conditions optimales pour leur croissance) ou bioaugmentées (culture et ensemencement de bactéries exogènes), pour traiter certains composés tels que les hydrocarbures. En condition anaérobie, des bactéries spécifiques peuvent traiter des composés chlorés. Les risques sont essentiellement liés aux polluants dans les sols (l'histoire du site donne une idée des produits utilisés et potentiellement présents dans les sols), aux produits utilisés (ammoniac, peroxyde d'hydrogène…) et aux opérations de chantier. La présence de bactéries pathogènes est rare. Les autres risques biologiques concernent la présence de nuisibles et d'insectes. Le DUER permet d'évaluer les risques sur chaque chantier et de proposer des mesures de protection collective pour le personnel et les personnes à proximité (zonage, protection des fouilles, barrière, bâchage, tente, brumisateurs) et de protection individuelle.

Prospective et conclusion

Chloé Evans (France Biotech) a présenté l'état de santé économique des entreprises de biotechnologies françaises. Plus de 50 % d'entre elles sont de très petites entreprises de moins de 10 salariés, alors que celles de plus de 100 salariés ne représentent que 5 %. Il y a en France une forte dynamique de création d'entreprises (deuxième derrière l'Allemagne et devant les États-Unis), grandes utilisatrices de technologies de rupture (robotique, intelligence artificielle, réalité virtuelle…).
Les entreprises de biotechnologies de la santé, deviennent plus matures et s'internationalisent, notamment grâce à la R&D (premier poste de dépense et 44 % des effectifs), à l'origine de brevets débouchant sur des applications touchant les besoins médicaux non satisfaits : le vieillissement de la population, les maladies chroniques, les maladies infectieuses émergentes, la résistance aux antibiotiques. D'ici à 2030, les biotechnologies françaises de la santé pourraient générer plus de 130 000 emplois et 40 milliards d'euros de chiffre d'affaires.
Cette journée a mis en évidence l'extrême diversité des applications biotechnologiques, a souligné **Séverine Brunet** (INRS). Les entreprises peuvent mettre en œuvre des procédés manuels artisanaux, aussi bien que des technologies de pointe entièrement automatisées. L'effervescence des start-up assure des innovations permanentes.
Le point commun à toutes ces entreprises est l'usage d'organismes vivants, dont il convient d'évaluer les risques, qui s'avèrent souvent réduits du fait de l'utilisation d'organismes non pathogènes. Toutefois, d'autres risques professionnels subsistent : chimiques, bruit, TMS…, sans oublier les risques psychosociaux liés au stress, particulièrement présent dans les plus petites structures (start-up, etc. : manque de personnel, de temps…) ou aux reconversions d'entreprises vers les biotechnologies.
La démarche d'évaluation des risques professionnels permet de guider et prioriser les mesures de prévention adaptées à chaque entreprise et chaque situation de travail. La rédaction du DUER permet d'ordonner les idées pour mettre en place le plan d'action. Les acteurs de la prévention (Carsat, Cramif, Services de santé au travail) ont toute légitimité pour accompagner les entreprises de biotechnologies dans le déploiement des démarches de prévention de tous les risques, en s'appuyant sur les ressources mises à disposition sur le site de l'INRS. ●

1. Procédé mimant l'évolution naturelle de façon accélérée et visant à améliorer, ou modifier, les propriétés d'une macromolécule (acide nucléique ou protéine).

2. Atex : Atmosphère explosive. Voir : www.inrs.fr/risques/explosion/ce-qu-il-faut-retenir.html.

3. UFC : Unité formant colonie.

POUR EN SAVOIR

• Vidéos des interventions de la Journée technique de l'INRS. Accessibles sur : www.youtube.com/playlist?list=PLqIw8IH6G3t0VL8foKUI_AOx0aeMDs3Wh.

• Dossier INRS Web – *Biotechnologies : des mesures de prévention adaptées à chaque application*. Accessible sur : www.inrs.fr.

AGENDA/CONGRÈS

EN RAISON DE LA PANDÉMIE DE COVID-19, CERTAINES DATES SONT SUSCEPTIBLES D'ÊTRE REPORTÉES OU ANNULÉES. VÉRIFIEZ AUPRÈS DE LEURS ORGANISATEURS QUE LES RENDEZ-VOUS PROGRAMMÉS SONT BIEN MAINTENUS AUX DATES INDIQUÉES.

6-9 JUILLET 2021, PARIS

21e Congrès international de psychologie du travail

Organisé sous l'égide de l'Association internationale de psychologie du travail en langue française (AIPTLF), le 21e Congrès international de psychologie du travail, qui se déroulera « en ligne », sera consacré aux impacts de changements et d'innovations au travail sur les personnes et les organisations.
Parmi les thèmes abordés :

- changements organisationnels et technologiques, digitalisation, transformations sociotechniques du travail ;
- sens, valeurs, efficacité au travail ;
- émotions et activités de travail ;
- sécurité, risques professionnels, pénibilité et santé au travail ;
- environnement de travail, espace de travail, poste de travail.

Renseignements – Inscriptions :
https://www.aiptlf2020.fr/inscription/fr/

19-23 SEPTEMBRE 2021, TORONTO (CANADA)

Festival international des films de prévention

Le Festival international des médias pour la prévention 2020 se tiendra à Toronto (Canada), du 19 au 22 septembre 2021. L'objectif de la manifestation est de proposer une vue d'ensemble des films et des productions multimédias sur la sécurité et la santé au travail. Elle est aussi l'occasion pour les participants de présenter leurs produits à des professionnels internationaux influents de la prévention des risques professionnels.
Les œuvres soumises par les participants sont évaluées par un jury international, dont l'INRS fait partie. Toutes les productions nominées et primées seront présentées dans le cadre du programme du Festival Cinéma qui se déroulera tout au long du 22e Congrès mondial sur la sécurité et la santé au travail.

Renseignements – Inscriptions :
https://mediainprevention.org/fr/

XXIIe Congrès mondial sur la sécurité et la santé au travail

Le Congrès mondial sur la sécurité et la santé au travail réunit les principaux acteurs internationaux impliqués dans la prévention des risques professionnels. En raison de la pandémie liée au Covid-19, la 22e édition de la manifestation a été reportée. Elle aura lieu à Toronto (Canada) du 19 au 22 septembre 2021. Coorganisée par l'AISS (Association internationale de sécurité sociale) et l'OIT (Organisation internationale du travail), à l'invitation de l'Institut pour le travail et la santé (IRTS) et du Centre

POUR EN SAVOIR

• *L'agenda complet des rencontres recensées par l'INRS est accessible sur :* www.inrs.fr/footer/agenda.html.

canadien d'hygiène et de sécurité au travail (CCHST), la manifestation rassemblera plus de 3000 experts, décideurs et acteur du domaine de la santé au travail.
L'objectif du congrès est de partager les idées, les bonnes pratiques et les résultats des travaux de recherche venant du monde entier, pour faire progresser la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

Renseignements – Inscriptions :
https://www.safety2021canada.com/

5 OCTOBRE 2021 (EN LIGNE)

Matinée de prospective : quelle formation à la santé et sécurité au travail en 2030 ?

Les technologies de l'information et de la communication (TIC) ont contribué à faire évoluer l'organisation et le contenu du travail depuis plusieurs décennies. Les conditions de travail et les risques professionnels ont été impactés.
Le rythme de ces changements tend à s'accélérer. Au niveau individuel, les carrières sont de plus en plus heurtées et imposent des remises à jour des connaissances en cours de carrière, notamment pour gérer les transitions professionnelles.
Les modalités d'apprentissage évoluent également et accordent de plus en plus de place à l'utilisation des TIC. Celles-ci se révèlent être des outils précieux dans un contexte où les entreprises cherchent à limiter les temps hors de l'entreprise et doivent pourtant envisager un enseignement sur la durée.
Face à ces nouveaux besoins et aux changements de pratiques, comment la formation à la santé et sécurité au travail doit elle évoluer dans les dix prochaines années ?
L'objet de cette matinée, proposée en ligne aux préventeurs d'entreprises et à tous les acteurs impliqués dans la formation en santé et la sécurité au travail, est de restituer un travail de prospective, conduit par des experts de ces sujets et les partenaires sociaux.

Renseignements – Inscriptions :
https://www.inrs-formationsst2030.fr/

7-8 OCTOBRE 2021, PARIS

11e Colloque international de psychodynamique et psychopathologie du travail

Le Colloque international aura lieu au Grand amphithéâtre de la Sorbonne à Paris.
Le thème de ce colloque sera consacré au « plaisir au travail ». Il s'agira, non seulement de présenter un bilan des connaissances sur le plaisir au travail, à partir des enquêtes de terrain et des recherches théoriques, mais aussi de soumettre à la discussion des questions du point de vue de la démarche clinique, de l'action sur l'organisation du travail, de la critique et de la théorie.

Renseignements – Inscriptions :
https://ipdt.fr/index.php/component/content/article/8-actualites/46-xieme-colloque-international-de-psychodynamique-et-psychopathologie-du-travail?Itemid=101.

12-15 OCTOBRE 2021, LYON

Pollutec

Le salon Pollutec est aujourd'hui reconnu comme l'événement de référence des professionnels de l'environnement, une vitrine des solutions environnementales pour l'industrie, les villes et territoires, et un tremplin pour les innovations du marché et le développement à l'international.
Avec plus de 400 conférences et animations, Pollutec propose un programme constitué de rencontres, d'ateliers et de démonstrations dédiés à l'actualité des secteurs de l'environnement et à la mise en relation entre professionnels.

Renseignements – Inscriptions :
https://www.pollutec.com/fr-fr.html.

