

# HYGIÈNE & SÉCURITÉ DU TRAVAIL

La revue technique de l'INRS  
juillet • août • septembre 2021

N° 264

## / Notes techniques /

Améliorer la ventilation  
des locaux de travail  
du tertiaire, pendant  
et après la pandémie

Panorama des professions  
et secteurs exposés  
au formaldéhyde en 2017

## / Étude de cas /

Amiante et poussières :  
exposition dans  
le secteur du traitement  
des déchets de chantier

## / Base de données /

Exposition  
professionnelle  
aux chloramines  
dans les piscines  
et stations thermales



**Dossier**

## Fluides de coupe : expositions professionnelles, effets sur la santé et prévention

**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 Foutieau**

Corrections, secrétariat de rédaction

**Amélie Lemaire (INRS),**

**Nathalie Florczak**

Maquettes et infographies

**Nadia Bouda**

Iconographe, INRS

**Sandrine Voulyzé**

Chargée de fabrication, INRS

**Bahija Augenstein**

Assistante, INRS

**COMITÉ ÉDITORIAL**

**Agnès Aublet-Cuvelier**

Direction des Études et recherches,  
INRS

**Patricia Bernard,**

**Antoine Bondéelle**

Équipe de rédaction, INRS

**Séverine Brunet**

Directrice des Applications, INRS

**Louis Laurent**

Directeur des Études et recherche,  
INRS

**Jean-Pierre Leclerc**

Chef du département Ingénierie  
des procédés, 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 :**

Bénédicte Biron,

Jean-Christophe Blaise,

Christophe Boudy,

Ève Bourgard, Raphaël Chantalat,

Marc Charoy, Jacques Chatillon,

Patrick Chevreton, Laurent Claudon,

Jennifer Clerté, Bruno Courtois,

Laurène Delabre, Valérie Demange,

Cédric Duval, Guillaume Egels,

Nicolas Fauvel, Monica Ferreira,

Odile Frantz, Loïc Garras,

Fabien Gérardin, Romain Guichard,

Marie Houot, Patrick Laine,

Olivier Le Berre, Jean-Pierre Leclerc,

Aurélien Lux, Fabrice Leray,

Ronan Levilly,

Agence Patricia Lucas,

Jacques Marsot, Patrice Marchal,

Sophie Martin, Fabrice Martinet,

Gautier Mater, Corrado Mattiuzzo,

Gérard Moutche, Benjamin Paty,

Nellie Perrin, Marjorie Pierrette,

Corinne Pilorget,

Anita Romero-Hariot,

Anca Radauceanu, Barbara Savary,

Jennifer Shettle, Sophie Tomaz,

Jérôme Triolet,

Anne-Sophie Valladeau,

Thomas Venet.

Photo de couverture :

© Cédric Pasquini pour l'INRS/2020

# L'édito de...

**JÉRÔME TRIOLET**, Chef du département Expertise et conseil technique, INRS



© Gaël Kerbaol/INRS

Les fluides de coupe sont principalement utilisés dans les secteurs de la métallurgie et de l'automobile, mais également dans des activités telles que l'aéronautique. Leur rôle est de faciliter l'usinage, et ils peuvent également avoir des fonctions annexes, comme éviter la corrosion des métaux.

Il existe deux grandes familles de fluides de coupe : les huiles entières et les fluides aqueux. Les huiles entières ont essentiellement une fonction de lubrification. Elles sont généralement à base d'huiles minérales issues de la distillation du pétrole, mais peuvent aussi comporter des huiles synthétiques issues de l'industrie chimique ou des huiles végétales. Les fluides aqueux exercent principalement une fonction de refroidissement. Il en existe deux types :

les émulsions, constituées de gouttelettes d'huiles (minérales, synthétiques ou végétales) dispersées dans de l'eau et stabilisées par un tensioactif, et les solutions dans lesquelles tous les composants (souvent des produits de synthèse) sont solubles dans l'eau. Les fluides aqueux contiennent habituellement de nombreux additifs. Les contraintes réglementaires font que les compositions des fluides de coupe deviennent plus complexes pour leur permettre de conserver de bonnes performances.

Les effets sur la santé les plus fréquemment rencontrés lors d'expositions professionnelles sont des affections cutanées : dermatites d'irritation, mais aussi dermatites allergiques. L'inhalation d'aérosols de fluide de coupe peut aussi entraîner des affections respiratoires : pneumopathies d'irritation, allergiques ou lipidiques (surcharge des poumons par des gouttelettes d'huile, aujourd'hui plus rares) ; et pathologies respiratoires provoquées par des micro-organismes ayant colonisé des fluides aqueux ou par des endotoxines provenant de certaines bactéries.

Les fluides de coupe peuvent contenir des agents cancérigènes qui sont soit des impuretés des huiles minérales, tels certains hydrocarbures aromatiques polycycliques, soit des substances formées lors de l'utilisation du fluide, comme certaines nitrosamines.

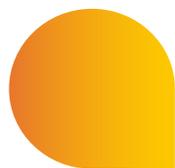
La prévention associée à l'utilisation des fluides de coupe repose sur le choix des produits les moins dangereux possibles

**« La prévention associée à l'utilisation des fluides de coupe repose sur le choix des produits les moins dangereux possibles et sur la mise en œuvre de dispositifs de protection collective. »**

et sur la mise en œuvre de dispositifs de protection collective, qui peuvent être complétés par le port d'équipements de protection individuelle. En France, il n'existe pas de valeur limite d'exposition professionnelle pour les aérosols d'huiles ou de fluides de coupe (huiles entières ou fluides aqueux). Cependant, dans l'air inhalé par les opérateurs, il est recommandé de ne pas dépasser une concentration de 0,5 mg/m<sup>3</sup> en moyenne, sur la durée d'un poste de travail de huit heures (selon la recommandation de la Cnam R 451). Par ailleurs, l'automatisation des procédés de manutention des pièces sortant d'usinage permet d'éviter des contacts avec les fluides de coupe.

Nos lecteurs trouveront dans le dossier de ce numéro d'*Hygiène & sécurité du travail* un grand nombre d'informations et d'exemples utiles pour la mise en œuvre d'une prévention efficace en lien avec l'utilisation des fluides de coupe.

# SOMMAIRE



## Savoirs & actualités

### Décryptage

Lunettes connectées :  
de nouveaux risques  
pour les salariés ?

P. 05

### Actualité juridique

Travailleurs utilisant une  
plateforme de mise en relation  
par voie électronique :  
réglementation applicable  
en matière de droit social

P. 10

### Focus normalisation

Des produits sûrs avec  
une intelligence artificielle  
complexe ?

P. 16

### Dossier

**Fluides de coupe : expositions  
professionnelles, effets  
sur la santé et prévention**

- Formulation des fluides  
de coupe : suivi des évolutions  
P. 20

- Expositions aux fluides  
de coupe et principaux effets  
sur la santé : une revue  
des études épidémiologiques  
P. 24

- Méthodes d'évaluation  
des expositions  
aux fluides de coupe  
P. 33

- Les déterminants  
de l'exposition appliqués  
aux brouillards de fluide  
de coupe  
P. 38

- Prévention de l'exposition  
aux fluides de coupe :  
des solutions concrètes  
P. 45



Prévention des risques  
liés à l'utilisation  
des fluides de coupe.

Lire Dossier p. 18.



# Études & solutions

## Notes techniques

- Améliorer la ventilation des locaux de travail du tertiaire, pendant et après la pandémie de Covid-19  
P. 53

- Exposition sonore et risque auditif chez les professionnels du secteur de la musique amplifiée  
P. 62

- Panorama des professions et secteurs exposés au formaldéhyde en 2017  
P. 70

## Étude de cas

- Amiante et poussières inhalables : risques d'exposition des travailleurs des filières de traitement des déchets de chantier  
P. 84

## Base de données

- Portrait rétrospectif de l'exposition professionnelle aux chloramines dans les piscines et les stations thermales en France de 2011 à 2020  
P. 94

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

Bruit en open space : prévention.  
Quels acteurs ? Quelles solutions ?  
P. 99

Agenda/Congrès  
P. 104

## Participez à la recherche

L'INRS a besoin de vous  
P. 106

## Formation

Formations à la santé  
et la sécurité au travail 2022  
P. 108

Agenda/Formations  
P. 110

## Sélection bibliographique

À lire, à voir  
P. 112

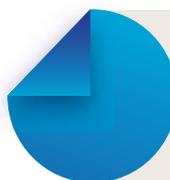


# Veille & prospective

## Prospective

Industrie du futur : points de vigilance vis-à-vis de l'application des principes généraux de prévention  
P. 115

à détacher



## Les fiches HST

Comment utiliser l'outil  
« Agir suite à un accident  
du travail » ?



# Savoirs & actualités

## **Décryptage**

Lunettes connectées : de nouveaux risques  
pour les salariés ?

P. 05

## **Actualité juridique**

Travailleurs utilisant une plateforme  
de mise en relation par voie électronique :  
réglementation applicable  
en matière de droit social

P. 10

## **Focus normalisation**

Des produits sûrs avec une intelligence  
artificielle complexe ?

P. 16

## **Dossier**

Fluides de coupe : expositions professionnelles,  
effets sur la santé et prévention

P. 18

## Décryptage

# LUNETTES CONNECTÉES : DE NOUVEAUX RISQUES POUR LES SALARIÉS ?

Les lunettes connectées (LC), qui permettent l'affichage d'informations dans le champ visuel des utilisateurs, se développent rapidement dans de nombreux secteurs d'activité. Cet article fait le point sur la technologie et ses possibilités. Il précise ensuite les cas d'utilisation professionnelle des LC et aborde les questions soulevées en termes de prévention des risques professionnels.

**SMART GLASSES: NEW RISKS FOR WORKERS? – Smart glasses (SG) allow information to be displayed in the user's visual field. Their applications are developing rapidly in several industries. This article reviews the technology and its potential. It then sets out the case for occupational use of SG and addresses the issues related to the prevention of occupational risks.**

AURÉLIEN  
LUX,  
PATRICE  
MARCHAL,  
NELLIE  
PERRIN  
INRS,  
département  
Ingénierie des  
équipements  
de travail

MARJORIE  
PIERRETTE  
INRS,  
département  
Homme  
au travail

L'industrie du futur, ou « industrie 4.0 »<sup>1</sup>, marque un tournant dans le secteur industriel. Avec l'ambition de répondre à l'objectif d'améliorer la compétitivité des entreprises en associant flexibilité et productivité, l'ensemble de ces transformations des systèmes de production est porté par l'émergence de nouvelles technologies et de leur interconnexion numérique.

Au même titre que la robotique collaborative, les exosquelettes ou l'impression 3D, la réalité augmentée (RA) est l'une des technologies clés de l'industrie du futur [1]. La RA permet de fournir à l'utilisateur, en relation avec son environnement (la « réalité »), des informations supplémentaires (« augmentées » via l'usage de technologies spécifiques). Son objectif est clair : « La RA a pour but d'enrichir la perception [de l'opérateur] et [sa] connaissance d'un environnement réel par l'ajout d'informations numériques le concernant [2] ». La transmission en temps réel d'informations nécessaires à la réalisation de la tâche devrait alors non seulement permettre des gains de productivité [3], mais également de renforcer la polyvalence des opérateurs et de faire face à des pénuries de compétences sur certains métiers. Cette

technologie permet aujourd'hui de parler d'« opérateur augmenté » [4].

### Les lunettes connectées (LC) : définition

À l'inverse de la réalité virtuelle (RV), qui plonge l'utilisateur dans un monde totalement représenté, la RA ajoute à la perception du monde réel par l'utilisateur des informations relatives à l'environnement qui peuvent prendre différentes formes : texte, son, image, etc.

Si la RA peut s'appliquer à l'ouïe<sup>2</sup> et, plus rarement, au toucher, la grande majorité des interfaces développées aujourd'hui concernent la vue. Nous pouvons catégoriser ces interfaces visuelles en trois types distincts :

- les systèmes portés sur la tête (casques ou lunettes), qui permettent l'affichage de données sur un écran miniature situé dans le champ de vision de l'utilisateur ;
- les systèmes portés à la main (tablettes, téléphones portables), qui offrent une fenêtre augmentée sur le réel ;
- les systèmes de projection d'informations directement sur les objets physiques d'intérêt, qui servent alors d'écran.



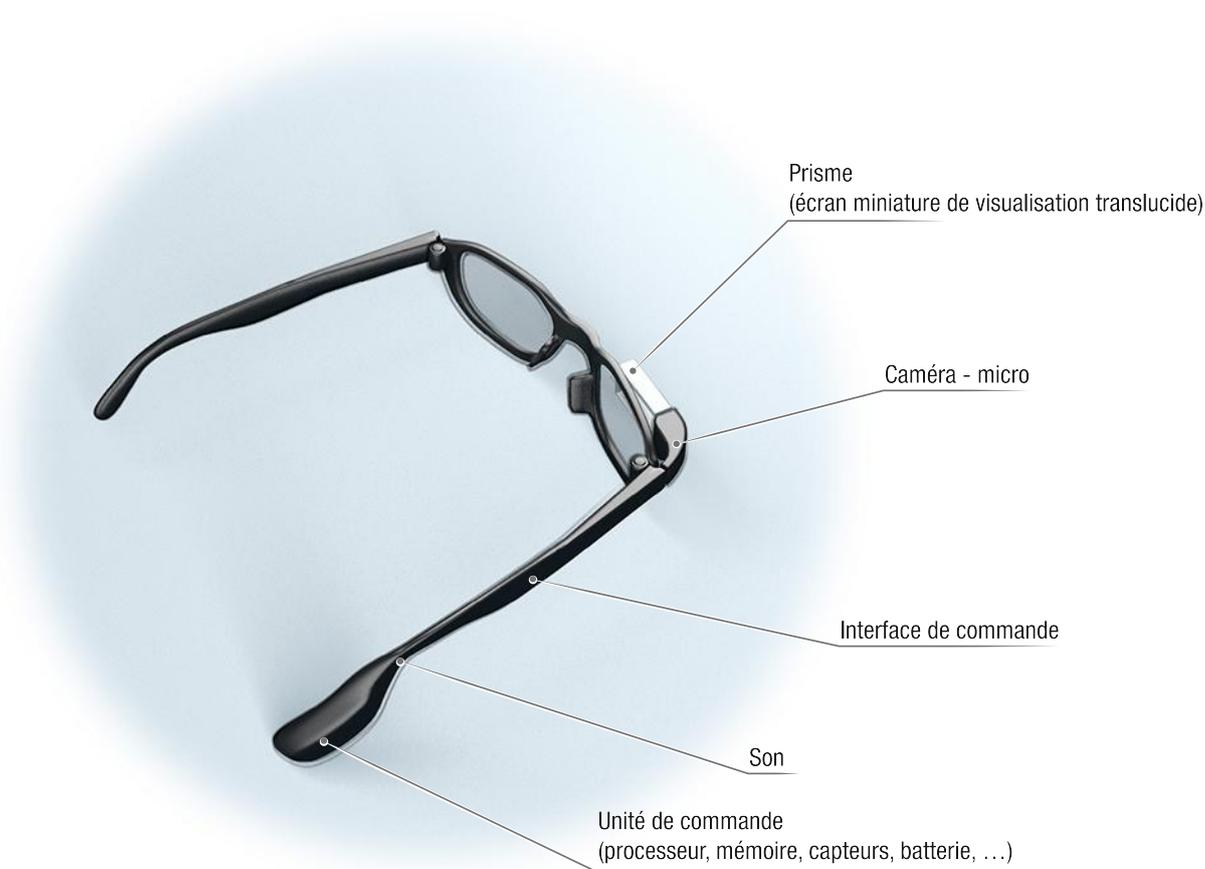


FIGURE 1 →  
Exemple  
d'architecture  
de lunettes  
connectées.