EXPOSITION PROFESSIONNELLE AUX DIISOCYANATES : ÉTUDE DE BIOSURVEILLANCE DANS LE CADRE DU PROJET EUROPÉEN HBM4EU [1]

Votre entreprise…

- **utilise des mousses polyuréthanes (PU) dans le secteur de la construction (isolation…)**
- **utilise des produits de revêtement (peinture/vernis PU) pour la fabrication et la réparation de bateaux, avions, camions, autocars ; pour le finissage des sols et des chapes…**
- **utilise des colles à base de diisocyanates dans différents secteurs (ameublement…), des produits d'étanchéité (joints…)**

L'INRS a besoin de vous

pour déterminer les niveaux d'exposition aux diisocyanates sur la base d'un protocole d'étude harmonisé au niveau européen.

Quels sont les objectifs de cette étude ?

L'objectif de l'étude est d'améliorer les connaissances concernant les diisocyanates : 4,4'-méthylènediphényl diisocyanate (MDI), toluène diisocyanate (TDI) et diisocyanate d'hexaméthylène (HDI), qui sont à l'origine de sensibilisations cutanée et respiratoire, pouvant conduire à une dermatite allergique ou à de l'asthme. Par ailleurs, les métabolites du MDI et TDI sont classés mutagènes de catégorie 2 (effets suspectés) et cancérigènes de catégorie 1B (effets supposés sur l'humain). Des mesures de restriction de l'utilisation du MDI, du TDI et de l'HDI sont actuellement en discussion au niveau européen et il est prévu de fixer une valeur limite d'exposition professionnelle aux diisocyanates.

Cette étude consiste à :

- mesurer les biomarqueurs d'exposition dans l'urine et dans le sang ;
- caractériser l'exposition cutanée et atmosphérique pour les procédés les plus émissifs ;
- évaluer la pertinence du dosage de biomarqueurs de l'inflammation.

Comment se déroulera l'étude ?

La campagne d'évaluation des expositions en entreprise repose sur des prélèvements biologiques (urines et sang), cutanés et atmosphériques.
Une équipe de l'INRS interviendra durant une semaine de travail pour le recueil des échantillons. Un questionnaire sur les activités professionnelles et le mode de vie sera proposé à chaque participant volontaire.

→ *Les résultats de l'évaluation seront restitués anonymement à chaque entreprise participante qui pourra ainsi bénéficier d'un diagnostic personnalisé et de conseils de mesures de prévention.*

1. Davantage de détails sont disponibles sur le site : https://www.hbm4eu.eu/about hbm4eu/.

VOUS SOUHAITEZ PARTICIPER ?

Contactez Sophie Ndaw ou Radia Bousoumah
03 83 50 85 13 • sophie.ndaw@inrs.fr
03 83 50 20 00 • radia.bousoumah@inrs.fr
Laboratoire de Biométrologie
Département Toxicologie et Biométrologie
INRS, 1 rue du Morvan, CS60027, 54519
Vandœuvre-lès-Nancy Cedex

Formation

ÉVOLUTION DES FORMATIONS DU SECTEUR SANITAIRE ET MÉDICO-SOCIAL : PRAP-2S ET APS-ASD

Les formations Prap-2S (prévention des risques liés à l'activité physique dans le secteur sanitaire et médico-social) et APS-ASD (acteur prévention secours de l'aide et du soin à domicile) intègrent désormais une nouvelle approche pour accompagner la mobilité des personnes aidées.

DEVELOPMENT OF TRAINING IN THE HEALTH AND SOCIAL WELFARE SECTOR: PRAP-2S AND APS-ASD – ***Prap-2S training (prevention of risks related to physical activity in the health and social welfare sector) and APS-ASD training (injury prevention for home care and support workers) now include a new approach for facilitating the mobility of assisted persons.***

PHILIPPE CLAUDEL, PIERRE-YVES BRANQUART
INRS, département Formation

La forte prévalence des troubles musculosquelettiques (TMS) dans les activités d'aide et de soins à la personne a conduit le réseau Assurance maladie – Risques professionnels et l'INRS à faire évoluer certains de leurs dispositifs de formation, dont la mise en œuvre est confiée aux entreprises et organismes de formation habilités.

Ainsi, les formations d'acteur Prap-2S et APS-ASD, qui comprenaient jusqu'à présent des techniques de « manutention », intègrent désormais une nouvelle approche : l'« Accompagnement de la mobilité de la personne aidée, en prenant soin de l'autre et de soi », plus communément appelé ALM[1]. Il s'agit d'une démarche qui permet l'accompagnement d'un patient, d'un résident ou d'un bénéficiaire lors d'un déplacement (changer de position dans le lit pour recevoir un soin, se lever pour aller aux toilettes, s'asseoir pour prendre un repas…), sans réaliser de portage délétère pour la personne comme pour le professionnel.

En quoi consiste l'ALM ?

Issu de l'expérience conduite par le Groupe hospitalier Paris – Saint-Joseph (GHPSJ), l'ALM repose, d'une part, sur la connaissance des déplacements naturels (c'est-à-dire ceux adoptés par la majorité des individus, qui ne présentent pas de déficiences pour se déplacer) et, d'autre part, sur l'analyse systématique de la situation. Ainsi, avant et durant chaque accompagnement, il est nécessaire d'évaluer et de prendre en compte l'environnement, les capacités de la personne aidée (qui peuvent évoluer au cours de la journée) à prendre part à son déplacement ainsi que les risques pour la santé et la sécurité de l'accompagnant et de la personne aidée.

En fonction de chaque situation, l'accompagnement peut combiner une guidance verbale et non verbale, une assistance humaine sans portage délétère, ainsi que la mise en œuvre d'une aide technique (lève-personne, drap de glisse, verticalisateur…) compensant uniquement les capacités qui sont abolies.

Une telle démarche est bénéfique, non seulement pour la personne aidée (en lui permettant de préserver au maximum sa capacité à se mouvoir, ce qui participe au maintien de son autonomie et de son bien-être), mais également pour l'aidant ou le soignant (qui de ce fait, est moins exposé à des contraintes physiques portant atteinte à sa santé).

Il est essentiel que l'établissement intégrant cette démarche ALM procède au préalable à l'analyse de ses activités d'aide et de soin, afin de recenser les besoins potentiels des accompagnants et

© Philippe Claudel pour l'INRS/2021

Formation de stagiaires à la nouvelle démarche d'accompagnement de la mobilité des personnes aidées.

des personnes aidées et de lever les freins à la mise en œuvre de l'ALM (implantation et/ou mise à disposition effective des matériels, conception et/ou aménagement de l'environnement de travail…). Une démarche participative de prévention des risques professionnels (intégrant un projet de prévention des TMS) doit donc être préalablement engagée. L'Assurance maladie – Risques professionnels et l'INRS proposent par ailleurs des formations pour animateurs prévention et dirigeants aidant en ce sens.

Comment cela se traduit-il dans les formations ?

Au regard des enjeux, un domaine de compétences dédié à l'ALM ainsi que des épreuves certificatives spécifiques ont été créés dans les différentes formations (d'acteur, de formateur et de formateur de formateurs).

Dans les formations d'acteur, qui restent centrées sur l'analyse de situations de travail et la remontée d'informations (des acteurs Prap-2S et des APS-ASD vers les personnes préalablement désignées : comité de pilotage, préventeurs…, sur les besoins identifiés et les pistes d'amélioration envisagées), il s'agit notamment de faire prendre conscience aux stagiaires de l'intérêt de la démarche et de la nécessité de changer certaines habitudes. Il est préférable par exemple d'entendre : « *Vous allez vous remonter dans le lit, je vais vous accompagner* », plutôt que : « *Je vais vous remonter dans le lit* ».

Une part importante de la formation est consacrée aux déplacements naturels qu'il est indispensable de bien connaître, en particulier pour identifier les capacités nécessaires pour les effectuer.

Au cours de la formation, de nombreuses mises en situation sont réalisées, afin de permettre aux stagiaires de les analyser et de proposer un accompagnement adapté à la mobilité, en tenant compte notamment des capacités de la personne, étant entendu que chaque situation est singulière.

DISPOSITIF	PUBLIC	DURÉE DES FORMATIONS INITIALES (EN JOURS)	DURÉE DES MAC (EN JOURS)
PRAP-2S	Acteur	4	2
	Formateur	14	4
	Formateur de formateurs	14	4
APS-ASD	Acteur	4,5	2
	Formateur	8	3
	Formateur de formateurs	9	3,5

↑ **TABLEAU 1** Les nouvelles durées des formations.

DISPOSITIF	PUBLIC	ÉCHÉANCE POUR SUIVRE LA FORMATION COMPLÉMENTAIRE	DURÉE DES FORMATIONS COMPLÉMENTAIRES (EN JOURS)
PRAP-2S	Acteur	31/12/2022	2
	Formateur	31/12/2022	4
	Formateur de formateurs	31/12/2021	5
APS-ASD	Acteur	31/12/2022	4
	Formateur	31/12/2022	4
	Formateur de formateurs	31/12/2021	5

↑ **TABLEAU 2** Les formations complémentaires relatives à l'ALM.

Il convient de ne pallier que les capacités abolies, le cas échéant en utilisant une aide technique.

L'acquisition de nouvelles compétences

Pour permettre aux personnes déjà formées Prap-2S ou APS-ASD (acteurs, formateurs et formateurs de formateurs) d'acquérir les nouvelles compétences liées à l'ALM, des formations complémentaires valant « Mac » (recyclage)[2] sont organisées. Celles-ci permettent aux acteurs Prap-2S et APS-ASD déjà certifiés de mettre en place la démarche ALM au sein de leur établissement et aux formateurs et formateurs de formateurs de mettre en œuvre, chacun à son niveau, les diverses formations intégrant l'ALM :

- formations complémentaires ;
- nouvelles formations initiales ;
- à terme, nouveaux « Mac ».