© 3 ZIGS pour l'INRS/2021

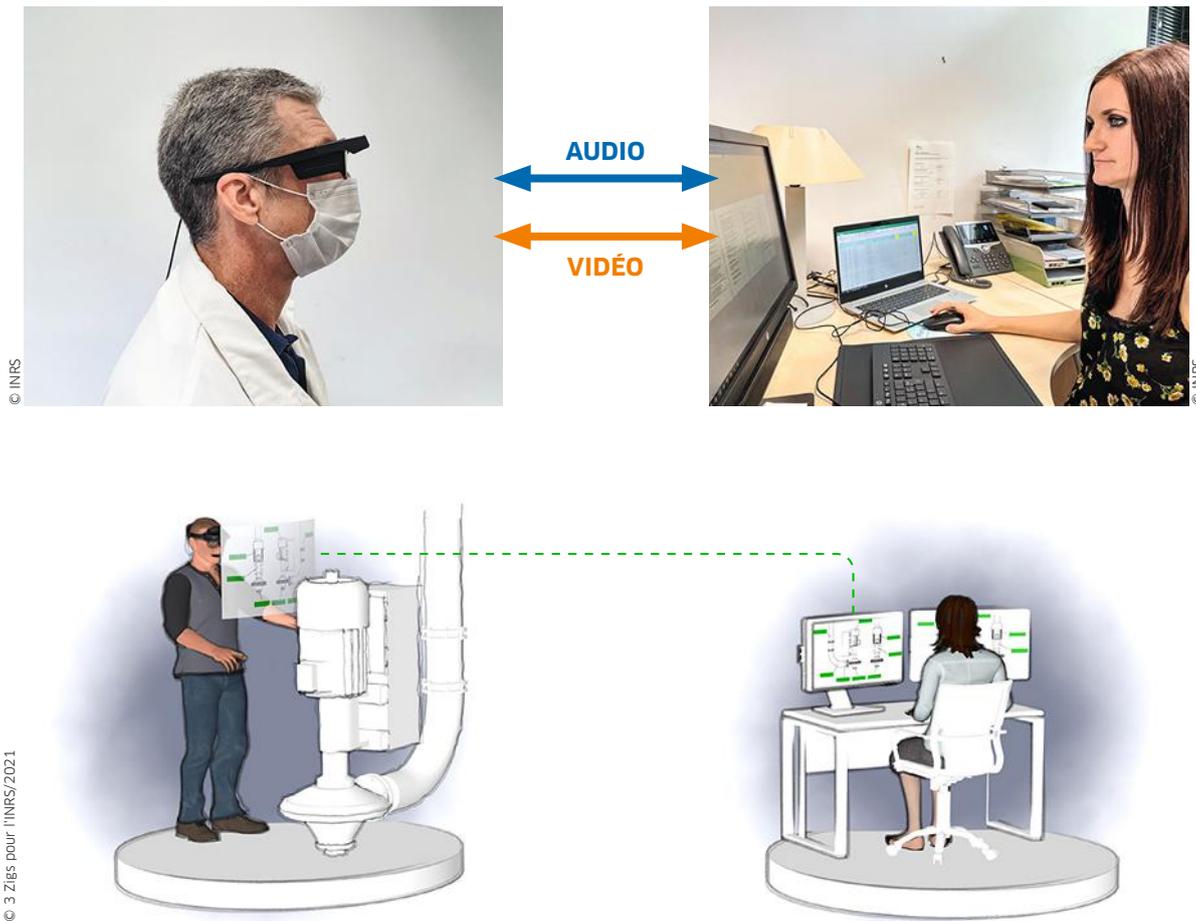
Dans cet article, nous nous intéressons uniquement aux systèmes portés sur la tête, couramment dénommés lunettes connectées (LC), ou « lunettes intelligentes », définies par Rauschnabel *et al.* [5] comme étant « des ordinateurs vestimentaires dotés d'une connexion Internet mobile qui se portent comme des lunettes ou qui se montent sur des lunettes ordinaires pour afficher des informations dans le champ de vision de l'utilisateur ». Du fait des progrès techniques des dernières années, les LC ont plus récemment laissé entrevoir de réelles applications industrielles. En effet, le marché s'est démocratisé, notamment sous l'impulsion des évolutions portées tout d'abord par le monde du jeu vidéo, puis grâce à des intégrateurs qui développent aujourd'hui des applications répondant aux besoins spécifiques des utilisateurs professionnels.

### Les différentes technologies

Les lunettes connectées (Cf. Figure 1) sont toutes équipées d'un dispositif de visualisation permettant d'afficher des informations dans le champ de vision de l'utilisateur. Le plus souvent, c'est un écran miniature positionné devant un œil. Il peut être transparent (prisme) et escamotable.

Dans le cas de certains systèmes binoculaires, l'affichage des informations virtuelles est parfois directement intégré aux oculaires. Les informations peuvent alors s'insérer dans l'espace réel sous la forme d'hologrammes en trois dimensions. On parle alors de « réalité mixte ».

La plupart des LC disposent également d'une caméra pour filmer la scène selon le point de vue de l'utilisateur et d'un dispositif de communication audio (microphone et haut-parleur). Les LC, véritables ordinateurs miniatures connectés à Internet, intègrent une unité de commande (processeur, mémoire, systèmes de connexion, etc.), une batterie, ainsi qu'une interface de dialogue (boutons, pavé tactile, reconnaissance gestuelle, etc.). Différents systèmes électroniques et capteurs, comme des GPS, des accéléromètres, un dispositif de suivi oculaire (*eye-tracker*), etc., peuvent également apporter des fonctions complémentaires. Les dernières évolutions, si elles ont récemment porté sur la miniaturisation et l'ergonomie (réduction du poids, confort optique, etc.), sont désormais liées à l'amélioration de l'autonomie des batteries et au développement d'applications dédiées, répondant aux besoins spécifiques des entreprises.



← FIGURE 2  
Exemples  
d'utilisation  
des LC dans  
le domaine de la  
téléassistance.

## Cas d'usage et domaines d'utilisation

Concernant l'utilisation des lunettes connectées, plusieurs usages se développent dans différents domaines ; ils peuvent être classés en trois catégories :

- **Téléassistance** : le porteur des LC partage sa vision grâce à la caméra et échange en temps réel avec une personne distante (Cf. Figure 2). C'est par exemple le cas d'un agent de maintenance intervenant sur une machine qui communique avec un expert situé dans un bureau ou sur un site distant ;
- **Visualisation** : des informations complémentaires sont apportées à l'utilisateur des LC, directement dans son champ de vision, par exemple pour prévenir d'une anomalie ou pour afficher en temps réel des données issues de capteurs (affichage automatique) ;
- **Guidage** : le porteur des LC réalise sa tâche de manière autonome. Le système lui apporte des informations visuelles afin de le guider, pas à pas, dans la réalisation d'une activité complexe (exemples : procédure, notice de montage, check-list de contrôle, etc. ; Cf. figure 3).

On retrouve ces différents cas d'usage des LC dans les principaux domaines d'utilisation

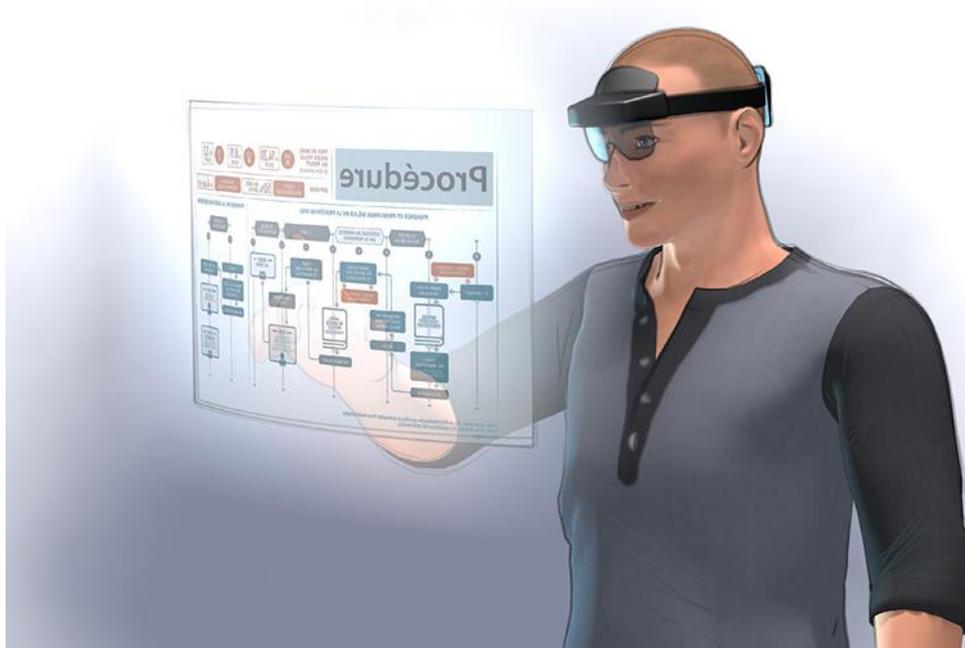
professionnels suivants : logistique, médecine, maintenance, production, contrôle qualité, conception, aménagement de locaux, etc. Le secteur de la logistique semble être aujourd'hui celui pour lequel l'utilisation des LC est la plus développée, juste avant celui de la maintenance.

Par ailleurs, les conditions sanitaires particulières liées à la pandémie de Covid-19 ayant favorisé, dès l'année 2020, le travail et l'expertise à distance, il semble que cela ait entraîné une augmentation importante du marché des LC.

## Prévention des risques professionnels

Au vu de la multiplication des expérimentations de cette technologie, à plus ou moins grande échelle, et de la prévision d'un déploiement des LC dans l'industrie et les services, la question des risques professionnels liés à leur utilisation se pose, tant en termes d'opportunités que de points de vigilance. Ainsi, les trois cas d'usage précédemment identifiés (téléassistance, visualisation et guidage) sont porteurs d'intérêts potentiels pour la prévention des risques professionnels et peuvent contribuer :

- à réduire les risques d'accidents liés à des erreurs dans la réalisation de procédures complexes, du fait de l'aide apportée à l'opérateur, par la



**FIGURE 3 →**  
Exemple de  
l'utilisation de LC  
pour le guidage  
pas-à-pas lors  
d'une procédure.

© 3 Zéigis pour l'INRS/2021

contextualisation de l'information qui lui est transmise par les LC ;

- à faciliter la formation, en reproduisant une situation d'apprentissage en conditions réelles dans un environnement sécurisé, et en rendant visibles les difficultés potentielles pour l'apprenant ;
- à réduire les accidents liés aux déplacements professionnels des experts sur des sites d'exploitation éloignés, en facilitant le travail à distance.

Toutefois, l'utilisation des LC soulève des interrogations sur les effets à court, moyen et long terme sur la santé des utilisateurs ainsi que sur leur sécurité (risques d'accident, de chute, etc.).

### Effets sur la santé

De nombreuses questions restent en suspens quant aux effets de l'utilisation des LC sur la santé des salariés qui les porteraient fréquemment, voire de façon continue tout au long d'une journée de travail : il peut s'agir par exemple de fatigue visuelle, de troubles de la perception (cybercinétose), ou encore de stress ou de fatigue causés par une augmentation de la charge cognitive ou par une intensification du travail. D'un point de vue psychosocial, des effets délétères pourraient également être liés à une situation d'isolement social et de perte d'autonomie, lorsque l'utilisateur doit obéir continuellement aux consignes transmises *via* les LC. Ces nouveaux dispositifs, souvent connectés en WiFi, Bluetooth ou 4G et placés à proximité du cerveau, soulèvent également des interrogations sur les risques associés aux rayonnements électromagnétiques. Même si une expertise récente de l'Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) n'a pas mis en évidence pour le moment de lien de causalité

entre cette exposition et d'éventuels effets sur la santé [6], la question reste cependant ouverte.

Néanmoins, à ce jour, peu d'informations sur les effets des LC sur la santé et sur les risques d'accidents sont disponibles<sup>3</sup>. À notre connaissance, seul le BAuA allemand [7] a émis des conseils et des premières recommandations spécifiques à la conception et à l'utilisation des LC. Malgré tout, les entreprises qui s'intéressent à cette technologie ou l'utilisent s'interrogent sur d'éventuels effets sur la santé et adoptent souvent le principe de précaution, en réduisant le temps d'utilisation des LC ou en renonçant à les utiliser.