Depuis le 1er janvier 2021, au fur et à mesure que ces derniers sont formés, que ce soit dans le cadre d'une formation complémentaire ou d'une formation initiale, les formations intégrant l'ALM se déploient.

Ainsi, les nouvelles formations et les formations complémentaires vont coexister un certain temps avec les anciennes. Toutefois, à compter du 1er janvier 2022, les formations de formateur devront être conformes aux nouveaux référentiels, et à compter du 1er janvier 2023, il en sera de même pour celles d'acteur.

Depuis le début de cette année, plusieurs dizaines de formateurs de formateurs ont déjà été formés et ont commencé à mettre en œuvre des formations de formateur et d'acteur intégrant l'ALM. Le nombre de personnes formées va monter en puissance au fur et à mesure du temps.

Quant aux habilitations déjà obtenues par les organismes de formation et les établissements habilités, elles demeurent valables jusqu'à leur date d'échéance prévue. Les nouvelles demandes d'habilitation et de renouvellement pour mettre en place des formations Prap-2S ou APS-ASD devront être effectuées sur la base des documents de référence de janvier 2021, au plus tard le 1er janvier 2022.

1. Voir : Pour en savoir plus – La prévention des TMS centrée sur le soin.

2. Les « Mac » sont des formations de « Maintien et actualisation des compétences », permettant de renouveler la certification déjà détenue, tous les 24 ou 36 mois selon les cas.

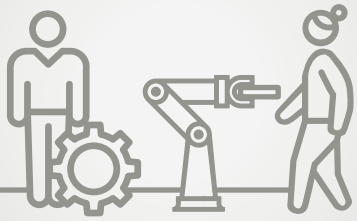
POUR EN SAVOIR

- INRS – *La démarche ALM - Accompagner la mobilité.* Dépliant ED 6415. Accessible sur : www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206415
- GAYET C. – La prévention des TMS centrée sur le soin. Accessible sur : www.inrs.fr/media.html?refINRS=DC%2026
- Les dispositifs démultipliés. Accessible sur : www.inrs.fr/services/formation/demultiplication

MATINÉE DE PROSPECTIVE INRS

5 octobre 2021

QUELLE FORMATION À LA SANTÉ ET SÉCURITÉ AU TRAVAIL EN 2030 ?



INSCRIPTION :
www.inrs-formationsst2030.fr

CONTACT :
formationsst2030@inrs.fr

Important : uniquement diffusé sur internet

Comment doit évoluer la formation à la santé & sécurité au travail dans les dix prochaines années pour répondre au mieux aux enjeux de transformation du travail ? Quels sont les défis des prochaines années ?
L'INRS a animé une démarche de prospective impliquant experts issus de divers organismes et partenaires sociaux pour tenter de répondre à cette question. Ces travaux seront restitués lors de cette matinée de la prospective INRS en ligne. L'objectif est de proposer aux acteurs concernés un diagnostic de la situation et des chantiers d'avenir, pour adapter le levier de prévention que constitue la formation à la santé & sécurité au travail.

miserezdesign

AGENDA / FORMATIONS

**COMPTE TENU DE L'ÉVOLUTION DE L'ÉPIDÉMIE DE COVID-19,
CERTAINES DATES SONT SUSCEPTIBLES D'ÊTRE MODIFIÉES.
VÉRIFIEZ AUPRÈS DE L'INRS QUE LES RENDEZ-VOUS PROGRAMMÉS SONT BIEN MAINTENUS.**

Évaluer et prévenir les risques liés aux champs électromagnétiques (JA0530)

Une session :
du 12/10/2021 au 14/10/2021

➔PUBLIC
Acteurs des services de santé au travail (infirmiers et intervenants en prévention des risques professionnels), fonctionnels « sécurité et santé au travail », ingénieurs et techniciens de bureaux d'études et méthodes.

➔OBJECTIFS
Mener une démarche de prévention des risques liés aux champs électromagnétiques (CEM).
Objectifs pédagogiques :
- Acquérir et/ou actualiser les connaissances sur les champs électromagnétiques.
- Mettre en place une démarche d'évaluation des risques liés aux champs électromagnétiques.
- Proposer des mesures de prévention et accompagner leur mise en œuvre en entreprise.

➔CONTENU
- Généralités sur les champs électromagnétiques : spectre de rayonnement, grandeurs et unités de mesure.
- Panorama des sources en milieu professionnel.
- Effets avérés sur la santé : synthèse.
- Contexte réglementaire.
- Démarche de prévention : méthodologie d'évaluation, approches des situations exposant aux CEM en entreprise, interprétation des résultats, mesures de prévention.

➔RENSEIGNEMENTS PRATIQUES
Durée : 3 jours
Lieu : Vandœuvre-Lès-Nancy
Responsable pédagogique : Amine Fatmi
Secrétariat, renseignements, inscriptions :
INRS, Département Formation
65, boulevard Richard-Lenoir
75011 Paris
E-mail : secretariat.forp@inrs.fr
Coût : 866 € nets (exonération de TVA)

Évaluer et améliorer l'ambiance lumineuse des lieux de travail (JA0531)

Une session :
du 15/11/2021 début d'après-midi au 18/11/2021

➔PUBLIC
Acteurs des services de santé au travail (infirmiers et intervenants en prévention des risques professionnels), fonctionnels « sécurité et santé au travail », ingénieurs et techniciens de bureaux d'études et méthodes.

➔OBJECTIFS
Apprécier la qualité de l'ambiance lumineuse au poste de travail et préconiser des mesures d'amélioration.
Objectifs pédagogiques :
- Intégrer les principes et connaissances appliqués à l'ambiance lumineuse et à sa perception en milieu professionnel.
- Évaluer la qualité d'un éclairage des lieux de travail.
- Proposer des mesures d'amélioration.

➔CONTENU
- Lumière et éclairage : notions de physique, grandeurs et unités ; les sources de lumière : éclairage naturel et artificiel.
- Éclairage et luminaires : rôles, caractéristiques et applications.
- Contexte réglementaire.
- Méthodologie d'évaluation de l'ambiance lumineuse au poste de travail : méthodologie d'intervention en entreprise, métrologie (place et limites) ; préconisations d'aménagement de l'éclairage des postes de travail.

➔RENSEIGNEMENTS PRATIQUES
Durée : 3 jours
Lieu : Vandœuvre-Lès-Nancy
Responsable pédagogique : Amine Fatmi
Secrétariat, renseignements, inscriptions :
INRS, Département Formation
65, boulevard Richard-Lenoir
75011 Paris
E-mail : secretariat.forp@inrs.fr
Coût : 1010 € nets (exonération de TVA)

Développer la fonction prévention en entreprise (JJ2331)

Une session en trois séquences :
• séquence 1 : du 27/09/2021 début d'après-midi au 01/10/2021 midi
• séquence 2 : du 18/10/2021 début d'après-midi au 22/10/2021 midi
• séquence 3 : du 15/11/2021 début d'après-midi au 19/11/2021 midi

➔PUBLIC
Préventeurs d'entreprise (ingénieurs, techniciens, animateurs) prioritairement, qu'ils soient récemment affectés à ces missions ou souhaitent, après quelques années d'expérience, consolider ou actualiser leurs connaissances. Le stage peut être ouvert à d'autres publics (médecins du travail, infirmiers d'entreprise), membres d'une instance représentative du personnel (commission santé, sécurité et conditions de travail…) souhaitant développer leur relation de travail avec les préventeurs d'entreprise.

➔OBJECTIFS
Assumer de façon autonome la fonction de préventeur en entreprise en maîtrisant les connaissances et méthodes indispensables dans le domaine de la prévention des risques professionnels.
Remarque : ce stage constitue une formation généraliste. Il permet d'appréhender la fonction prévention en entreprise de façon globale, mais ne saurait se substituer à des formations plus techniques ou spécialisées sur des aspects particuliers de la prévention des risques professionnels. Ces aspects font l'objet de stages dédiés.
Objectifs pédagogiques :
- Se positionner comme préventeur dans son entreprise.
- Décrire les démarches et les méthodes nécessaires à cette fonction.
- Identifier le cadre réglementaire de la prévention des risques professionnels.

➔CONTENU
- Réglementation concernant la prévention des risques professionnels.
- Acteurs internes à l'entreprise et externes de la prévention des risques professionnels, et des organismes et institutions intervenant dans ce champ (pouvoirs publics et Sécurité sociale).
- Risques professionnels (aspects techniques et réglementaires) abordés notamment sous l'angle de la recherche documentaire, avec un focus sur le risque chimique et les risques psychosociaux.
- Démarches, méthodes et principes d'actions en prévention (principes généraux de prévention, évaluation des risques, méthode d'analyse des accidents, ergonomie, systèmes de management de la santé…).
- Enjeux sociaux et économiques de la prévention (coûts direct et indirect des accidents du travail et des maladies professionnelles).
- Place, rôle, statut et missions du préventeur et de la préventrice d'entreprise.

➔RENSEIGNEMENTS PRATIQUES
Durée : 12 jours (4 jours + 4 jours + 4 jours)
Lieu : Vandœuvre-Lès-Nancy
Responsable pédagogique : Guy Peissel-Cottenaz
Secrétariat, renseignements, inscriptions :
INRS, Département Formation
rue du Morvan, CS 60027
54519 Vandœuvre-Lès-Nancy Cedex
E-mail : secretariat.forl@inrs.fr
Coût : 3463 € nets (exonération de TVA).

© Fabrice Dimier pour l'INRS/2019

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 » (papier/Web) et « Vidéos / Films et animations ».