### Risque d'accidents

Dans leur activité, les salariés sont parfois amenés à se déplacer à pied en utilisant les LC, et la modification de la perception de l'environnement questionne sur le risque d'accidents (chocs, collisions, chutes) :

- d'une part, ils peuvent recevoir des informations *via* les LC, c'est le cas en logistique pour les préparateurs de commande ou encore en maintenance lors d'interventions sur des installations de grandes dimensions. Ils risquent de focaliser toute leur attention sur les informations reçues dans les lunettes au détriment de la détection des événements autour d'eux, on parle alors d'« effet tunnel ». Une étude de l'IFA (Allemagne) [8] a mis en évidence une augmentation du temps de réaction face à un événement extérieur lors de l'utilisation de LC dans un simulateur de conduite de chariots élévateurs ;
- d'autre part, certaines technologies imposent d'ajouter en face avant ou latérale des éléments opaques pour y intégrer les écrans, les caméras

ou l'électronique de contrôle des LC : ces éléments peuvent entraîner une diminution du champ de vision (Cf. Figure 4).

Enfin, l'utilisation des LC dans le milieu professionnel pose la question de leur compatibilité avec le port d'équipements de protection individuelle (EPI) comme les lunettes ou casques de protection (Cf. encadré).

## Recherches en cours à l'INRS

Actuellement, l'INRS étudie les risques d'accidents liés à l'utilisation des lunettes connectées lors des déplacements à pied. L'étude s'intéresse aux deux facteurs de risques évoqués : l'effet « tunnel » d'une part, et la restriction physique du champ de vision d'autre part. L'étude explore également les effets perçus sur la santé physique et psychologique des utilisateurs, en évaluant leur ressenti et leur acceptabilité des LC.

Les résultats de ces travaux devraient permettre de formuler des recommandations aux utilisateurs et aux préventeurs quant à l'utilisation de cette nouvelle technologie dans les milieux de travail.

Ces recommandations pourront également être adressées aux concepteurs / intégrateurs de LC, afin qu'ils optimisent leur matériel dans une perspective de santé et de sécurité des utilisateurs. ●

1. Voir : [www.inrs.fr/inrs/themes-travail/industrie-du-futur/ce-qu-il-faut-retenir.html](http://www.inrs.fr/inrs/themes-travail/industrie-du-futur/ce-qu-il-faut-retenir.html) ; [www.inrs.fr/media.html?refINRS=DC%2023](http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=DC%2023) ; et : [www.inrs.fr/media.html?refINRS=TS806page12](http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TS806page12).

2. Depuis longtemps, comme le montre l'existence ancienne des « audioguides » des musées ou salles d'expositions.

3. Voir : [www.inrs.fr/media.html?refINRS=NO%2020](http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NO%2020).



© 3 Zégs pour l'INRS/2021

↑ FIGURE 4 Certains systèmes peuvent occulter partiellement le champ de vision.

## ENCADRÉ QUID DES EPI ?

La plupart des LC présentes sur le marché ne sont pas des équipements de protection individuelle (EPI). Pour répondre aux besoins des employeurs d'associer connectivité et sécurité, certains fabricants commercialisent des systèmes indépendants à fixer sur les lunettes ou casques de protection standard. Si ces équipements amovibles ne figurent pas dans la notice d'instructions de l'EPI concerné, il est alors déconseillé à un employeur de les utiliser, du fait de son obligation de maintenir la conformité des EPI. L'ensemble, lunettes de protection plus dispositif de réalité augmentée, doit en effet satisfaire aux exigences de protection, d'efficacité, de confort, d'ergonomie, d'innocuité et de résistance et répondre aux exigences du règlement (UE) n° 2016/425 relatif aux EPI (voir [9-11] pour plus de détails à ce sujet).

## BIBLIOGRAPHIE

[1] ALLIANCE INDUSTRIE DU FUTUR – *Guide des technologies de l'industrie du futur, enjeux et panorama des solutions*. 2018, 188 p. Accessible sur : [www.industriedufutur.org/content/uploads/2018/03/Guide-des-Technologies\\_2018\\_V3.pdf](http://www.industriedufutur.org/content/uploads/2018/03/Guide-des-Technologies_2018_V3.pdf).

[2] ARNALDI B., GUITTON P., MOREAU G. – *Réalité virtuelle et réalité augmentée, mythes et réalité*. Londres, ISTE Editions Ltd., coll. Informatique, 2018, 324 p.

[3] HARTWIG M. ET AL. – *Adaptive reminders for safe work*. In : *International Conference on Persuasive Technology*. Berlin, 2015, Springer.

[4] ACE CLUSTER – *White paper on HumAn-CEntred factories from theory to industrial practice: Lessons learned and recommendations*. 2019, 51 p.

[5] RAUSCHNABEL P.A., BREM A., IVENS B.S. – *Who will buy smart*

glasses? Empirical results of two pre-market-entry studies on the role of personality in individual awareness and intended adoption of google glass wearables. *Computers in Human Behavior*, 2015, 49, pp. 635-647. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2015.03.00>.

[6] ANSES – *Expositions aux technologies de réalité virtuelle et/ou augmentée*. Rapport d'expertise collective, juin 2021, 314 p.

[7] WILLE M., WISCHNIEWSKI S. – *Influence of head mounted display hardware on performance and strain*. In : *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe*, 2014, pp. 269-79.

[8] GROSS B., RISSLER J. – *Beurteilung von Aufgabenlasten von digitalen Informations-systemen auf Flurförderzeugen: Datenbrille (HMD) vs. Monitor (Grundlagen-*

*untersuchung)*. Sankt Augustin, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, 2018, IFA report 5/2018, 43 p.

[9] RÈGLEMENT EUROPÉEN (UE) N° 2016/425 DU PARLEMENT EUROPEEN ET DU CONSEIL du 9 mars 2016 relatif aux EPI et abrogeant la directive n° 89/686/CEE. Accessible sur : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016R0425>.

[10] MARCHAL P. – *Systèmes intelligents de protection individuelle : une définition et une démarche pour leur analyse*. *Hygiène & sécurité du travail*, 2018, 251, pp. 6-9. Accessible sur : [www.hst.fr](http://www.hst.fr).

[11] MARCHAL P., BAUDOIN J. – *Systèmes intelligents de protection individuelle (SPII) : Système, analyse, choix*. *Références en santé au travail*, 2019, 158, pp. 117-124.

## Actualité juridique

# TRAVAILLEURS UTILISANT UNE PLATEFORME DE MISE EN RELATION PAR VOIE ÉLECTRONIQUE : RÉGLEMENTATION APPLICABLE EN MATIÈRE DE DROIT SOCIAL

*Ordonnance n° 2021-484 du 21 avril 2021*

*(Journal officiel n° 95 du 22 avril 2021, texte n° 21).*

*Rapport au Président de la République relatif à l'ordonnance n° 2021-484 du 21 avril 2021*

*(Journal officiel n° 95 du 22 avril 2021, texte n° 20).*

*Consultables sur : [www.legifrance.gouv.fr](http://www.legifrance.gouv.fr)*

JENNIFER  
SHETTLE  
INRS,  
département  
Études, veille  
et assistance  
documentaires

Le travail par l'intermédiaire d'une plateforme numérique est un modèle économique en plein développement. Popularisé par Uber, qui toutefois ne représente qu'un exemple des diverses formes que peuvent prendre les plateformes, le principe s'applique à des activités aussi différentes que la location d'appartements, le métier de taxi, ou encore la livraison de repas. Il permet à un client d'effectuer une commande grâce à une application internet, laquelle arrive sur une plateforme digitale qui la répercute auprès d'un prestataire, qui rendra le service demandé.

Ce nouveau concept et le recours au numérique ont conduit au déploiement de nouvelles relations de travail, posant ainsi diverses questions en termes de santé et de sécurité au travail. La question du statut social de ces travailleurs des plateformes numériques est notamment au cœur de l'actualité juridique depuis plusieurs années, de telle sorte que le législateur est amené à intervenir régulièrement pour apporter des précisions destinées à protéger ces salariés.

Le dernier texte publié sur le sujet est l'ordonnance n° 2021-484 du 21 avril 2021 relative aux modalités de représentation des travailleurs indépendants recourant pour leur activité aux plateformes et aux conditions d'exercice de cette représentation. Elle permet notamment aux travailleurs

indépendants des plateformes de mobilité (VTC et livreurs à deux roues) de désigner leurs représentants en 2022. Elle crée également l'Autorité des relations sociales des plateformes d'emploi (Arpe), nouvel établissement public chargé de réguler les relations sociales entre plateformes et travailleurs indépendants.

Ce texte qui ne sera pas synthétisé ici dans le détail est l'occasion de revenir sur un certain nombre de questions que pose ce statut particulier de « *travailleurs indépendants recourant pour leur activité aux plateformes* ».

### Les enjeux identifiés en termes de santé et de sécurité au travail<sup>1</sup>

En termes de santé et de sécurité au travail (S&ST), plusieurs enjeux ont été identifiés pour lesquels les réponses à apporter peuvent varier :

- certains travailleurs sont confrontés à un travail parcellaire appauvri, constitué d'une succession de tâches sur lesquelles ils n'ont pas de contrôles ;
  - globalement, une situation d'insécurité au travail se développe ;
  - l'éclatement des tâches, ainsi que le fractionnement des emplois remettent en cause l'organisation de la prévention des risques professionnels.
- En ce qui concerne la mise en place d'une démarche de prévention, qui doit être guidée en entreprise



© Fabrice Dimier pour l'INRS/2021

par les principes généraux de prévention (définis aux articles L. 4121-1 et suivants du Code du travail), un certain décalage apparaît entre ces principes et le fonctionnement des plateformes. Cela peut s'expliquer entre autres par le modèle économique et l'organisation de ces entreprises qui échappent au cadre réglementaire et assurantiel incitant à la prévention.

### Définitions et champ d'application de la réglementation

Les dispositions réglementaires applicables aux travailleurs indépendants recourant pour l'exercice de leur activité professionnelle à une ou plusieurs plateformes de mise en relation par voie électronique ont été introduites dans le Code du travail, dans la partie consacrée aux statuts particuliers, par la loi n° 2016-1088 du 8 août 2016, et sont désormais prévues aux articles L. 7341-1 et suivants du Code du travail. Elles concernent les plateformes de VTC (véhicules de tourisme avec chauffeur) ou de livraison de marchandises au moyen d'un véhicule, motorisé ou non.

### Le statut de ces travailleurs : indépendants ou salariés ?

Cette question a suscité de nombreux débats et contentieux. À cet égard, l'article L. 8221-6 du Code du travail pose une règle générale de présomption de non-salariat dès lors que les travailleurs sont « *présumés ne pas être liés avec le donneur d'ordre [la plateforme] par un contrat de travail dans l'exécution de l'activité* » ou bien sont inscrits aux différents registres et répertoires professionnels. Cette présomption peut toutefois être renversée si un certain nombre d'indices suffisants met en évidence que la plateforme exerce de façon illicite une activité d'exploitation de plateforme numérique<sup>2</sup>.

Pour la jurisprudence, ces travailleurs indépendants recourant aux plateformes numériques de mise en relation sont en général qualifiés de travailleurs indépendants. La Cour de cassation a cependant eu l'occasion de requalifier en contrat de travail certaines de ces relations de travail<sup>3</sup>. En effet, dans un arrêt en date du 28 novembre 2018 concernant un coursier qui livrait des repas

Chauffeur VTC accueillant un client.





© Fabrice Dimier pour l'INRS/2021

Transporteur se déplaçant à vélo.

sous le statut de travailleur indépendant, en passant par une société utilisant une plateforme web et une application mettant en relation des restaurateurs et des clients, les magistrats ont considéré que ce dernier était bien lié par un contrat de travail. Pour la Cour, l'existence d'un lien de subordination était établie, dans la mesure où :

- l'application était dotée d'un système de géolocalisation permettant le suivi en temps réel par la société de la position du coursier et la comptabilisation du nombre total de kilomètres parcourus par celui-ci. Le rôle de la plateforme ne se limitait donc pas à une simple mise en relation du restaurateur, du client et du coursier ;
- la société disposait d'un pouvoir de sanction à l'égard du coursier. Les retards dans les livraisons entraînaient une perte de bonus et pouvaient même conduire à la désactivation du compte du coursier au-delà de plusieurs retards. Le lien de subordination était donc bien caractérisé par l'exécution d'un travail sous l'autorité d'un employeur qui a le pouvoir de donner des ordres et des directives, d'en contrôler l'exécution et de sanctionner les manquements de son subordonné.

Dans le même sens, la cour d'appel de Paris a, pour sa part, requalifié en contrat de travail la relation professionnelle existant entre la plateforme Uber et les chauffeurs de véhicules qui l'utilisent aux motifs suivants :

- le chauffeur ne peut pas se constituer une clientèle propre dans la mesure où il lui est interdit pendant une course de prendre d'autres passagers en dehors du système Uber ;
- les tarifs sont contractuellement fixés au moyen des algorithmes de la plateforme, le chauffeur n'a aucun pouvoir de décision ;
- la plateforme contrôle l'activité des chauffeurs ;
- les chauffeurs sont géolocalisés en permanence et les données recueillies sont analysées par Uber ;
- Uber exerce un pouvoir de sanction sur les chauffeurs pouvant aller jusqu'à l'exclusion définitive de l'application.

La cour d'appel en a conclu que, dès lors que le chauffeur se connecte à la plateforme, il intègre un service organisé qui lui donne des directives, en contrôle l'exécution et exerce un pouvoir de sanction<sup>4</sup>.

L'affaire a été portée devant la Cour de cassation qui a confirmé la décision d'appel. Pour les hauts magistrats, le statut de travailleur indépendant d'un chauffeur travaillant pour Uber était fictif dès lors que le lien de subordination entre celui-ci et la plateforme était bien caractérisé. En effet, bien qu'il soit inscrit au registre des métiers, ce chauffeur ne peut décider de l'organisation de son activité, rechercher sa clientèle ou choisir librement ses fournisseurs<sup>5</sup>.

À l'inverse, dans un arrêt du 7 avril 2021, la cour d'appel de Paris a refusé de requalifier en contrat de travail la relation contractuelle existant entre des livreurs et une plateforme numérique assurant la mise en relation entre des restaurateurs et des clients. Au soutien de ses prétentions, le livreur indiquait que :

- la rémunération de ses courses lui était versée selon des factures émises par la société gérant la plateforme ;
- il était soumis à des instructions strictes quant aux tarifs à appliquer, la tenue vestimentaire à porter, ainsi qu'à la fixation de ses horaires de travail, pour une zone géographique déterminée, au moyen d'un contrôle par géolocalisation ;
- les changements du planning hebdomadaire lui étaient notifiés unilatéralement ;
- la société décidait des prises de congés ;
- enfin, elle pouvait lui infliger des sanctions par des retenues tarifaires prévues au contrat ou en résiliant le contrat.

Après analyse de ces arguments, la cour a rejeté ceux concernant les horaires qui avaient été contredits par des preuves produites par la plate-

forme. Les congés n'étaient en outre pas fixés par la société mais simplement enregistrés, même si la formule imposée par le logiciel indiquait qu'ils étaient « *approuvés* ». Quant à la tenue vestimentaire, la clause prévoyait simplement que le prestataire devait porter une tenue propre. En ce qui concerne la géolocalisation des coursiers, elle avait pour objet « *de déterminer dans quelles zones sont les coursiers et où en est le déroulement de leurs prestations, et d'assurer le lien avec le restaurateur et le client final* ». Au regard de ces éléments, le lien de subordination n'était pas établi<sup>6</sup>. Parallèlement, un régime légal de la relation de travail entre les plateformes de mise en relation et les travailleurs qui y ont recours s'est construit progressivement.

## Mise en place d'une charte

Prévue par l'article L. 7342-9 du Code du travail (créé par la loi d'orientation des mobilités du 24 décembre 2019), l'élaboration d'une charte de responsabilité sociale est facultative, mais néanmoins fortement recommandée.

En effet, selon les dispositions de cet article :

« *Dans le cadre de sa responsabilité sociale à l'égard des travailleurs mentionnés à l'article L. 7342-8, la plateforme peut établir une charte déterminant les conditions et modalités d'exercice de sa responsabilité sociale, définissant ses droits et obligations ainsi que ceux des travailleurs avec lesquels elle est en relation* ». Cette charte pour être valide doit notamment préciser un certain nombre d'éléments :

- les conditions d'exercice de l'activité professionnelle des travailleurs avec lesquels la plateforme est en relation, en particulier les règles selon lesquelles ils sont mis en relation avec ses utilisateurs. Ces règles garantissent le caractère non exclusif de la relation entre les travailleurs et la plateforme, et la liberté pour les travailleurs d'avoir recours à la plateforme et de se connecter ou se déconnecter, sans que soient imposées des plages horaires d'activité ;
- les modalités visant à permettre aux travailleurs d'obtenir un prix décent pour leur prestation de services ;
- les modalités de développement des compétences professionnelles et de sécurisation des parcours professionnels ;
- les mesures visant notamment à améliorer les conditions de travail, à prévenir les risques professionnels auxquels les travailleurs peuvent être exposés en raison de leur activité ainsi que les dommages causés à des tiers ;
- les modalités de partage d'informations et de dialogue entre la plateforme et les travailleurs sur les conditions d'exercice de leur activité professionnelle ;

- les modalités selon lesquelles les travailleurs sont informés de tout changement relatif aux conditions d'exercice de leur activité professionnelle ;
- la qualité de service attendue, les modalités de contrôle par la plateforme de l'activité et de sa réalisation (...);
- le cas échéant, les garanties de protection sociale complémentaire négociées par la plateforme dont les travailleurs peuvent bénéficier.

Cette charte a pour objet de réguler les relations entre les plateformes et les travailleurs indépendants et de définir les droits et obligations des deux parties. Elle s'inscrit dans une volonté d'améliorer le statut et la protection des travailleurs des plateformes de mobilité.

La loi du 24 décembre 2019 a également inséré dans le Code des transports des dispositions encadrant cette activité prévoyant, entre autres, que :

- les travailleurs peuvent refuser une proposition de prestation de transport sans faire l'objet d'une quelconque pénalité. La plateforme ne peut notamment pas mettre fin à la relation contractuelle qui l'unit aux travailleurs au motif que ceux-ci ont refusé une ou plusieurs propositions ;
- les travailleurs choisissent leurs plages horaires d'activité et leurs périodes d'inactivité et peuvent se déconnecter durant leurs plages horaires d'activité. Les plateformes ne peuvent mettre fin au contrat lorsqu'un travailleur exerce ce droit<sup>7</sup>.

## Prise en charge des cotisations sociales et de la cotisation d'accident du travail

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2018, de nouveaux mécanismes de responsabilité sociale relatifs aux plateformes en ligne s'imposent aux plateformes. Elles doivent notamment prendre à leurs charges certaines cotisations sociales et certains frais des travailleurs indépendants qui ont recours à leurs services pour exercer leur activité professionnelle. C'est ainsi que lorsque le travailleur a réalisé sur la plateforme un chiffre d'affaires d'au moins 13 % du Plafond annuel de sécurité sociale (Pass) et a souscrit à une assurance couvrant le risque d'accident du travail (AT) ou adhère à l'assurance volontaire en matière d'AT, la plateforme prend en charge sa cotisation. Cette règle n'est pas applicable si le travailleur adhère à un contrat collectif souscrit par la plateforme et comportant des garanties au moins équivalentes à l'assurance volontaire en matière d'AT et que la cotisation à ce contrat est prise en charge par la plateforme<sup>8</sup>.

## Accès à la formation professionnelle continue et VAE

Le travailleur bénéficie, à sa demande :

- du droit d'accès à la formation professionnelle continue ;
- des actions de formations prévues dans le cadre



du développement des compétences prévu à l'article L. 6313-1 du Code du travail (formations, bilans de compétences, actions permettant de faire valider les acquis de l'expérience, formation par apprentissage) ;

- d'un abondement du compte personnel de formation (CPF) par la plateforme lorsque le chiffre d'affaires réalisé sur celle-ci est supérieur à un seuil déterminé selon le secteur d'activité du travailleur<sup>9</sup>.

### Dispositions applicables en matière de temps de travail

Les travailleurs peuvent choisir les plages horaires d'activité et leurs périodes d'inactivité ; ils peuvent également se déconnecter durant leurs plages d'activité. Les plateformes ne peuvent mettre fin au contrat lorsqu'un travailleur exerce ce droit<sup>10</sup>.

### Représentation des travailleurs de plateformes

L'ordonnance n° 2021-484 du 21 avril 2021 fixe désormais les règles de représentation des travailleurs des plateformes. Pour chacun des deux secteurs d'activité définis (conduite d'une voiture de transport avec chauffeur (VTC) et livraison de marchandises au moyen d'un véhicule à deux ou trois roues, motorisé ou non), il est prévu un scrutin national à tour unique, par vote électronique, sur sigle. Pour ce faire, une nouvelle autorité administrative est créée<sup>11</sup>.

### Création d'une nouvelle autorité administrative : l'Arpe<sup>12</sup>

Une autorité administrative est créée par l'ordonnance, l'Autorité des relations sociales des plateformes d'emploi (Arpe). Il s'agit d'un établissement public national à caractère administratif, placé sous la tutelle du ministre chargé du Travail et du ministre chargé des Transports.

Cette autorité a pour mission de réguler les relations sociales entre les plateformes et les travailleurs qui leur sont liés par un contrat commercial, notamment en assurant la diffusion d'informations et en favorisant la concertation. À ce titre, elle est notamment chargée de :

- fixer la liste des organisations représentatives des travailleurs en organisant, à cette fin, le scrutin ;
- assurer le financement des formations et l'indemnisation des jours de formation et des heures de délégation ;
- promouvoir auprès des représentants des travailleurs et des plateformes le développement du dialogue social et de les accompagner dans l'organisation des cycles électoraux ;
- autoriser la rupture des relations commerciales entre les plateformes et les travailleurs disposant d'un mandat de représentation ;

- collecter des statistiques, transmises par les plateformes, relatives à l'activité des plateformes et de leurs travailleurs, à l'exclusion des données à caractère personnel relatives aux clients et dans le respect de la loi n° 78-17 du 5 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, dans des conditions fixées par décret, afin de produire des études et rapports statistiques, en vue de leur mise à disposition des organisations représentatives.

### Organisation et fonctionnement

Pour l'accomplissement des missions qui lui sont confiées, l'Arpe peut demander :

- à se faire communiquer tout document en possession des plateformes, nécessaire à l'exercice de ses missions, notamment pour l'examen des demandes d'autorisation de rupture du contrat commercial ;
- l'audition de toute personne susceptible de contribuer à son information ;
- le financement des missions exercées par l'Arpe est assuré par une taxe acquittée par les plateformes dont le taux et l'assiette sont fixés par la loi de finances. ●

1. Informations issues du document de synthèse publié par l'INRS en janvier 2018 suite à l'exercice de prospective mené pour identifier les conséquences en santé et sécurité au travail des évolutions possibles de la plateforme (ubérisation) au cours des 10 prochaines années. Ce document met en évidence un certain nombre de points de vigilance et de nouvelles opportunités en matière de prévention.

2. Cour de cassation, chambre sociale, 12 novembre 2020, n° 19-10.606.

3. Cour de cassation, chambre sociale, 28 novembre 2018, n° 17-20.079 ; Cour de cassation, chambre sociale, 4 mars 2020, n° 19-13.316.

4. Cour d'appel de Paris, chambre 6-2, 10 janvier 2019, n° 18/08357.

5. Cour de cassation, chambre sociale, 4 mars 2020, n° 19-13.316.

6. Cour d'appel de Paris, 7 avril 2021, n° 18/02846.

7. Articles L. 1326-2 et L. 1326-4 du Code des transports.

8. Articles L. 7342-2, L. 7342-4 et D. 7342-1 du Code du travail.

9. Article L. 7342-3 du Code du travail.

10. Articles L. 1326-4 et L. 1326-5 du Code des transports.

11. Article L. 7313-1 du Code du travail.

12. Articles L. 7345-1 et suivants du Code du travail.

## POUR EN SAVOIR +

- Plateformisation 2027, Conséquences de l'ubérisation en santé et sécurité au travail, 12 janvier 2018, INRS, rapport consultable sur : [www.inrs.fr/media.html?refINRS=PV%208](http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=PV%208).

Les  
**Rendez  
-VOUS**

travail & sécurité



## RAYONNEMENTS IONISANTS, UN RISQUE INVISIBLE

Qui est concerné? Quels sont les risques et comment les prévenir? L'équipe de **Travail & Sécurité** vous propose une nouvelle table ronde en ligne. Des experts en prévention des risques professionnels et des entreprises répondront à vos questions.

**Le 21 octobre 2021 à 11h**



SUIVEZ L'ÉMISSION EN DIRECT  
OU EN REPLAY

POSEZ VOS QUESTIONS DÈS À PRÉSENT

Inscription sur: [inrs-rendezvous-ts.fr](https://inrs-rendezvous-ts.fr)

## Focus normalisation

# DES PRODUITS SÛRS AVEC UNE INTELLIGENCE ARTIFICIELLE COMPLEXE ?

Le législateur est confronté au défi de définir des exigences pour des systèmes dont le comportement est imprévisible.

**IS PRODUCT SAFETY COMPATIBLE WITH COMPLEX ARTIFICIAL INTELLIGENCE ? –  
For systems with unpredictable behaviour, defining requirements presents legislators  
with a challenge.**

CORRADO  
MATTIUZZO  
KAN

**B**ien qu'il n'existe pas de définition généralement acceptée de l'intelligence artificielle (IA), il est bien clair que les différentes méthodes qu'elle met en œuvre ont pour but d'aider l'individu à prendre des décisions – voire de se charger de les prendre à sa place. Il reste à préciser, en revanche, dans quels cas ou dans quelles conditions on peut permettre que les décisions d'un système qui ont une incidence sur la sécurité soient influencées ou automatisées par les méthodes de l'intelligence artificielle.

Les risques inhérents à un produit doivent être évalués et réduits à un niveau acceptable avant la mise à disposition sur le marché. Les spécifications concernant le niveau élevé de protection à respecter se trouvent dans les directives et règlements du Marché intérieur européen. Les produits et équipements de travail qui ne relèvent pas du domaine harmonisé sont soumis à des réglementations nationales.

Selon la hiérarchie des mesures de protection, un produit doit être conçu de manière à exclure tout danger dès le départ. Lorsque cela n'est pas réalisable, des dispositifs de protection doivent réduire les risques à un point tel qu'il ne subsiste que des risques résiduels acceptables. Et enfin, l'utilisateur doit être informé de ces risques. Les dispositifs de commande, s'ils sont utilisés pour exécuter les fonctions de sécurité d'un produit, constituent l'un des éléments déterminants de ce concept.

Il est essentiel que les fabricants soient en mesure d'évaluer les risques susceptibles d'émaner de leurs produits. Or, cette condition ne serait pas remplie en voulant par exemple se fier à un dispositif de commande assisté par apprentissage automatique<sup>1</sup>

pour empêcher que des personnes soient mises en danger par des pièces mobiles d'une machine : les concepteurs de systèmes qui reposent sur les méthodes complexes de l'intelligence artificielle (comme par exemple, l'apprentissage automatique avec réseaux neuronaux) ne sont pas, à ce jour, en mesure d'expliquer de manière satisfaisante, même rétrospectivement, pourquoi leur système s'est comporté de telle ou telle manière.

### La technique de sécurité en terrain inconnu

Les bases et hypothèses techniques sur lesquelles repose la technique de sécurité traditionnelle n'ont pas été élaborées en vue d'être appliquées à des systèmes qui prennent des décisions ayant une incidence sur la sécurité, de manière automatisée et par le biais de méthodes complexes de l'intelligence artificielle. C'est pourquoi des études sont menées actuellement sur des méthodes d'évaluation. Il est prévu que les résultats en soient exploités immédiatement pour le travail de normalisation<sup>2</sup>. L'objectif est de déterminer comment il est possible d'utiliser *a priori* l'IA, en relation avec des systèmes qui ont une incidence sur la sécurité.