Environnement sonore en bureaux ouverts : évaluation de la gêne et démarche d'amélioration

INRS, 2021, coll. Démarche de prévention, ED 6402, 24 p. *(nouveauté).*

Comment évaluer la gêne sonore dans un bureau ouvert ? Comment faire un état des lieux du ressenti des salariés ? Comment intégrer l'activité des salariés à l'analyse de la situation ? Comment estimer la qualité acoustique d'un bureau ouvert ? Quelles solutions envisager ? Cette brochure présente une démarche progressive, de la simple observation de l'environnement de travail à une évaluation acoustique effectuée par un expert. À chaque étape de la démarche, des pistes de progrès sont proposées.

Prévention des expositions aux poussières lors du nettoyage des filtres à particules et catalyseurs de moteurs diesels

INRS, 2021, coll. Démarche de prévention, ED 6413, plaquette, 10 p. *(nouveauté).*

Ce document décrit les principales mesures de prévention permettant de limiter les expositions aux poussières lors des opérations de nettoyage des filtres à particules et des catalyseurs de moteurs diesels.

Les batteries au lithium. Connaître et prévenir les risques

INRS, 2021, coll. Démarche de prévention, ED 6407, 20 p.

Les batteries au lithium sont aujourd'hui omniprésentes dans le milieu professionnel, dans des applications mobiles (équipements électroniques portables, véhicules…) ou fixes (stockage d'énergie électrique…). Lors des phases de manipulation, de stockage, de transport, de collecte ou encore de tri, les salariés peuvent être exposés à des risques d'incendie ou d'explosion, mais aussi électriques ou chimiques. Ce guide liste ces différents risques et propose des mesures de prévention adaptées.

Collecte, tri et traitement des déchets : deux dépliants et un outil en ligne

INRS, 2021, ED 6390 et ED 6391, dépliants ; outil n° 77 *(nouveautés).*

Ces deux dépliants de sensibilisation, destinés aux TPE-PME, présentent les principaux risques professionnels liés aux secteurs de la collecte, du tri et du traitement des déchets. Ils rappellent également les principales situations à l'origine d'accidents du travail et les solutions de prévention.
Élaboré par l'INRS et l'Assurance maladie – Risques professionnels, l'outil en ligne permet aux entreprises de réaliser leur évaluation des risques et d'éditer un plan d'action.

Industries graphiques (TPE-PME) : dépliant et outil en ligne

INRS, 2021, ED 6388, dépliant ; outil n° 78 *(nouveautés).*

Ce dépliant de sensibilisation, destiné aux TPE-PME, présente les principaux risques professionnels liés aux secteurs des industries graphiques. Il rappelle également les principales situations à l'origine d'accidents du travail et les solutions de prévention incontournables. Élaboré par l'INRS et l'Assurance maladie – Risques professionnels, l'outil en ligne permet aux entreprises de réaliser leur évaluation des risques et d'éditer un plan d'action.

Transport sanitaire (TPE-PME) : un dépliant et un outil en ligne

INRS, 2021, ED 6379, dépliant ; outil n° 76 *(nouveautés).*

Ce dépliant de sensibilisation, destiné aux TPE-PME, présente les principaux risques liés à l'activité de transport sanitaire. Il rappelle également les principales situations à l'origine d'accidents du travail ainsi que les solutions de prévention incontournables pour passer à l'action. Élaboré par l'INRS et l'Assurance maladie – Risques professionnels, l'outil en ligne permet aux entreprises de réaliser leur évaluation des risques et d'éditer un plan d'action.

Mavimplant. Outil d'aide à la conception 3D des lieux de travail

INRS, 2021, outil en ligne n° 57 *(mise à jour ; Web uniquement).*

Cet outil aide les maîtres d'ouvrage occasionnels (TPE/PME) à implanter leurs futurs locaux de travail, lors d'une construction ou d'une rénovation. Disponible en libre d'accès, il permet de réaliser une maquette virtuelle, en trois dimensions, d'un local de travail. Il aide à définir le meilleur scénario d'implantation pour travailler dans de bonnes conditions, mais aussi à optimiser l'organisation du travail, suivre les évolutions techniques et réglementaires et améliorer la productivité. Mavimplant est aujourd'hui disponible pour quatre secteurs : la boulangerie – pâtisserie – glacerie ; l'entretien, la réparation automobile et la carrosserie industrielle ; la logistique ; et l'hôtellerie – restauration.

Mesures barrières au travail. Réunion, repas et pause, mesures générales

INRS, 2021, affiches A 844, A 845, A 846 *(mises à jour).*

Usage des ascenseurs en période de pandémie Covid-19

INRS, 2021, coll. Fiche pratique de sécurité, ED 150, plaquette, 3 p. *(nouveauté ; Web uniquement).*

Cette fiche détaille les mesures de prévention à suivre pour limiter la contamination par le virus Sars-CoV-2, responsable de la pandémie Covid-19, dans les cabines d'ascenseur.

Ventilation, chauffage et climatisation : quelles précautions prendre contre la Covid-19

INRS, 2021, coll. Fiche pratique de sécurité, ED 149, plaquette, 3 p. *(nouveauté ; Web uniquement).*

Cette fiche donne des recommandations d'utilisation des dispositifs de ventilation, de chauffage et de climatisation permettant de réduire les risques de transmission du virus Sars-CoV-2 dans des locaux tertiaires ou industriels.

Veille & prospective

Prospective
État de la veille
et de la prospective 2020
P. 89

Prospective

ÉTAT DE LA VEILLE ET DE LA PROSPECTIVE 2020

Cette quatrième édition de l'état de la veille pour l'année 2020 propose un panorama d'évolutions du monde du travail, pour actualiser des éléments précédemment évoqués et appréhender les situations de travail et leur impact sur la prévention des risques professionnels. Marquée par la pandémie de Covid-19, l'année a vu l'accentuation de certaines mutations organisationnelles ou certains processus amorcés antérieurement, que cet article propose de mieux cerner.

STATE OF HORIZON-SCANNING AND FORESIGHT 2020 – ***This fourth issue of the state of horizon scanning paints a picture of changes in the world of work, in order to update elements previously described and understand work situations and their impact on occupational risk prevention. Marked by the Covid-19 pandemic, the year has seen the intensification of certain organisational transformations and of certain processes started earlier, which this article aims to better apprehend.***

MICHEL HÉRY, MARC MALENFER
INRS, mission Veille et prospective

JENNIFER CLERTÉ
INRS, département Études, veille et assistance documentaires

Ce quatrième état de la veille de l'INRS a été rédigé dans la continuité des trois premières synthèses publiées dans la revue *Hygiène & sécurité du travail*. L'objectif de ces synthèses est d'illustrer certains scénarios de prospective[1] réalisés par l'INRS, pour explorer des futurs possibles et anticiper leurs répercussions pour la santé au travail. L'événement marquant de l'année 2020 est la pandémie de Covid-19. Dans le monde du travail, elle a d'abord mis en évidence une inégalité de situations d'exposition au risque de contamination entre les travailleurs que les tâches mettaient en contact potentiel direct avec le virus (soins, chaîne de la logistique, vente au détail, sécurité, métiers de la propreté, etc.) et ceux qui, confinés, pouvaient exercer leur activité à distance grâce à l'utilisation des nouvelles technologies ; cette inégalité venant souvent s'ajouter à celle des rémunérations. Elle a également accéléré des mutations amorcées en matière d'organisation du travail, liées quant à elles à l'utilisation de ces nouvelles technologies.

L'inégalité face au virus : les métiers au temps du corona[2]

Dans une étude publiée en avril 2020, portant sur la première période de confinement, France Stratégie a proposé une catégorisation des travailleurs face à la crise sanitaire :

- **les vulnérables de toujours** (4,2 millions de travailleurs), souvent précaires et dont l'activité ne peut s'exercer à distance, qui sont traditionnellement confrontés à des conditions de vie et de travail difficiles ;
- **les nouveaux vulnérables** (4,3 millions) qui ne peuvent plus exercer leur activité jugée non indispensable et impliquant un contact avec le public ; intermittents ou indépendants en proportions significatives, ils sont confrontés au futur incertain de leur activité ;
- **« les premières lignes »** (10,4 millions), dont les activités ont été essentielles pour le fonctionnement de la société ; dans la santé, l'éducation, la propreté, l'alimentaire et sa distribution et les professions régaliennes, ils sont en contact direct avec le public pour 75 % d'entre eux ;
- **les télétravailleurs** (3,9 millions) souvent des cadres qui, grâce aux nouvelles technologies, peuvent exercer leur métier à distance, et ont été confrontés à la difficulté de gérer vie professionnelle et vie privée ;
- **les travailleurs en inactivité partielle** (4 millions) qui n'ont généralement pas à craindre une perte d'emploi à court terme du fait de leur statut, mais

→

qui subissent un éloignement de la sphère professionnelle, ne pouvant exercer l'ensemble de leur activité en télétravail.

Il existe par ailleurs des disparités d'exposition au risque de contamination, en fonction du sexe et de la rémunération. Elles apparaissent clairement sur la représentation graphique suivante pour des catégories d'emploi à vulnérabilité économique faible *(Cf. Figure 1)*.

La crise sanitaire a accéléré les changements technologiques et les mutations du travail

Les géants du numérique, en particulier les « Gafam » (Google, Apple, Facebook, Amazon et Microsoft) et les « BATX » chinois (Baidu, Alibaba, Tencent et Xiaomi), apparaissent comme les grands gagnants de la crise sanitaire d'un point de vue économique. « *Nous avons vu l'équivalent de deux années de transformation numérique en deux mois* », s'est réjoui Satya Nadella, directeur général de Microsoft[3]. La capitalisation d'Amazon a dépassé les 1 000 milliards de dollars. Ces entreprises disposent de capacités d'investissement presque illimitées, qui leur permettent de tirer profit des innovations technologiques en finançant des travaux de recherche (notamment sur l'intelligence artificielle) ou en acquérant des concurrents aux travaux prometteurs. Les technologies proposées par ces entreprises sont promises à un bel avenir. Certaines permettent le travail à distance (messageries électroniques, *cloud,* visioconférences…) et le commerce en ligne (plateformes, référencement, données pour le ciblage marketing…). Elles ont transformé l'activité de millions de travailleurs, contribuant à son intensification et à sa fragmentation.

Leur influence s'exerce sur les travailleurs des plateformes, dont la crise a révélé la précarité du statut de micro-entrepreneurs. Ce dernier tend à se répandre : on a observé durant la crise le recours de la grande distribution à des plateformes de *jobbing,* dédiées aux métiers de la restauration, pour compléter leurs équipes[4]. Dans les entrepôts de la grande distribution et des entreprises de e-commerce, les technologies de l'information et de la communication (TIC) jouent également un rôle de plus en plus important. Les préparateurs de commandes n'y sont généralement pas des indépendants, mais leur travail est piloté par des outils informatiques qui affectent les tâches et contrôlent en permanence les objectifs de productivité individuels[5].

Le télétravail de masse va-t-il conduire à l'ubérisation des emplois de cadres ?

Le *crowdworking*[6] pourrait-il à l'avenir gagner d'autres emplois, notamment ceux occupés actuellement par des cadres des grandes entreprises ? Le confinement a eu un effet sur la banalisation du travail à distance. Le télétravail pour des millions de salariés a amené les entreprises à évoluer sur la question et à tester l'efficacité des solutions proposées par les entreprises du numérique. Elles ont également été confrontées aux difficultés du management à distance et de l'exercice de leurs obligations vis-à-vis de salariés travaillant chez eux[7].

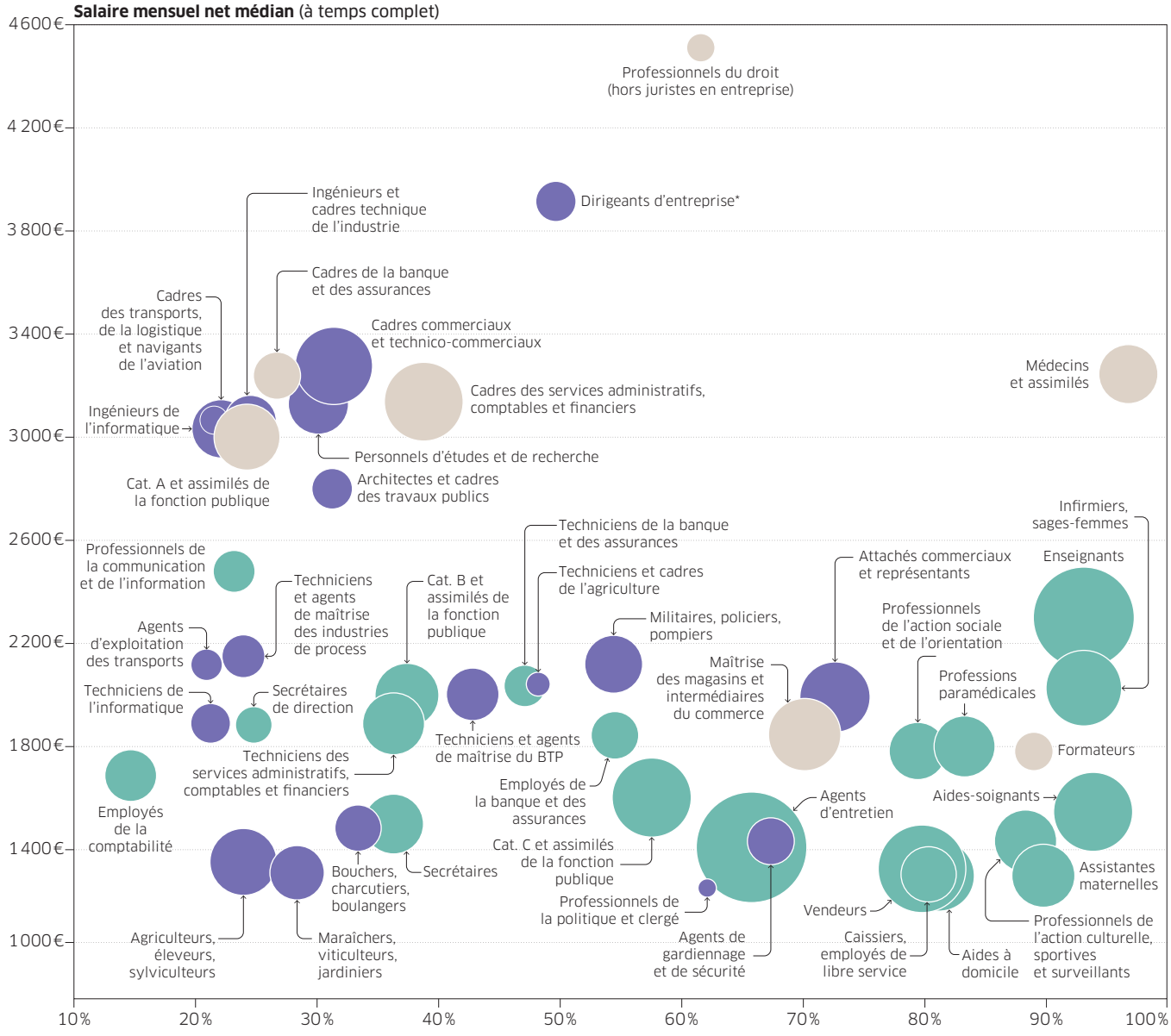
Pour certains analystes comme Xerfi[8], l'essor du travail à distance pourrait conduire à l'éclosion d'une économie de la prestation généralisée : une relation client – fournisseur se substituerait au contrat de travail. Cette tendance peut se traduire pour un certain nombre de cadres par l'adoption *volens nolens* du statut de travailleur indépendant. Le phénomène est significatif au Royaume-Uni où la part des « cols blancs » parmi ces derniers est passé de 33 % en 2010 à plus de 40 % en 2019, quand le nombre total des indépendants est passé de 1,2 à 1,9 millions sur la même période. En France, les statistiques montrent déjà une poussée relative du nombre d'indépendants dans les activités juridiques, comptables, de gestion, comme dans les activités scientifiques et techniques.

Au Royaume-Uni, ce phénomène s'accompagne d'une délocalisation de l'emploi des cols blancs. S'ils peuvent s'éloigner de quelques dizaines ou centaines de miles[9] de Londres (gagnant en qualité de vie et en pouvoir d'achat), rien n'empêche leurs employeurs de contracter avec des indépendants, à plusieurs milliers de kilomètres. Grâce au statut de *lingua franca* (langue universelle) acquis par l'anglais, nul n'est besoin de se limiter aux pays anglophones. Le *Daily Telegraph*[10] indique que quelques déplacements en train ou en avion peuvent largement être compensés par les économies en immobilier de bureau, dans un contexte où le nombre des déplacements professionnels pourrait être revu à la baisse, beaucoup de réunions basculant en visioconférences. Xerfi signale dans le même pays une baisse moyenne de 25 % de la rémunération des cols blancs devenus indépendants.

Il est trop tôt pour identifier des conséquences en matière de risques professionnels. Cependant, ces nouvelles façons de travailler peuvent produire un délitement des collectifs de travail, dans un contexte où la séparation entre vie privée et vie professionnelle devient plus difficile quand le travail collaboratif implique plusieurs fuseaux horaires. Une concurrence accrue au sein même des équipes virtuelles peut s'installer avec des mécanismes de régulation difficiles à gérer. Xerfi signale aussi des remises en cause de l'encadrement avec un rôle redéfini, possible victime d'une digitalisation du contrôle du travail effectué.

Vu du MIT : la protection sociale au cœur des débats sur le travail du futur

Lancée en 2018 à l'initiative du président du *Massachussets Institute of Technology (MIT)*[11],



*Pour le calcul du niveau de salaire, seuls les cadres d'état-major administratifs, financiers, commerciaux des grandes entreprises sont pris en compte.

Note : les métiers représentés sur ce graphique ont un score de vulnérabilité économique inférieur à la moyenne. La taille de la bulle est proportionnelle aux effectifs du métier. Le concept de salaire est déclaratif et mensuel net (y compris les primes). Il est donc calculé sur les seuls salariés, le revenu des indépendants n'étant pas renseigné dans la source mobilisée.
Champ : France entière (hors Mayotte), population en emploi.
Lecture : les aides-soignants, soit 693000 personnes, sont des femmes dans 91 % des cas, leur salaire mensuel net médian atteint 1 546 € net par mois et elles déclarent à 94 % être en contact avec le public.

une réflexion sur le travail de demain aux États-Unis a été rendue publique début novembre 2020 *(The work of the future: Building better jobs in an age of intelligent machines)*. Pendant deux ans et demi, l'ensemble des départements de l'institut a été associé à cette réflexion : mécanique, aéronautique, économie digitale, *Sloan School of Management*, sciences politiques ou anthropologie. L'opération bénéficiait de l'appui de deux comités scientifiques (rassemblant les grands noms de l'industrie mondiale, des politiques, des chercheurs et le président du syndicat américain AFL-CIO.

Le rapport réaffirme la conviction que l'automatisation, dont il prévoit qu'elle va s'accélérer dans les deux décennies à venir, ne conduira pas à une diminution de l'emploi, mais plutôt à une accélération des mutations des besoins de main-d'œuvre. Alors que déjà 60 % des emplois d'aujourd'hui sont apparus après 1940, il est probable que la tendance s'accentuera. Le rapport prévoit la poursuite du développement de l'intelligence artificielle (IA), mais sans

↑ FIGURE 1
Comparaison des catégories d'emploi en fonction du sexe et de la rémunération des travailleurs.
[Source : France Stratégie, à partir des enquêtes Emploi 2016-2018 (Insee) et de l'enquête Conditions de travail 2013 (Dares)].