Une approche permettant de démontrer de manière fiable la sécurité de systèmes très complexes consiste à définir des « arguments », destinés à fournir des indices « forts » déduits de manière inductive (mais non pas la preuve absolue). C'est l'approche adoptée depuis longtemps pour des technologies très complexes, notamment dans la technique nucléaire ou dans l'aérospatiale, mais aussi pour vérifier si un logiciel convient à une application ayant une incidence sur la sécurité.

**KAN Brief**  
KOMMISSION ARBEITSSCHUTZ UND NORMUNG

Cet article est issu du Bulletin d'information KANBrief n° 1/21 (consultable sur : [www.kan.de/fr](http://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](http://www.kan.de/en).

On s'efforce actuellement d'utiliser ces approches – qui relèvent plutôt du « management du risque » – afin d'élaborer des catalogues de critères pour un niveau acceptable de risques, visant également des méthodes de l'intelligence artificielle. Ces catalogues de critères peuvent contenir des indications sur la spécification et la modélisation, l'« explicabilité » et la « compréhensibilité » des décisions, la « transposabilité » à différentes situations, la vérification et la validation du système, la surveillance pendant l'exécution, l'interaction homme – machine, la sécurisation et la certification des processus, ainsi que l'éthique et la protection des données liées à la sécurité. C'est également dans ce sens que va la demande du Parlement européen en faveur d'un règlement (UE) relatif aux principes éthiques pour le développement, le déploiement et l'utilisation de l'IA, de la robotique et des technologies connexes. Le Parlement y propose de tels critères pour l'évaluation de la conformité.

Une telle approche signifie que la sécurité n'est pas définie en premier lieu d'après des caractéristiques produits vérifiables, mais par des critères de processus vérifiables. Pour se rapprocher d'un niveau élevé de sécurité allant dans le sens des réglementations européennes sur la sécurité des produits et de l'idée fondamentale de la prévention au travail, il faudrait d'abord prouver que les critères des « arguments » évoqués plus haut sont complets et fiables. C'est pourquoi, à proprement parler, les prescriptions qui définissent pour cela le cadre et les exigences essentielles ne peuvent, elles aussi, être établies qu'une fois que les hypothèses

sur lesquelles elles se basent ont fait leurs preuves de façon fiable.

### Les premières approches réglementaires

La norme ISO/TR 22100-5<sup>3</sup>, qui vient d'être publiée, tente de déterminer les limites à l'intérieur desquelles, en vertu de l'état actuel de la législation et de la normalisation, l'apprentissage automatique pourrait être intégré dans un système de commande de machine. La Commission européenne présente actuellement une proposition concernant non seulement la révision de la directive « Machines » n° 2006/42/CE, mais aussi un règlement sur l'IA qui contiendraient des cadres juridiquement contraignants pour l'utilisation de l'intelligence artificielle. Ces cadres doivent contenir des exigences complètes, claires et vérifiables sur les cas et les conditions dans lesquelles il est permis que des décisions d'un système ayant une incidence sur la sécurité soient influencées ou automatisées par des méthodes de l'intelligence artificielle. C'est maintenant aux experts qu'il revient d'examiner si ces critères sont respectés. ●

1. *L'apprentissage automatique consiste à donner aux ordinateurs la capacité d'apprendre à effectuer une tâche à partir de données, et non pas en étant explicitement programmés ou entraînés à partir de règles compréhensibles par l'être humain.*

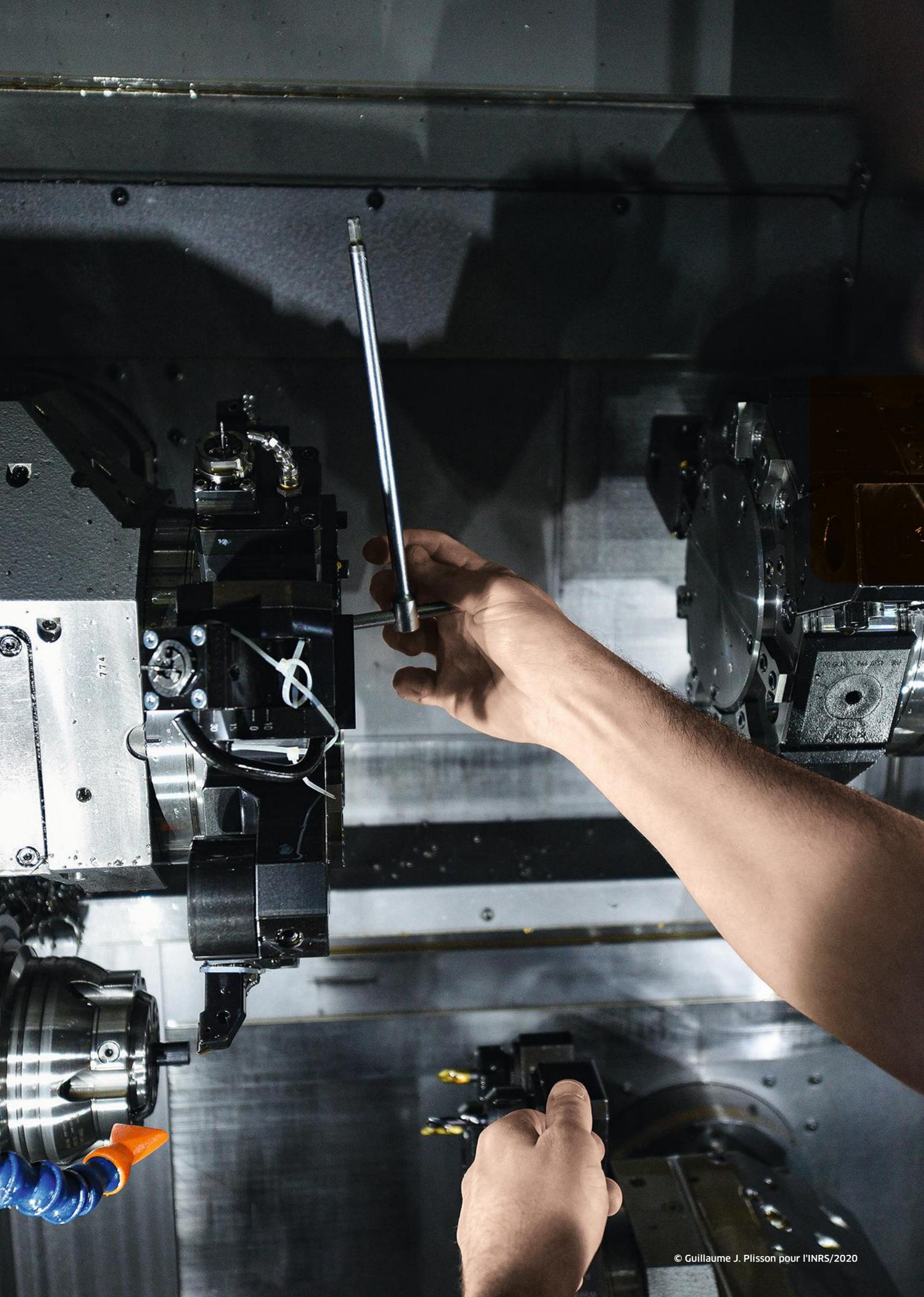
2. *Par exemple, le projet ISO/TR 5469 « Artificial intelligence – Functional safety and AI systems » (dans l'ISO/IEC JTC 1/SC 42/WG 3).*

3. *ISO/TR 22100-5:2021 – Sécurité des machines – En relation avec l'ISO 12100 – Partie 5 : Implications de l'intelligence artificielle pour l'apprentissage automatique.*



Application permettant à des chauffeurs-livriers de disposer d'informations à l'approche d'une entreprise cliente.

© Grégoire Maisonneuve pour l'INRS/2021



774

# FLUIDES DE COUPE : EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES, EFFETS SUR LA SANTÉ ET PRÉVENTION

❶ Formulation des fluides de coupe : suivi des évolutions  
P. 20

❷ Expositions aux fluides de coupe et principaux effets sur la santé : une revue des études épidémiologiques  
P. 24

❸ Méthodes d'évaluation des expositions aux fluides de coupe  
P. 33

❹ Les déterminants de l'exposition appliqués aux brouillards de fluide de coupe  
P. 38

❺ Prévention de l'exposition aux fluides de coupe : des solutions concrètes  
P. 45

Les fluides de coupe sont utilisés pour usiner des pièces et, plus généralement, pour travailler les métaux dans des secteurs d'activité tels que la métallurgie ou l'automobile. Ces fluides peuvent être à l'origine d'affections, principalement cutanées et respiratoires, du fait d'expositions par contact ou par inhalation de brouillards d'huile générés par les machines d'usinage. Les compositions de ces fluides, qui ont beaucoup évolué au cours du temps, peuvent aujourd'hui comprendre de nombreuses substances. La complexité chimique de ces fluides entraîne des difficultés dans la mesure des expositions et également dans la mise en œuvre de moyens de prévention. Ce dossier fait un point sur l'évolution de la formulation de ces fluides, leurs effets sur la santé, les moyens d'évaluation des expositions et sur l'état de la prévention dans les lieux de travail où ils sont mis en œuvre. Dans le dernier article, deux exemples de démarches de prévention mises en œuvre dans des entreprises sont également présentés.

---

**CUTTING FLUIDS: OCCUPATIONAL EXPOSURE, HEALTH IMPACT AND PREVENTION** –  
*Cutting fluids are used to machine parts, and more generally when working with metals in industries such as metalworking or automobile manufacturing. They mainly cause skin and respiratory disorders, due to contact or inhalation exposure to fluid mists generated by the machining tools. The composition of cutting fluids has evolved considerably over time, and may today include many substances. The chemical complexity of these fluids leads to challenges related to measuring exposure and implementing preventive measures. This dossier reviews how the formulation of these fluids has changed, their health impact, how to assess exposure, and the current state of prevention in workplaces where they are used. The final article presents two examples of prevention approaches implemented in companies.*

# FORMULATION DES FLUIDES DE COUPE : SUIVI DES ÉVOLUTIONS

Au cours des vingt dernières années, la formulation des fluides de coupe a très fortement été modifiée. Grâce à une meilleure connaissance des substances, de leur impact sur la santé et l'environnement (mise en place du règlement « Reach »), certaines molécules dangereuses entrant dans la composition des fluides de coupe ont été abandonnées, ce qui a obligé les formulateurs à modifier leurs compositions en s'orientant vers des composés moins dangereux, tout en maintenant les performances des fluides pour l'industrie. On peut ainsi suivre les évolutions de formulation au fil des contraintes sanitaires et environnementales.

**BÉNÉDICTE  
BIRON**  
Commission  
HSE de la  
Chambre  
syndicale  
nationale des  
lubrifiants  
(CSNIL)

**L**es fluides de coupe sont des composants essentiels dans le travail des métaux. Leur rôle est de faciliter les opérations de travail des métaux, en utilisant leurs propriétés physicochimiques, qui permettent deux actions principales : la lubrification et le refroidissement. Ils sont appliqués par arrosage sur la partie active des outils, ils prolongent leur vie, aident à l'évacuation des copeaux dans la zone de coupe et refroidissent également pièces et outils, en évacuant la chaleur générée lors des opérations de coupe. Les fluides se répartissent en deux grandes familles :

- les fluides dit « entiers » ou huiles entières, sont des fluides qui ne contiennent pas d'eau dans leur composition. Ils ont comme fonction prin-

cipale la lubrification de la coupe, grâce à leur teneur élevée en corps gras. Ils sont généralement à base d'huiles minérales d'origine pétrolière, ou à base d'huiles synthétiques issues de l'industrie chimique. Ils peuvent aussi contenir des huiles végétales comme les huiles de soja, de colza, de tournesol ou d'autres origines, dans des proportions plus ou moins importantes, ainsi que différents additifs chimiques en fonction des applications pour lesquelles ils sont formulés ;

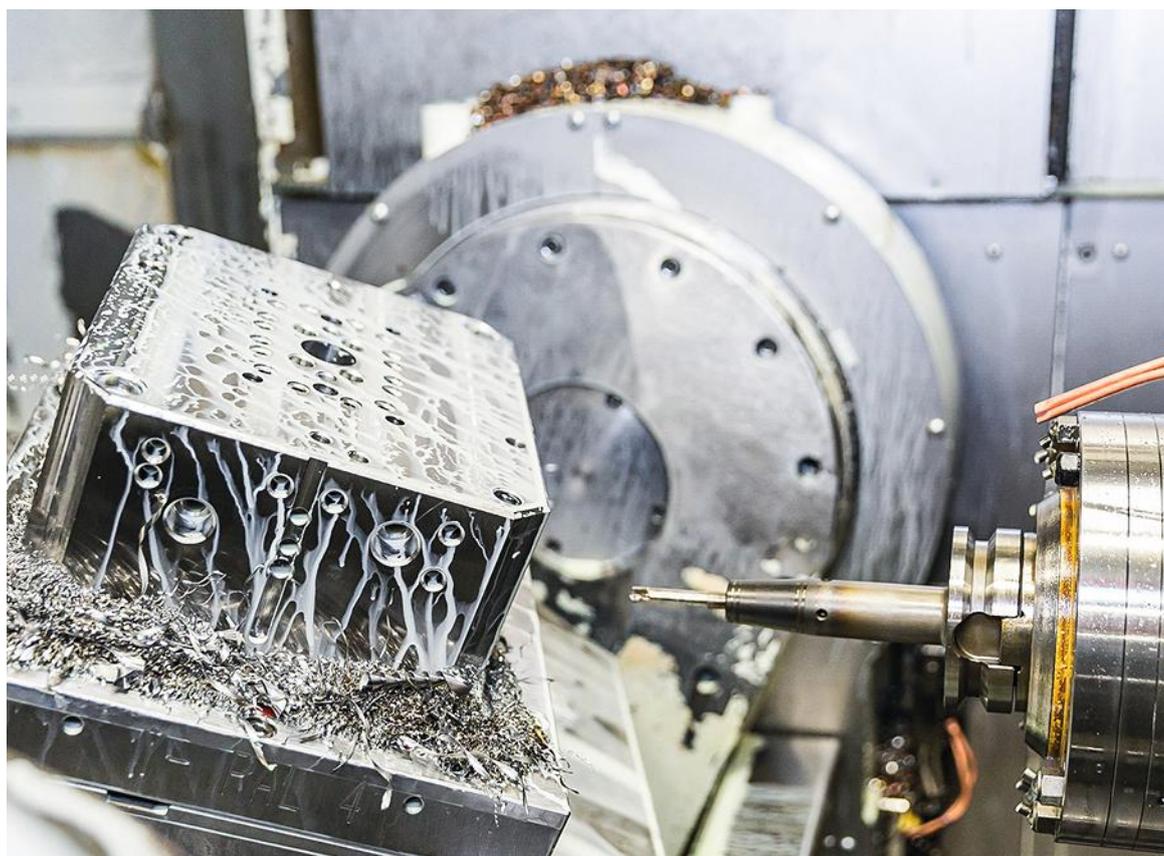
- les fluides aqueux, qui ont comme fonction principale le refroidissement, grâce à la capacité thermique massique élevée de l'eau. Ces fluides, commercialisés sous forme concentrée, sont utilisés en dilution dans l'eau et sont de deux types :
  - les émulsions, constituées de gouttelettes

## ENCADRÉ 1 TERMINOLOGIE

Différents termes peuvent être utilisés pour désigner des produits proches : fluide de coupe, fluide d'usinage, ou fluide de travail des métaux.

- La coupe et l'usinage désignent des procédés pour lesquels le métal est travaillé par enlèvement de matière (fraisage, tournage, décolletage, rectification...), alors que le terme « travail des métaux » est plus général et désigne également des procédés de mise en forme du métal par déformation (emboutissage, frappe à froid...).
- Dans ce dossier, le terme de « fluide de coupe » sera généralement utilisé même si, dans certains cas, il peut également inclure des fluides utilisés pour des opérations de déformation des métaux.

- Les opérations d'usinage génèrent la formation « d'aérosols de fluide de coupe » : il s'agit de particules solides ou liquides en suspension dans l'air et le mélange de gaz et de vapeur dans lequel elles sont en suspension. Ces aérosols sont souvent appelés « brouillards d'huile », même si cela est impropre dans le cas des fluides de coupe aqueux (le mot « brouillard » désigne, dans le langage courant, des suspensions de gouttelettes d'eau). Dans la suite du dossier, le terme de « brouillards d'huile » sera généralement utilisé pour désigner les aérosols de fluide de coupe.



Fabrication de moules en acier par usinage de haute précision mettant en œuvre des fluides de coupe dans les machines à commande numérique.

© Cédric Pasquini pour l'INRS/2020

d'huile additivée, dispersées dans l'eau et stabilisées par des tensioactifs ;

- les solutions, dont tous les composants sont solubles dans l'eau.

Une huile entière est toujours constituée d'une part importante d'huile (minérale, synthétique et/ou végétale), dans laquelle sont incorporés des additifs de performance comme les additifs soufrés, phosphorés, tels que des dithiophosphates de zinc ; ou encore, dans certaines compositions, des paraffines chlorées.

Les huiles de base pétrolières ont beaucoup évolué au fil du temps, ainsi que les méthodes de raffinage. Depuis les années 1980, les huiles peu raffinées avec des taux élevés d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ont été remplacées par des huiles très hydrogénées dont les cycles aromatiques sont détruits.

Il est néanmoins très important de suivre les taux de HAP dans les huiles en service, car celles-ci, au cours de leur utilisation, peuvent s'enrichir en polluants ou huiles étrangères et ainsi, voir leur taux en HAP augmenter. Il existe des recommandations sur le suivi des huiles en service (*Guide des bonnes pratiques pour une utilisation et une élimination sécurisée des fluides de travail des métaux de UKLA et Recommandation R 451 de la Cnam du 19 mai 2015 ; Cf. En savoir plus*).

Les paraffines chlorées, encore très utilisées

jusque dans les années 2000, sont aujourd'hui pratiquement absentes des compositions. Les paraffines chlorées représentent une très grande famille, répartie en trois catégories en fonction de la longueur de la chaîne carbonée : les paraffines chlorées à chaînes courtes (C10-C13), à chaînes moyennes (C14-C17) et à chaînes longues ( $\geq$  C18). Dans les années 1980 et 1990, les paraffines chlorées à chaînes courtes étaient très utilisées dans les huiles entières car elles étaient peu chères et donnaient une formulation « facile et rapide ». Au début des années 2000 (*Décision européenne n° 2003/549/CE ; Cf. Pour en savoir plus*), les paraffines chlorées à chaînes courtes ont été interdites dans les fluides de coupe, et les contraintes environnementales imposées pour les rejets contenant des paraffines chlorées, quelle que soit la longueur de chaîne, ont poussé le formulateur à les remplacer par d'autres additifs moins dangereux pour la santé et pour l'environnement, tout en conservant des performances similaires pour ses produits finis. Ainsi, les paraffines chlorées, qui entraient dans la composition de la majorité des fluides entiers, ont été pratiquement supprimées en l'espace de vingt ans.

Si les fluides de coupe entiers ont évolué, ce sont les fluides aqueux qui ont vu le plus de changements dans leur composition au cours de ces dernières années.



### Des changements dictés par la réglementation

Le moteur de ce changement est de façon incontestable le règlement « Reach » (Cf. *Pour en savoir plus*) et les différentes évolutions des classifications qui y sont rattachées, mais également pour la France la recommandation R 451 de la Cnam (Cf. *Pour en savoir plus*), qui a aidé les utilisateurs dans leur choix de produits moins dangereux.

Un fluide soluble est toujours composé d'huile ou de polymères amenant la lubrification, d'émulgateurs qui permettent l'émulsion, d'additifs de performance, d'additifs anticorrosion, d'amines et d'acides gras. De nombreux fluides, afin de permettre leur conservation dans le temps, contiennent encore des produits biocides. Depuis la mise en place de la réglementation sur les produits biocides (BPR, Règlement européen entré en vigueur le 1<sup>er</sup> septembre 2013 et remplaçant la directive européenne n° 98/8/CE ; Cf. *Pour en savoir plus*), le nombre de molécules biocides disponibles pour les fluides de coupe a été drastiquement réduit et ne restent à disposition du formateur que quelques-unes d'entre elles. En effet, pour être utilisées dans les fluides de travail des métaux, ces molécules doivent avoir été approuvées au niveau européen pour cette catégorie d'usage (22 catégories sont prévues par la réglementation). Il n'est pas possible d'utiliser un biocide enregistré dans une autre catégorie. Pendant très longtemps, les bactéricides utilisés pour la protection des fluides étaient des « libérateurs de formaldéhyde ». Au fil du temps, le formaldéhyde contenu dans la molécule se libérait dans l'émulsion et limitait la prolifération bactérienne. Le classement du formaldéhyde comme cancérigène de catégorie 1B par l'Union européenne implique, pour l'utilisateur, l'application des règles de prévention pour les agents CMR (cancérigènes, mutagènes, reprotoxiques)

conduit, et par conséquent, à un bannissement des libérateurs de formaldéhyde.

Reste à la disposition du formateur une famille : les isothiazolinones, molécules assez efficaces mais très allergisantes, et qui ont tendance à être prosrites ou mises sous surveillance par de nombreux utilisateurs de fluides de coupe, ce qui oblige le formateur à repenser la conception de son fluide. Le formateur ne « protège » plus le fluide des attaques bactériennes et fongiques, mais fait en sorte que, en utilisant des synergies, en repensant les équilibres entre certaines substances, les molécules contenues dans la composition du fluide soient aussi peu « attaquables » ou peu utilisables que possible par des micro-organismes, limitant ainsi leur prolifération et donc la dégradation du fluide.

Les amines, que l'on trouve encore en très grande majorité, sont les éthanolamines. Elles sont faciles à utiliser et surtout peu onéreuses. Elles sont facilement assimilables par les bactéries, mais dangereuses pour la santé des opérateurs. La diéthanolamine, qui est une éthanolamine secondaire, était encore très utilisée dans les années 1990 mais a progressivement été bannie, car il a été prouvé qu'elle générerait, en réaction avec les nitrites, des nitrosamines cancérigènes. Les nitrites ne sont plus utilisés depuis plus de 30 ans dans les fluides de coupe mais ils sont souvent présents dans les eaux industrielles utilisées pour la dilution des concentrés. Les amines secondaires ont été remplacées par des amines plus complexes, non génératrices de nitrosamines.

L'événement majeur pour l'évolution des fluides a été l'introduction de l'acide borique dans la liste des substances SVHC (liste des substances très préoccupantes) du règlement Reach (*Liste SHVC du 8 juin 2010 ; Cf. En savoir plus*). Dans les fluides de coupe, l'acide borique est neutralisé par une

## POUR EN SAVOIR +

- Guide des bonnes pratiques pour une utilisation et une élimination sécurisée des fluides de travail des métaux de UKLA, traduit par la CSNIL : [www.ukla.org.uk/wp-content/uploads/UKLA-HSE-Good-Practice-Guide-for-Safe-Handling-and-Disposal-of-Metalworking-Fluids.pdf](http://www.ukla.org.uk/wp-content/uploads/UKLA-HSE-Good-Practice-Guide-for-Safe-Handling-and-Disposal-of-Metalworking-Fluids.pdf) (en anglais). Une version française sera disponible prochainement sur le site de la CSNIL.
- Recommandation R 451 de la Cnam (CTN A) du 19 mai 2015 : [www.ameli.fr/sites/default/files/Documents/31228/document/r451.pdf](http://www.ameli.fr/sites/default/files/Documents/31228/document/r451.pdf).

- Décision européenne n° 2003/549/CE : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32003D0549&from=en>.
- Règlement « Reach » : [www.ecologie.gouv.fr/reglementation-reach](http://www.ecologie.gouv.fr/reglementation-reach).
- BPR, Règlement européen du 1<sup>er</sup> septembre 2013 et remplaçant la directive européenne n° 98/8/CE : <https://echa.europa.eu/fr/regulations/biocidal-products-regulation/understanding-bpr>.
- Liste SVHC du 8 juin 2010 : <https://echa.europa.eu/fr/>

*candidate-list-table.*

- Directive n° 2003/53/CE : <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:178:0024:027:FR:PDF>.
- Dossier Travail & sécurité sur les fluides de coupe : [www.travail-et-securite.fr/ts/dossier/Des%20produits%20à%20ne%20pas%20mettre%20entre%20toutes%20les%20mains.html](http://www.travail-et-securite.fr/ts/dossier/Des%20produits%20à%20ne%20pas%20mettre%20entre%20toutes%20les%20mains.html).
- Dossier INRS sur les fluides de coupe : [www.inrs.fr/risques/fluides-coupe/demarche-prevention.html](http://www.inrs.fr/risques/fluides-coupe/demarche-prevention.html).

amine, formant un « borate d'amine » dont les propriétés sont multiples. Ce borate est surtout utilisé pour ses excellentes propriétés anticorrosion ; il apporte également de très bonnes propriétés biostatiques aux fluides ; si ce n'est pas un biocide, il joue un rôle important sur la régulation des contaminations bactériennes. Le borate d'amine apporte un pouvoir tampon important au fluide, permettant de neutraliser les métabolites acides rejetés par les micro-organismes. Les fluides solubles à base de borate d'amine sont encore très largement utilisés car ils sont performants, ont une bonne tenue dans le temps et sont économiquement intéressants. Néanmoins, la classification de l'acide borique, comme toxique pour la reproduction, et son inclusion dans la liste SVHC ainsi que les contraintes que cela impose, obligent les formulateurs à concevoir des fluides sans acide borique, donc sans borate. Ces fluides sans borate existent depuis longtemps mais, à l'origine, présentaient souvent le très gros inconvénient d'une faible résistance aux micro-organismes, entraînant une mauvaise tenue dans le temps. Désormais, de nouvelles compositions performantes de fluides, sans borate et sans biocides, sont à la disposition des utilisateurs.

Au début des années 2000, les nonylphénols ont été interdits dans les fluides de coupe (*Directive n° 2003/53/CE ; Cf. Pour en savoir plus*) ; il a fallu composer avec d'autres molécules éthoxylées, capables d'émulsionner efficacement huile et additifs de performance. Les alcools gras et autres éther-oxydes ont été introduits en remplacement des nonylphénols et sont toujours utilisés dans les formulations ; ils sont ajustés très précisément pour contrôler une mise en émulsion facile, sans déphasage, et pour permettre un contrôle efficace du moussage.

La contrainte pour le formulateur augmente donc : ne plus utiliser de biocides, ne plus utiliser de borates, ne plus utiliser d'éthanolamines, etc., tout en gardant les mêmes performances de stabilité dans le temps, de résistance aux micro-organismes, et en étant économiquement rentables.

Les formulations doivent être ajustées très précisément. Le formulateur remplace désormais les éthanolamines par des cocktails d'amines complexes liposolubles neutralisées *in situ* dans les mélanges par différents acides carboxyliques. Ces savons (du point de vue de la composition chimique), plus complexes que les précédents, sont difficilement attaquables par les micro-organismes et permettent d'obtenir des fluides sans biocides.

Les formulations deviennent plus complexes, elles ne comportent plus une dizaine de composants, mais souvent plus de 25, dont quatre ou cinq amines différentes, neutralisées avec autant d'acides carboxyliques.



© Gael Kerbaol pour l'INRS/2016

Le formulateur doit réaliser des études poussées et s'inspirer des molécules utilisées dans des secteurs comme la cosmétique, car les deux secteurs (cosmétiques et fluides de coupe) présentent souvent des contraintes proches alors que très peu de nouvelles molécules, présentant des propriétés physicochimiques intéressantes pour l'industrie, arrivent sur le marché.

Au fil du temps et de l'évolution des connaissances sur l'impact des substances sur la santé des utilisateurs, le cahier des charges du formulateur a donc très largement évolué ; le premier critère dans la formulation est désormais d'éviter d'utiliser des substances controversées, pouvant être visées à plus ou moins long terme par une interdiction ou pouvant entraîner des risques pour la santé des opérateurs.