© Émilie Seto pour l'INRS/2021

qu'elle façonne significativement les évolutions du travail dans la période considérée (jusqu'en 2040). Ce sont plutôt les développements des technologies de l'internet, de l'informatique mobile, du *cloud,* de la téléphonie mobile qui généreront les modifications du travail au quotidien, plus que ceux de l'IA ou de la robotique.

Le rapport constate aussi que la productivité a fortement augmenté depuis plusieurs décennies, mais surtout au profit du capital plutôt que du travail. Les travailleurs les moins qualifiés ont vu leur pouvoir d'achat baisser de façon importante. Cette tendance est observée depuis une quarantaine d'années. Les auteurs signalent également une forte polarisation de l'emploi entre les travailleurs les plus qualifiés et les moins qualifiés. Les effectifs de la catégorie intermédiaire ont baissé au cours des dernières décennies. La paupérisation des classes défavorisées va constituer un handicap pour le développement de l'économie aux États-Unis, car elle risque d'entraîner une pénurie de main-d'œuvre qualifiée. Les auteurs préconisent les mesures suivantes :

- favoriser la formation des travailleurs par une augmentation des ressources des programmes fédéraux en appui à l'acquisition de connaissances nécessaires aux inévitables réorientations de carrières et pour aider au développement des formations qualifiantes ;
- augmenter de 40 % le salaire minimum au niveau fédéral et indexer sa valeur sur l'inflation ; libéraliser l'accès à l'assurance chômage en particulier pour les travailleurs les moins qualifiés ; augmenter les droits sociaux des travailleurs à temps partiel ;
- renforcer la législation du travail en protégeant la syndicalisation des travailleurs pour favoriser la négociation collective ; l'adapter aux nouvelles règles d'organisation du marché du travail, en réformant le *National Labor Relation Act,* inchangé depuis 1935 et affaibli par un amendement plus récent ;
- favoriser l'innovation pour qu'elle profite à l'ensemble de la collectivité, en s'assurant que des développements considérés comme insuffisamment rentables mais profitables au bien public ne

soient abandonnés ou que des parties entières du pays soient oubliées ;
• rééquilibrer la fiscalité entre le capital et le travail.

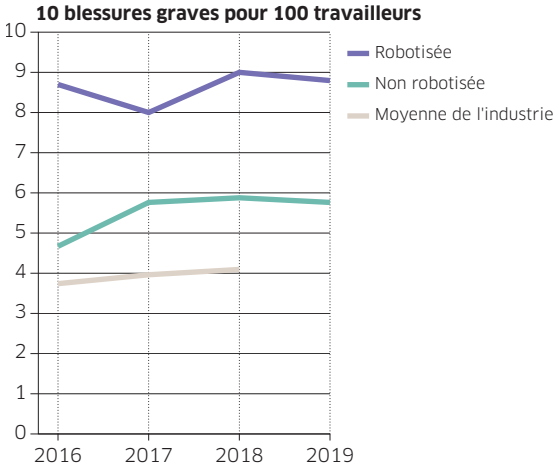
La grande majorité des mesures concernent directement les travailleurs et les relations au travail. Les auteurs confirment la capacité du secteur privé à développer l'innovation, mais s'inquiètent de sa volonté à investir dans des activités moins immédiatement rentables. Ils appellent l'État à corriger cette lacune.

Amazon : aux États-Unis, l'automatisation au détriment de la santé au travail

Le site d'information Reveal a eu accès aux chiffres de la sinistralité professionnelle des entrepôts de logistique d'Amazon aux États-Unis sur plusieurs années [12]. Ces chiffres montrent que l'entreprise a globalement des résultats médiocres par rapport à la profession dans ce pays : taux d'accidents avec blessures graves près du double de celui de ses confrères. En outre, il a tendance à augmenter fortement au cours du temps : +15 % entre 2016 et 2017, +13 % entre 2017 et 2018, pour une stabilisation à +1 % entre 2018 et 2019.

Une des raisons de cette augmentation semble liée à l'automatisation croissante de la production. En effet, le suivi des chiffres dans un entrepôt montre que le taux de jours d'arrêt résultant d'accidents et de maladies (par rapport au nombre de jours travaillés), pour reprendre les indices américains, y a quasiment triplé entre 2017 et 2019, période qui correspond à la mise en place d'une automatisation poussée. Le principal changement est lié au fait que, au lieu des travailleurs, ce sont les robots qui se déplacent dans l'atelier pour rassembler les différents éléments des commandes : le nombre de *pickings* (saisir et scanner l'objet avant de le mettre dans le carton d'envoi) est passé pour chaque opérateur de 100 à 400 par heure de travail. Il en résulte une intensification des sollicitations des membres supérieurs, provoquant notamment des troubles musculosquelettiques (TMS) et des accidents. Reveal a comparé en fonction du même indicateur la sinistralité entre les établissements Amazon fortement ou faiblement automatisés à ceux de ses confrères. Le taux de sinistralité des ateliers Amazon automatisés est de 50 % supérieur à celui de ceux qui le sont peu, lui-même supérieur de 50 % à celui des concurrents *(Cf. Figure 2)*.

L'engagement de l'entreprise en matière de prévention des risques professionnels semble subordonné à la satisfaction du client et donc à la productivité accrue à certaines périodes de hausse des ventes *(Black Friday,* fin d'année). Certaines mesures préventives comme la rotation des tâches sont alors abandonnées, et la journée de travail peut être allongée à 12 heures. Ces périodes voient l'arrivée de nombreux travailleurs temporaires, peu informés ou formés aux techniques de travail.



← **FIGURE 2**
Indicateurs de sinistralité en fonction de l'automatisation des établissements. *(Source : Reveal, analyse des données internes d'Amazon ; département du Travail des États-Unis).*

De nouvelles propositions pour la protection des travailleurs des plateformes

« *Le développement des plateformes numériques de travail [étant] un phénomène de société, qui peut être porteur de formidables espoirs en matière d'emploi et de progrès social, mais aussi vecteur de nouvelles précarités au travail* » : le Conseil national du numérique (CNNum) s'est saisi du sujet du travail à l'ère des plateformes [13]. Il a formulé plusieurs recommandations pour corriger les déséquilibres liés au statut d'indépendant de ces travailleurs. Il plaide pour une régulation du fonctionnement des plateformes permettant de rétablir des conditions d'équité.

Parmi les recommandations émises, on peut noter :
• donner aux travailleurs des plateformes des conditions de travail égales à celles des salariés par des accords de branche établissant un tarif minimum pour le travail de ces indépendants, après suppression des obstacles légaux ;
• créer une obligation de rémunération horokilométrique, sur le modèle des taxis, à titre transitoire pour les VTC et pour les plateformes de livraison ; créer une obligation de revenir au système de tarification horaire, à titre expérimental ; tout cela avant négociation entre les partenaires sociaux, inscrite dans un accord de branche.

Le rapport fait le constat que « *l'intermédiation numérique, si elle permet une agilité et une réactivité sans précédent, est aussi à l'origine de souffrances inédites au travail* ». Il préconise donc l'application de la quatrième partie du Code du travail relative à la santé et à la sécurité. Il propose l'affiliation des travailleurs des plateformes au régime général de la Sécurité sociale pour l'indemnisation des accidents du travail et des maladies professionnelles, qui permettrait d'objectiver la sinistralité des activités. Cela inciterait à une politique de prévention des risques professionnels.

→

Le rapport Frouin[14], publié en décembre 2020, s'oriente vers une autre direction. Il n'a pas retenu la création d'un tiers-statut entre celui de salarié et celui d'indépendant car les premières expériences dans ce domaine (Italie, Espagne) semblaient peu concluantes. Les pouvoirs publics (commanditaires de ce rapport) n'envisageant pas la reconnaissance d'un statut de salariés pour les travailleurs des plateformes, cette possibilité a été écartée.

Le rapport propose donc le recours à des tiers pour salarier les travailleurs des plateformes : cette option est déjà offerte par les entreprises de portage salarial et les coopératives d'activité et d'emploi (CAE). Le travailleur aurait accès au régime

© Guillaume J. Plisson pour l'INRS/2018

Dans le secteur logistique, une automatisation au détriment de la santé au travail ?

général de Sécurité sociale, à l'assurance chômage, à tous les droits liés au salariat. Il n'y aurait pas de lien de subordination envers un employeur et le salaire dépendrait du chiffre d'affaires réalisé. Les surcoûts du recours à cet intermédiaire seraient partagés entre plateformes et travailleurs.

Les travailleurs conserveraient bien sûr la possibilité de s'organiser en coopératives (sous forme par exemple de société coopérative ouvrière de production : Scop), un modèle déjà utilisé par certaines sociétés de taxis ou de « livraison du dernier kilomètre »[15].

La question de la santé et de la sécurité au travail est renvoyée au dialogue social. Au-delà des champs de dispositions d'ordre public, une négociation collective par secteur serait obligatoire entre plateformes et représentants élus des travailleurs, portant sur huit points dont un concerne « *les conditions de travail et notamment les mesures visant à prévenir les risques professionnels et à limiter le temps de travail* ».

Économie circulaire : accélération du « verdissement » de la filière automobile

Le groupe Renault a annoncé la fermeture de la chaîne de montage de son usine historique de Flins d'ici 2024[16]. Signe des temps, cette usine va être transformée en *Re-Factory :* on y procédera au reconditionnement de véhicules d'occasion, au recyclage de véhicules hors d'usage, à la réparation et à la réutilisation de batteries, ainsi qu'à des activités de recherche. À terme, en 2030, cette première usine européenne d'économie circulaire dans le domaine de la mobilité devrait employer 3 000 personnes. L'objectif est de dégager un bilan négatif en CO_2.

On a aussi appris que la vente de voitures neuves purement thermiques (essence ou diesel) serait bannie outre-Manche dès 2030 et que les hybrides seraient interdites à compter de 2035[17]. La Norvège a pris la même décision (à l'échéance 2025). La plupart des pays européens ont placé la limite à 2040. Avec l'installation d'une usine Tesla près de Berlin[18], les tendances d'une électrification plus rapide que prévu du parc automobile européen se multiplient. Ce « verdissement » va avoir des conséquences sur tout l'écosystème lié à la production automobile : l'organisation industrielle prévoira notamment que le recyclage des batteries se déroule en Europe. Plusieurs études ont déjà montré la difficulté de procéder à ces opérations en toute sécurité pour les travailleurs : les opérations de broyage et la pyrométallurgie peuvent provoquer des expositions aux métaux à des niveaux élevés lors du recyclage.

Transformations de la filière du textile et conséquences sur les conditions de travail : relocalisation *low cost*, dérives de la *fast fashion*

Le temps des collections saisonnières est révolu depuis plusieurs années. Sous l'influence d'entreprises de la *fast fashion*[19] comme Zara, les grandes chaînes du textile ont d'abord réduit la durée de vie de leurs collections à six semaines. L'utilisation des nouvelles technologies et l'essor du e-commerce ont accéléré le mouvement et abouti à la naissance d'entreprises entièrement en ligne telles que la très emblématique Fashion Nova, née en Californie en 2006, dont la quasi-totalité de l'activité s'exerce en ligne. La pièce maîtresse de son *business model* est un compte Instagram aux 17 millions d'abonné.es, seul actif de l'entreprise, sur lequel des influenceuses présentent les vêtements de la marque. La deuxième caractéristique est que la marque crée entre 600 et 900 nouveaux modèles par semaine, avec une durée de commercialisation de quelques jours. L'accélération de la chaîne de production fait qu'un produit proposé par un styliste, accepté par la marque, est disponible à la vente en ligne sous 48 heures, pour pouvoir être livré au domicile des premières clientes en moins

d'une demi-journée. Pour ce faire, il a fallu rapatrier la production aux États-Unis (85 % du total) : cela permet de tenir des délais de livraison très courts.
Le modèle repose sur une sous-traitance complète de la production et de la commercialisation[20] : de la conception graphique des vêtements jusqu'à la livraison des produits. Les coûts de fabrication doivent être faibles. De petits ateliers ont été créés en Californie et dans les États voisins. Ils emploient une main-d'œuvre de clandestins payés en dessous des salaires minimaux. La durée d'existence de ces ateliers est courte, inférieure à celle qu'il faut aux services officiels des États pour les identifier et les contrôler. Les conditions de travail ne respectent pas la réglementation, avec des heures supplémentaires impayées. Fashion Nova n'a aucun lien juridique avec ces entreprises, décline toute responsabilité et se réfugie derrière ses cahiers des charges, exigeant des sous-traitants le respect des réglementations.
Boohoo, une entreprise pratiquant des méthodes similaires, prospère au Royaume-Uni. Avec une dizaine de millions d'abonné(e)s sur les réseaux sociaux et pratiquant massivement la vente par correspondance, elle était bien positionnée pour prospérer pendant la crise du coronavirus et a relevé ses prévisions de croissance annuelle de 25 % à 32 %[21]. Cela imposait d'avoir une chaîne d'approvisionnement fonctionnant à plein régime durant le confinement. Elle est basée sur un réseau de centaines de petits ateliers sous-traitants de confection situés à Leicester, qui fournissent environ 80 % des vêtements que Boohoo met en vente. Le maintien de cette activité durant le pic épidémique du printemps est soupçonné d'être l'une des explications du reconfinement précoce de Leicester le 29 juin 2020[22].
Aucune distanciation physique n'était possible dans ces ateliers vétustes et mal ventilés. Ils emploient une main d'œuvre majoritairement originaire du sous-continent indien (37 % des habitants de Leicester en sont originaires) qui, compte tenu de rémunérations de l'ordre de trois à quatre livres de l'heure, a dû continuer à travailler sans protection, en dépit des circonstances. Cet esclavage moderne avait d'ailleurs été dénoncé précédemment par l'ONG *Labour behind the label*[23] et les pratiques délictueuses des sous-traitants mis en cause été reconnues par Boohoo[24,25].

Conclusion

La pandémie de Covid-19 a fortement bouleversé le monde du travail en 2020. Plusieurs indices laissent prévoir qu'indépendamment des développements futurs de la crise, elle aura un effet durable sur l'organisation des entreprises et les conditions de travail, lié à l'utilisation des TIC et des nouvelles technologies[26]. ●

1. Disponibles sur : www.inrs.fr/prospective

2. Voir : www.strategie.gouv.fr

3. Voir : www.lesechos.fr/tech-medias/hightech/les-geants-technologiques-affichent-leur-resilience-face-a-la-crise-1199979

4. Voir : www.marianne.net/Économie/coronavirus-comment-la-grande-distribution-recrute-des-auto-entrepreneurs

5. Voir : MALENFER M., GOVAERE V., BINGEN A., TRIONFETTI M.-C. – Impact des outils numériques sur les conditions de travail : l'exemple du commerce en ligne. Hygiène & sécurité du travail, *mars 2020, 258. Accessible sur : www.hst.fr*

6. Le crowdworking *ou production participative est l'utilisation du travail, de la créativité, de l'intelligence et du savoir-faire d'un grand nombre de personnes, en sous-traitance, pour réaliser certaines tâches traditionnellement effectuées par un employé ou un entrepreneur.*

7. Voir : www.nytimes.com/2020/07/26/business/economy/labor-remote-work-coronavirus.html

8. On peut par exemple visionner cette vidéo de Xerfi : https://www.xerficanal.com/Économie/emission/Alexandre-Mirlicourtois-Le-teletravail-accelere-l-uberisation-des-cadres_3749114.html

9. Mille *anglo-américain, ou* mile *(pluriels : miles) : unité de longueur utilisée notamment dans les pays anglo-saxons, valant 1 609,344 mètres.*

10. Voir : www.telegraph.co.uk/news/2020/07/22/home-working-revolution-will-derail-middle-class-gravy-train/

11. Voir : http://workofthefuture.mit.edu

12. Voir : https://revealnews.org/article/how-amazon-hid-its-safety-crisis/

13. Voir : https://cnnumerique.fr/files/uploads/2020/2020.07.29_Rapport_Travailleurs_des_plateformes_Access.pdf

14. Voir : www.gouvernement.fr/sites/default/files/document/document/2020/12/rapport_reguler_les_plateformes_numeriques_de_travail.pdf

15. Voir : www.facebook.com/watch/?v=647593402854332

16. Voir : www.lemonde.fr/Économie/article/2020/11/25/renault-confirme-la-fermeture-de-la-chaine-d-assemblage-de-son-site-de-flins-pour-en-faire-une-usine-dediee-a-l-Économie-circulaire_6061108_3234.html

17. Voir : www.lesechos.fr/industrie-services/automobile/royaume-uni-linterdiction-des-2030-des-voitures-thermiques-accroit-la-pression-sur-les-industriels-1266135#:~:text=Les%20constructeurs%20ont%20ainsi%20appris,interdites%20%C3%A0%20compter%20de%202035

18. Voir : www.tesla.com/fr_fr/gigafactory-berlin

19 : Fast fashion : *Expression anglo-saxonne qui désigne le renouvellement, le plus rapide possible, des collections d'articles de la mode vestimentaire. La* fast fashion *concerne des produits bon marché et non destinés à être conservés d'une saison sur l'autre. Voir : www.e-marketing.fr/Definitions-Glossaire/Fast-fashion-241796.htm#*

20. Voir : www.nytimes.com/2019/12/16/business/fashion-nova-underpaid-workers.html

21. Voir : www.theguardian.com/business/2020/sep/30/boohoo-reports-sales-surge-despite-leicester-supplier-scandal-covid ; voir aussi : https://goodonyou.eco/how-ethical-is-fashion-nova/

22. Voir : www.lemonde.fr/Économie/article/2020/07/21/travail-illegal-au-royaume-uni-le-vilain-secret-de-leicester_6046797_3234.html

23. Voir : https://labourbehindthelabel.org/boohoo-this-black-friday-pay-back-your-workers-and-go-transparent/

24. Voir : www.cityam.com/boohoo-profit-soars-during-pandemic-despite-factory-scandal/

25. Voir : www.drapersonline.com/news/endemic-issues-in-boohoo-supply-chain-review-finds

26. Voir : www.miroirsocial.com/participatif/comment-les-techs-transforment-le-travail-et-pourquoi-lacceleration-actuelle-nest-pas

166 Avril Mai Juin 2021

RÉFÉRENCES EN SANTÉ AU TRAVAIL

ACTUALITÉS

INFOS À RETENIR

→ Les effets des faibles doses de rayonnements : comparaison du risque de cancer chez les travailleurs du nucléaire et les survivants des bombardements atomiques
→ Conduites addictives de la population active : chiffres clés
→ Prévention du risque chimique : « *Les valeurs limites d'exposition professionnelle* » et l'outil 65 de l'INRS
→ Techniques de réduction du bruit en entreprise : une nouvelle base de données de l'INRS

NOUVEAUTÉS DE L'INRS

→ Brochures, affiches, dépliants, vidéos, documents et outils en ligne…

PARTICIPEZ À LA RECHERCHE

→ Retours d'expérience durant la crise sanitaire Covid-19 dans le secteur de la logistique et du transport

CONNAISSANCES ET RÉFÉRENCES

GRAND ANGLE

→ Les exosquelettes pour prévenir les troubles musculosquelettiques : rôle des services de santé au travail

VU DU TERRAIN

→ Utilisation des composés organiques volatils urinaires non métabolisés comme biomarqueurs pour évaluer les polyexpositions professionnelles
→ Connaissances et couvertures vaccinales contre la grippe et la coqueluche des personnels dans 4 maternités d'Île-de-France

SUIVI POUR VOUS

→ Automatisation du travail. Journée Marcel Marchand, Institut de santé au travail du nord de la France. Conférence en ligne, 22 octobre 2020
→ Silice cristalline : expositions professionnelles et surveillance médicale. Société française de médecine du travail. Conférence en ligne, 5 février 2021
→ Prévention des risques liés au travail de nuit, un colloque de l'INRS. Conférence en ligne, 11 mars 2021
→ Poussières, nanoparticules et santé. L'invisible éclairé… 26e journée Recherche de l'IIMTPIF. Conférence en ligne, 24 mars 2021

OUTILS REPÈRES

VOS QUESTIONS/NOS RÉPONSES

→ Suivi individuel de l'état de santé du salarié : qui prend en charge le coût des examens complémentaires ?
→ Pratiques addictives dans les TPE : quelle prévention mettre en place ?