Pour répondre aux questions que peuvent se poser les préventeurs sur ces mélanges de substances, souvent complexes, très utilisées dans l'industrie, le lecteur trouvera dans ce dossier les articles suivants :

- Expositions aux fluides de coupe et principaux effets sur la santé : une revue des études épidémiologiques (*Cf. Article pp. 24-32*) ;
- Méthodes d'évaluation des expositions aux fluides de coupes (*Cf. pp. 33-37*) ;
- Les déterminants de l'exposition appliqués aux brouillards de fluide de coupe (*Cf. pp. 38-44*) ;
- Prévention de l'exposition aux fluides de coupe : des solutions concrètes (*Cf. pp. 45-50*). ●

Usinage de pièces effectué sur des machines équipées d'enceintes de confinement.

# EXPOSITIONS AUX FLUIDES DE COUPE ET PRINCIPAUX EFFETS SUR LA SANTÉ : UNE REVUE DES ÉTUDES ÉPIDÉMIOLOGIQUES

**Peau qui démange, nez qui coule, gêne respiratoire, toux persistante dans un contexte de travail des métaux, voire suspicions de cancers... Les fluides de coupe peuvent être à l'origine d'un certain nombre d'effets sur la santé des travailleurs. Quels sont ces effets, connus ou suspectés, rapportés par les études épidémiologiques ?**

ÈVE  
BOURBKARD,  
VALÉRIE  
DEMANGE  
INRS,  
département  
Épidémiologie  
en entreprise

**E**n 2017, près d'un million et demi de travailleurs étaient exposés aux fluides de coupe en France (fluides de coupe aqueux ou synthétiques, huiles minérales entières et huiles synthétiques) [Dares, 2020]<sup>1</sup>. Ces fluides sont utilisés notamment au cours des étapes d'usinage des métaux, d'électro-érosion, ou de déformation des métaux. Le processus d'usinage de pièces métalliques génère un aérosol complexe, contenant des particules solides et/ou liquides en suspension dans un gaz. Cet aérosol, ou brouillard d'huile, peut rester en suspension dans l'air pendant plusieurs heures, souvent dans l'environnement respiratoire du travailleur. Son exposition aux fluides de coupe peut se produire par inhalation du brouillard d'huile, par contact cutané, direct ou *via* des vêtements souillés, et éventuellement par ingestion. Ainsi, les effets sur la santé les plus documentés concernent l'appareil respiratoire (pneumopathie d'hypersensibilité, asthme, symptômes respiratoires) et la peau (dermatites de contact et cancers). Outre la peau, d'autres localisations de cancer ont été étudiées. L'objectif de cet article est de faire le point sur les principales études épidémiologiques publiées.

## **Fluides de coupe et santé respiratoire**

Dans son rapport sur les conséquences sur la santé des fluides de coupe paru en 2009, l'Afsset<sup>2</sup> identifie les pathologies du parenchyme pulmonaire et les symptômes et pathologies de l'arbre trachéobronchique.

Les pathologies du parenchyme pulmonaire comprennent la pneumopathie lipidique (publication

de cas), la pneumopathie et la fibrose dues à l'inhalation de particules de métaux durs (cobalt et carbure de tungstène : études transversales des années 1980 à 1990 [Sprince, 1988 ; Meyer-Bisch, 1989 ; Fischbein, 1992, in : Kennedy, 1995], la fièvre de Pontiac (publication d'une épidémie dans une usine de construction automobile [Herwaldt, 1984], pas d'autre publication depuis) et la pneumopathie d'hypersensibilité (PH). Encore appelée « alvéolite allergique extrinsèque », cette pathologie est une inflammation du parenchyme pulmonaire par mécanisme immunologique allergique humoral et cellulaire, en réaction à la présence d'antigènes et de facteurs favorisants, génétiques ou environnementaux [Spagnolo, 2015]. Les PH surviennent le plus souvent sous forme de « clusters » au sein d'une entreprise, faisant suite à la colonisation de réservoir de fluide de coupe aqueux par des micro-organismes [Afsset, 2009]. Le diagnostic clinique est difficile à poser et à relier avec certitude aux fluides de coupe utilisés. De 1990 à 2011, 27 clusters ont été rapportés dans la littérature [Rosenman, 2015], avec une diminution du nombre de publications à partir des années 2000 [Burton, 2012]. En Grande-Bretagne, les fluides de coupe sont devenus en vingt ans la première cause de PH d'origine professionnelle, représentant 35 % des causes de cette pathologie [Barber, 2017]. Une raison possible est le développement de l'utilisation des fluides aqueux. En France, l'analyse des données du Réseau national de vigilance et de prévention des pathologies professionnelles (RNV3P), entre 2001 et 2015, retrouve 10 cas de PH rapportés aux fluides de

coupe sur 186 cas de PH professionnelle [Paris, 2017]. De manière générale, de nombreux agents dans les fluides de coupe pourraient en être à l'origine : bactéries, mycobactéries, moisissures, biocides, émulsifiants, masqueurs d'odeurs, chrome et cobalt dissous [Burge, 2016]. Une revue de la littérature sur la période 1999-2019 a permis d'identifier les antigènes ayant causé cette pathologie et les contextes environnementaux qui y sont liés [Petnak, 2020]. Les micro-organismes associés aux fluides de coupe retrouvés étaient les suivants :

- **bactéries** : *Acinetobacter spp*, *Bacillus spp*, *Ochrobactrum spp*, *Saccharomonospora viridis*, *Thermoactinomyces vulgaris*, *Thermoactinomyces candidus* ;
- **moisissures** : *Aspergillus spp*, *Candida albicans*, *Penicillium spp*, *Fusarium solani*, *Fusarium spp* ;
- **mycobactéries** : *Mycobacterium immunogenum*.

Une étude récente a incriminé les fluides de coupe dans la genèse d'une nouvelle pathologie de l'appareil respiratoire associant bronchiolite, inflammation des canaux alvéolaires et emphyseme (en anglais, Bade : *bronchiolitis, alveolar ductitis and emphysema*). Deux fluides de coupe étaient

suspectés d'en être à l'origine : l'un était conçu pour promouvoir la croissance de *Pseudomonas Pseudoalcaligenes*, assurant la stabilité du fluide en inhibant la croissance d'autres micro-organismes pouvant dégrader le fluide ; l'autre était un fluide synthétique contenant des biocides et était utilisé dans une moindre mesure. Cinq travailleurs en production présentant des symptômes respiratoires d'aggravation progressive se sont révélés atteints par cette nouvelle pathologie. L'origine professionnelle de cette affection était probable du fait de l'absence d'antécédents personnels ou familiaux, de cas similaires dans les services de soins de leur environnement et du fait de l'amélioration des symptômes en dehors du travail et d'une nouvelle dégradation lors du retour au poste de travail. En ce qui concerne la ou les agents responsables, les auteurs évoquent le rôle possible des endotoxines, de même que de bactéries dont *Pseudomonas pseudoalcaligenes*, qui colonisait en grande quantité les fluides. Ils n'excluent cependant pas le rôle d'autres constituants des fluides de coupe, d'origine ou modifiés par les bactéries présentes [Cumings, 2019].

En 2020, une étude a reposé sur les prélèvements réalisés lors de l'étude citée ci-dessus, dans

Fabrication de pièces en titane, aluminium ou inconel pour l'industrie aéronautique. Les machines d'usinages sont dotées d'un système d'aspiration des brouillards d'huile générés par l'utilisation de fluides lubrifiants.



© Vincent Nguyen pour l'INRS/2020



Spécialisée dans la maintenance de pièces métalliques, l'entreprise a mis en place des améliorations dans ses ateliers, et notamment installé des capteurs de brouillards d'huile.

l'atmosphère des ateliers de l'usine et dans les fluides de coupe [Wu, 2020]. De plus, les biopsies pulmonaires de quatre travailleurs atteints de BADE ont été comparées à celles de 16 patients hospitaliers n'ayant jamais travaillé dans l'usine. La composition microbienne des biopsies pulmonaires des travailleurs malades était plus proche de celle des fluides de coupe que ne l'était celle des biopsies des patients hospitaliers. Enfin, des écouvillonnages du nez, de la peau et de la cavité buccale à visée exploratoire ont été réalisés auprès de 302 travailleurs de l'usine, situés dans trois zones différentes : administration, magasin et assemblage. Les prélèvements des travailleurs de ces deux dernières zones, exposant aux fluides de coupe, avaient une composition microbienne plus proche de celles des fluides de coupe que les prélèvements des travailleurs de l'administration. Cela suggère une transmission des micro-organismes des fluides de coupe vers les travailleurs exposés [Wu, 2020].

Concernant les pathologies de l'arbre trachéo-bronchique, l'asthme, de mécanisme allergique ou irritatif, est associé, dans plusieurs études, à l'exposition aux brouillards de fluides de coupe, mais la substance responsable de cet asthme est

rarement identifiée avec certitude [Afsset, 2009]. Le nombre enregistré de cas d'asthme, en lien avec le travail, causés par les fluides de coupe apparaît en diminution après 2005 au Michigan et au Royaume-Uni, d'après les systèmes de surveillance Sensor et Shield respectivement [Rosenman, 2015]. En France également, une tendance à la baisse du nombre de cas d'asthmes en relation avec le travail enregistrés dans le RNV3P a été mise en évidence dans le secteur de la manufacture de produits métalliques sur la période 2001-2009 [Paris, 2012]. Les centres pour le contrôle et la prévention des maladies (*Centers for Disease Control* : CDC) américains ont publié en 2019 une évaluation de risque quantitative concernant l'exposition aux fluides de coupe et les maladies respiratoires [Park, 2019]. Elle portait sur des études publiées et des évaluations de risque faites par l'Institut national pour la sécurité et la santé professionnelles (*National institute for occupational safety and health* : Niosh) dans des entreprises à la demande de travailleurs ou d'employeurs. Cela concernait des utilisations de fluides de coupe antérieures aux années 2000. Le type de fluides de coupe n'était pas distingué et les risques d'asthme



© Vincent Nguyen pour l'INRS/2021

et de PH étaient évalués ensemble. Le risque global au cours de la vie professionnelle était estimé à 3 %, lors d'une exposition des travailleurs à une concentration de fluides de coupe de 0,1 mg/m<sup>3</sup>, si la prévalence de contamination des fluides de coupe susceptible de générer un cluster était de 5 % [Park, 2019]. Ilgaz et *al.* ont évalué l'efficacité d'appareils de protection respiratoire individuels utilisés par des travailleurs présentant un asthme professionnel aux fluides de coupe et continuant de travailler dans cet environnement [Ilgaz, 2019]. Les appareils permettaient de réduire l'obstruction des voies aériennes des travailleurs (élément de surveillance du souffle des asthmatiques) mais sans la supprimer complètement.

Parmi les conséquences sur la santé respiratoire de l'exposition aux fluides de coupe, les symptômes respiratoires sont plus fréquents que l'asthme et la PH [Rosenman, 2015]. Il s'agit de toux chronique, expectorations chroniques, bronchite chronique, dyspnée, et symptômes de rhinite (rhinorrhée, prurit nasal, gêne nasale) [Afsset, 2009 ; Rosenman, 2015 ; Park, 2008]. Les substances responsables ne sont pas identifiées [Afsset, 2009]. Ces symptômes seraient apparus à partir de l'utilisation de fluides de coupe à composante aqueuse [Rosenman, 2015]. Cependant, des études transversales ont mis en évidence une association entre exposition à des huiles entières et symptômes respiratoires (toux chronique [Ameille, 1995], expectorations, sifflements et dyspnée [Greaves, 1997]). La fonction ventilatoire peut être altérée par l'exposition aux brouillards de fluides de coupe comme le rapportent plusieurs études qui montrent une diminution peu importante, essentiellement du volume expiratoire maximal par seconde (VEMS). Cette altération de la fonction ventilatoire est observée pour des niveaux d'exposition fréquemment retrouvés en entreprise et pour tous les types de fluides de coupe [Afsset, 2009]. Une relation dose-réponse entre la baisse du VEMS à court terme (entre le début et la fin de poste ou le début et la fin de semaine de travail) et l'exposition aux fluides de coupe tous fluides confondus, ou uniquement huiles entières respectivement, a été mise en évidence [Kennedy, 1989 ; Kriebel, 1997 in : Afsset, 2009]. Toutefois, une récente étude norvégienne, menée parmi des travailleurs de forage sur des plateformes pétrolières *off-shore*, n'a pas révélé d'association en faveur d'un rôle de l'exposition professionnelle sur une baisse éventuelle du VEMS [Kirkhus, 2018].

### Fluides de coupe et peau

Outre l'appareil respiratoire, la peau est souvent atteinte lors de l'exposition aux fluides de coupe. Ainsi, les dermatites de contact (encore appe-

lées eczémas) sont fréquentes parmi les travailleurs exposés [Afsset, 2009]. Une étude menée en Suisse a décrit les maladies professionnelles attribuées aux fluides de coupe sur la période 2004-2013 [Koller, 2016]. Sur 1 385 maladies professionnelles, 92 % concernaient la peau. Parmi celles-ci, le diagnostic prédominant était la dermatite de contact (98 %). Dans cette étude, une analyse de tendance fait ressortir que la prévalence des maladies cutanées liées aux fluides de coupe diminuait sur la période étudiée. En 2019, Park et *al.* ont mis en évidence que la prévalence de symptômes cutanés était de 0,10 à 0,85 pour 1 000 dans les études mises en place, suite à la découverte de clusters de pathologies respiratoires dues aux fluides de coupe, illustrant la coexistence des atteintes respiratoire et cutanée dans ce contexte d'exposition professionnelle. Sur la vie entière, la prévalence de l'eczéma des mains parmi les métallurgistes est évaluée, selon les études, entre 30% et 63 %. L'eczéma des mains en relation avec le travail débute fréquemment pendant l'apprentissage [Reich, 2020]. Les dermatites de contact sont considérées comme de mauvais pronostic, car elles peuvent persister même après l'arrêt de l'exposition aux fluides de coupe [Afsset, 2009]. Cependant, des études sur l'efficacité de mesures de prévention (enseignement sur la maladie, conseils médicaux adaptés) dans cette population, lors de l'apprentissage ou plus tard dans la vie professionnelle, montrent qu'elles mènent à une diminution de l'incidence [Reich, 2020] ou une diminution de la sévérité de l'atteinte [Wilke, 2018].