TABLEAUX DE MALADIES PROFESSIONNELLES : COMMENTAIRES

→ Décret n° 2021-636 du 20 mai 2021 révisant et complétant les tableaux de maladies professionnelles annexés au livre IV du Code de la Sécurité sociale

À VOTRE SERVICE

AGENDA JUILLET 2021 À JUIN 2022

FORMATIONS 2021

Abonnez-vous d'un simple clic : www.rst-sante-travail.fr

Un abonnement gratuit pour une durée de 2 ans, renouvelable à échéance

Par courrier : Com&Com/INRS, bâtiment Copernic, 20 avenue Édouard- Herriot, 92350 Le Plessis Robinson - Tél. : 01 40 94 22 22

COMMENT UTILISER LE PORTAIL DOCUMENTAIRE DE L'INRS POUR RÉALISER UNE VEILLE EN SANTÉ ET SÉCURITÉ AU TRAVAIL ?

Le portail documentaire de l'INRS (http://portaildocumentaire.inrs.fr/) est accessible au grand public et destiné en particulier aux services de santé au travail, IPRP, chercheurs, formateurs, salariés ou chefs d'entreprise souhaitant accéder à des référentiels sur la santé et sécurité du travail (S&ST). Son objectif est d'offrir un point d'entrée unique à des ressources traitant de la prévention des risques professionnels.

Quelles sont les ressources accessibles ?

La base INRS-Biblio répertorie des documents consacrés à la S&ST. Elle rassemble plus de 80000 références scientifiques et techniques, principalement francophones et anglophones. La majorité des productions de l'INRS y sont également recensées, ainsi que celles du réseau Assurance maladie – Risques professionnels (Carsat, Cramif, CGSS, Cnam, Eurogip), dans la section « Réseau Prévention » du site.

Les bulletins de veille (dans la rubrique du même nom) ont pour objectif de signaler de façon régulière tout nouveau document sur les sujets d'étude de l'Institut, allant des plus classiques (RPS, TMS…) aux plus tendanciels (Covid-19, robots d'assistance physique, prospective…). La nature des documents signalés varie selon les sujets (actualités, articles scientifiques et techniques, textes réglementaires). Les internautes ayant créé un compte peuvent bénéficier de la fonctionnalité d'alerte par mail.

La rubrique « Veille juridique » met en avant :

- le Bulletin d'actualités juridiques de l'INRS, qui signale les textes européens et français accompagnés de questions écrites, de notes de lecture et d'une sélection de la jurisprudence;
- les articles « Droit en pratique », de la revue *Travail & sécurité,* qui traitent d'une question juridique en lien avec la S&ST;
- Les dossiers documentaires proposent une sélection d'articles, ouvrages et éditions intéressant un sujet de prévention ou un secteur professionnel.

Les références signalées sont issues de la base documentaire INRS- Biblio.

Comment rechercher l'information au sein du portail ?

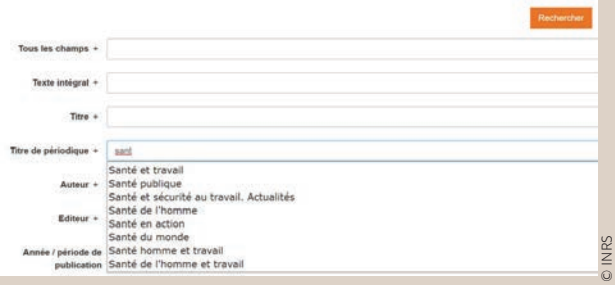
Les informations sont accessibles dans un premier temps, *via* cinq thématiques principales présentées de manière illustrée en page d'accueil : fondamentaux de la prévention, organisation du travail, risques chimiques, risques mécaniques, risques biologiques. Ces pages proposent une sélection actualisée d'informations sur la thématique sélectionnée : veille, dossiers documentaires et actualités s'y reportant *(Cf. Figure 1).*

© INRS

↑ **FIGURE 1** Page d'accueil (capture d'écran).

© INRS

↑ **FIGURE 2** Exemple de recherche (capture d'écran).



© INRS

↑ **FIGURE 3** Fonctionnalité : autocomplétion (capture d'écran).

Pour une recherche sur un sujet précis, la barre située en haut de la page d'accueil permet de conduire une recherche sur l'intégralité du portail avec les opérateurs AND, OR, NOT, pour associer plusieurs termes. La recherche avancée (lien sous le champ de recherche) permet de faire des requêtes multicritères plus complexes (auteur, titre, résumé, mots clés, sources...). Par défaut, les différents champs d'interrogation sont combinés par un AND, tandis que les champs répétés le sont par un OR *(Cf. Figure 2)*.

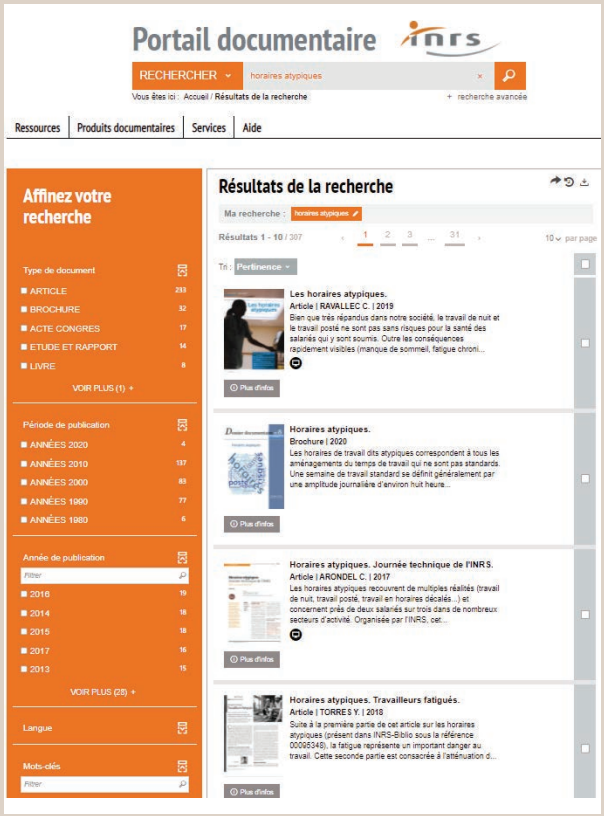
La fonctionnalité d'autocomplétion permet d'identifier les bons termes à utiliser *(Cf. Figure 3)*.

Sur la page de résultats, les facettes permettent d'affiner la sélection des documents proposés selon différents critères (type, auteur, collection, sujet, période ou année de publication). Les notices peuvent être sélectionnées et téléchargées au format PDF, HTML ou RIS[1] *(Cf. Figure 4)*.

Comment personnaliser son espace ?

La création d'un compte personnalisé permet de disposer de fonctionnalités avancées. L'inscription est possible depuis le bouton « Se connecter » en haut à droite de la page. Le compte personnel permet de gérer des paniers pour enregistrer ou éditer des sélections de références, de sauvegarder des recherches ou de mettre en place des alertes pour recevoir les nouveaux résultats d'une recherche ou d'une veille. ●

1. Format permettant l'échange d'information de citations bibliographiques.



© INRS

↑ **FIGURE 4** Résultats de recherche (capture d'écran).

POUR EN SAVOIR PLUS

- Le portail documentaire de l'INRS https://portaildocumentaire.inrs.fr
- *Références en santé au travail,* 2020, 164, TM 62, p. 71. Accessible sur : www.rst-sante-travail.fr

Conception-rédaction : Jennifer CLERTE, INRS, département Études, veille et assistance documentaires

HYGIÈNE ET 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
Fax: 01 40 44 31 99
Dépôt légal 2e trimestre 2021
n° ~~20120253~~
ISSN 0007-9952
www.inrs.fr/publications/hst/dans-ce-numero.html

INRS service abonnements
Com & Com
Bâtiment Copernic
20, avenue Édouard-Herriot
92 350 Le Plessis-Robinson
Tél.: 01 40 94 22 22
inrs@cometcom.fr

Prix au numéro: 20,40 €
Tarifs abonnement pour 1 an/4 numéros:
France: 72 €
DOM: 78 €
TOM et Europe: 84 €
Reste du monde: 90 €

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.

PEFC 10-31-1510

IMPRIM'VERT®

Retrouvez
tous les articles sur
www.hst.fr

Institut National de Recherche et de Sécurité