La dermatite de contact peut être d'origine irritative ou allergique. L'origine irritative est prédominante parmi les travailleurs exposés aux fluides de coupe, représentant 50% à 80 % des dermatites de contact [Afsset, 2009]. En Amérique du Nord, l'étude rétrospective de 39 331 tests de sensibilisation (*patch tests*) sur la période 1998-2014, réalisés auprès de patients adressés pour suspicion de dermatite, a mis en évidence que les travailleurs en production avaient des prévalences de dermatite de contact d'irritation et allergique plus élevées que les travailleurs n'étant pas en production. Parmi les travailleurs en production, 6,8 % des *patch tests* étaient positifs pour les fluides de coupe [Warshaw, 2017]. Du fait du grand nombre de produits chimiques intervenant dans la composition des fluides de coupe, l'identification des irritants ou allergènes responsables peut être difficile [Afsset, 2009 ; Schubert, 2020 ; Nett, 2021]. Une mise à jour de la littérature depuis 2015 a permis de répertorier des publications de cas de dermatite de contact allergique impliquant le *N*-butyl-1,2-benzisothiazolin-3-one, le 2-butyl-1,2-benzisothiazol-3(2H)-one,



le 2-amino-2-méthyl-1-propanol, la colophane et la méthyl-chloroisothiazolinone/méthyliso-thiazolinone [Nett, 2021]. Une étude épidémiologique en Allemagne a conduit à décrire, sur la période 2012-2017, les expositions professionnelles et les composés auxquels étaient sensibilisés 230 métallurgistes, pour qui une dermatite professionnelle était suspectée [Schubert, 2020]. Les sensibilisations les plus fréquemment observées concernaient le formaldéhyde et les produits en libérant, l'acide abiétique, la colophane et la monoéthanolamine. La sensibilisation à la méthylisothiazolinone était fréquente. Fluides de coupe et produits de soins pour la peau représentaient les expositions professionnelles les plus fréquentes. La même étude, menée à plus grande échelle par la même équipe, a conduit à exploiter les résultats de tests de sensibilisations, sur la période 2010-2018, de 804 travailleurs utilisant quotidiennement des fluides de coupe et présentant un diagnostic de dermatite professionnelle. En plus des sensibilisations aux substances précédentes, celle au butylcarbamate-iodopropynyl était fréquente [Schubert, 2020b]. D'autres affections cutanées, en lien avec l'exposition aux fluides de coupe, moins fréquentes que les dermatites de contact, ont été rapportées. Pour les huiles entières, il s'agit des folliculites et acnés, ainsi que des kératoses, lésions précancéreuses cutanées, devenues rares avec l'amélioration du raffinage des huiles. Pour les fluides aqueux, il s'agit des hyperpigmentations dues aux parfums et des leucodermies dues aux phénols, devenues exceptionnelles. Les granulomes suite à la pénétration accidentelle sous pression d'huile dans la peau sont également rares [Afsset, 2009] (Cf. Encadré 1).

### Fluides de coupe et cancers

Les auteurs des études épidémiologiques s'intéressant à la cancérogénicité potentielle des fluides de coupe sont confrontés à plusieurs difficultés. En effet, l'exposition aux fluides de coupe est difficilement caractérisable en raison de la présence de nombreux éléments chimiques, de l'évolution de la composition des fluides de coupe au cours du temps et lors de leur utilisation. De plus, l'étude des cancers, en raison de leur survenue relativement rare et potentiellement retardée depuis le début de l'exposition, entraîne la mise en place d'une méthodologie épidémiologique ne permettant pas une quantification précise des expositions. Enfin, ces études ne tiennent pas nécessairement compte des caractéristiques individuelles de chaque sujet pouvant influencer la relation entre l'exposition aux fluides de coupe et la survenue du cancer (consommation de tabac et d'alcool, autres expositions professionnelles...).

La littérature épidémiologique permettant d'évaluer le risque potentiel de cancer associé à des fluides de coupe est relativement limitée. Cette revue des études épidémiologiques synthétise les résultats obtenus par localisation de cancer. Tout d'abord, sont présentées les localisations pour lesquelles des études rapportent une forte association (cancers cutanés et du scrotum). Ensuite, sont proposées les localisations pour lesquelles les résultats sont en faveur d'une association (vessie, rectum et larynx). Puis, sont indiquées les localisations pour lesquelles les résultats des études épidémiologiques sont discordants (poumon, pancréas, sein). Enfin, sont présentées les localisations qui ne semblent pas être associées à des expositions aux fluides de coupe (estomac, foie et voies biliaires, œsophage, prostate, côlon).

#### ENCADRÉ 1

#### LISTE NON EXHAUSTIVE D'IRRITANTS ET D'ALLERGÈNES DANS LES FLUIDES DE COUPE [AFSSET, 2009]

Les agents irritants sont surtout liés aux fluides aqueux :

- le pH alcalin des fluides aqueux ;
- les additifs émulsifiants (acide abiétique, diéthanolamides, acide oléique...) ;
- les additifs anticorrosifs (triéthanolamine, mercaptobenzothiazole, sulfate d'hydrazine, chromates...) ;
- les additifs biocides (formaldéhyde et libérateurs de formaldéhyde, isothiazolinones, phénols, morpholines, éthylènediamine...) ;
- les lésions de la barrière cutanée dues aux traumatismes mécaniques.

Les agents pouvant être responsables de dermatites de contact allergiques :

- les biocides (formaldéhyde et libérateurs de formaldéhyde, morpholines, éthylènediamine, isothiazolinones...) ;
- les métaux (chrome, cobalt, nickel) dont la concentration augmente dans les fluides de coupe usagés ;
- les additifs émulsifiants (acide abiétique contenu dans la colophane, diglycolamine) ;
- les additifs anticorrosion (borates d'alkanolamines, monoéthanolamine, diéthanolamine, triéthanolamine) ;
- les parfums (baume du Pérou).

### Cancers cutanés et du scrotum

Les huiles minérales (issues du pétrole brut) utilisées dans différentes activités professionnelles comme l'usinage des métaux, ont fortement et régulièrement été associées avec les cancers épidermoïdes de la peau, et en particulier du scrotum. Au cours de la période 1910-1975, près d'une trentaine d'études, menées dans différents pays, ont été publiées. Elles concernent l'analyse des séries de cas de cancers du scrotum et d'autres localisations de la peau, associées à des expositions professionnelles aux huiles minérales. Dans les années 1970, des études épidémiologiques ont mis en évidence un risque de cancer du scrotum parmi des travailleurs sur machines-outils. Ainsi, en 1984, les experts du Centre international de recherche sur le cancer (Circ) ont considéré qu'il y avait « suffisamment de preuves à partir d'études réalisées chez l'homme » pour classer « les huiles minérales (contenant des additifs et des impuretés) utilisées pour les activités d'usinage des métaux, de traitement du jute et de filature, cancérigènes pour l'Homme » (groupe 1) [Circ, 1984]. Cependant, les processus de production de ces huiles ont évolué au cours du temps et les méthodes de fabrication plus récentes ont permis d'obtenir des produits hautement raffinés qui contiennent de plus petites quantités de contaminants, tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). C'est pourquoi les experts du Circ ont affiné leur conclusion en 1987, en classant les huiles minérales (issues du pétrole brut) selon leur degré de raffinage : non ou légèrement traitées dans le groupe 1 (cancérogènes pour l'Homme) et hautement raffinées dans le groupe 3 (ne peuvent pas être classées quant à la cancérogénicité pour l'homme) [Circ, 1987]. Sur la base de nouvelles études épidémiologiques publiées [Zhao, 2005], les experts ont confirmé en 2012 la cancérogénicité pour la peau (notamment au niveau du scrotum) des huiles minérales non ou légèrement traitées [Circ, 2012]. En raison des changements survenus dans la composition des huiles minérales au cours des dernières décennies, les expositions actuelles aux fluides de coupe pourraient être associées à un risque plus faible de ces cancers.

### Cancer de la vessie

À partir des années 1970, plusieurs études épidémiologiques cas-témoins ont été conduites en population générale, avec pour objectif de rechercher une éventuelle association entre des intitulés d'emploi et le cancer de la vessie. La plupart de ces études ont rapporté un risque de cancer de la vessie associé à certains emplois, au cours desquels des fluides de coupe avaient pu être utilisés : opérateurs de machine-outil [Steenland, 1987 ; Silverman, 1989 ; Band, 2005], opérateurs



© Vincent Nguyen pour l'INRS/2020

de machines à mouler le métal ou le plastique [Zheng, 2002 ; Colt, 2004 ; Colt, 2011], tourneurs sur métaux [Schiffler, 1987 ; Claude, 1988], opérateurs de perçage des métaux, ajusteurs [Vineis, 1983 ; Silverman, 1989 ; Gonzalez, 1989]. D'autres études cas-témoins menées en France ont mis en évidence un risque de cancer de vessie, en lien avec une exposition à des fluides de coupe, estimée sur la base des intitulés d'emploi, et d'une évaluation semi-quantitative de l'exposition [Cordier, 1993 ; Hours, 1994]. Par la suite, plusieurs études de mortalité ont été conduites au sein de cohortes de salariés employés, au cours de la période 1950-1997, dans différentes industries appartenant aux secteurs de l'industrie automobile [Park, 1996 ; Delzell, 2003 ; Costello, 2020], de la métallurgie [Jarvholm, 1987 ; Rotimi, 1993], de la sidérurgie [Bourgkard, 2009] ou de l'aérospatiale [Zhao, 2005]. Parmi celles-ci, seule l'étude, menée dans la sidérurgie en France, a montré un excès de décès par cancer de la vessie, en relation avec des expositions professionnelles aux brouillards d'huile [Bourgkard, 2009]. Les auteurs de travaux publiés plus récemment se sont intéressés au risque de cancer de vessie en fonction des

Machines d'usinage dotées d'un système d'aspiration des brouillards d'huile générés par l'utilisation de fluides lubrifiants.





© Vincent Nguyen pour l'INRS/2021

**Fraisage de pièces pour l'industrie pétrolière.**

différentes familles de fluides de coupe. Plusieurs études ont mis en évidence un risque de cancer de vessie en relation avec des expositions aux huiles entières. Il s'agit d'études conduites dans l'industrie automobile aux États-Unis [Friesen, 2009 ; Colt, 2014] et dans la sidérurgie en France [Colin, 2018]. Dans cette dernière étude, les résultats ont tenu compte des facteurs professionnels et extra-professionnels du cancer de la vessie. Aucune association n'a été observée avec les expositions aux fluides solubles et les expositions aux fluides synthétiques.

**Cancer du rectum**

Plusieurs études épidémiologiques ont rapporté un risque de cancer du rectum associé à des expositions aux fluides de coupe, et plus particulièrement, aux huiles entières. Ces études ont été conduites parmi des travailleurs employés dans des usines de fabrication de roulement à billes [Park, 1988], de construction automobile [Tolbert, 1992 ; Gerhardsson de Verdier, 1992 ; Eisen, 2001 ; Malloy, 2007] aux États-Unis, ou en population générale au Québec [Siemiatycki, 1987]. Une des études recensées fait également apparaître un risque de cancer du rectum plus marqué parmi les travailleurs employés avant 1970 [Eisen, 2001], ce qui pourrait être en faveur d'une diminution du risque avec le temps. Une

mise à jour de la mortalité de cette cohorte de travailleurs de l'industrie automobile n'a pas montré d'association entre une exposition aux huiles entières et la mortalité par cancer du rectum [Costello, 2020].

**Cancer du larynx**

Seules les études conduites dans une cohorte professionnelle de l'industrie automobile américaine ont rapporté des résultats concernant le risque de cancer du larynx. Ce risque a été observé parmi des travailleurs ayant été exposés, au cours de leur carrière professionnelle, à des huiles entières [Tolbert, 1992], ou exposés à des concentrations cumulées élevées d'huiles entières [Eisen 1994]. Une mise à jour du suivi de la mortalité de ces travailleurs, publiée en 2001, a montré un excès de risque de cancer du larynx pour des expositions à des concentrations élevées d'huiles entières, mais statistiquement non significatif [Eisen, 2001]. Cette étude a indiqué également un risque moins élevé parmi les travailleurs embauchés après 1970. Aucun risque de cancer du larynx n'a été observé dans la dernière mise à jour du suivi de la mortalité de ces travailleurs publiée en 2020 [Costello, 2020].

Ces différentes études n'ont pas révélé de risque de cancer du larynx associé à des expositions à des fluides solubles et à des fluides synthétiques.

### Cancer du poumon

Les résultats des études épidémiologiques s'intéressant au risque de cancer du poumon sont très discordants et ne permettent pas de conclure. L'absence d'un excès de risque a pu être observé dans des études de cohorte menées dans des usines de fabrication de roulement à billes [Park, 1988 ; Silverstein, 1988] et dans l'industrie automobile [Tolbert, 1992 ; Park, 1996 ; Eisen, 2001 ; Friesen, 2009 ; Costello, 2020]. Une sous-mortalité par cancer du poumon a été rapportée dans une étude cas-témoins, menée au sein d'une cohorte de travailleurs de l'industrie automobile. En revanche, un excès de risque a été observé parmi des travailleurs de l'industrie automobile [Kazerouni, 2000 ; Delzell, 2003] et de l'aérospatiale [Zhao 2005]. Deux études cas-témoins de population générale conduites à Montréal [Siemiatycki, 1987] et en Angleterre [Coggon, 1984] ont mis en évidence un risque de cancer du poumon associé à une exposition à des fluides de coupe. Seuls, les résultats de l'étude québécoise ont été ajustés sur la consommation de tabac.

### Cancer du pancréas

Plusieurs études de cohorte, menées dans différentes usines au cours des années 1990, ont révélé un excès de risque de cancer du pancréas parmi des travailleurs exposés à des fluides de coupe [Vena, 1985 ; Mallin, 1986 ; Tolbert, 1992 ; Bardin, 1997 ; Rotimi, 1993 ; Acquavella, 1993 ; Park, 1996]. C'est le cas notamment parmi des travailleurs embauchés entre 1950 et 1959 dans une usine métallurgique et ayant travaillé depuis au moins dix ans [Acquavella, 1993], parmi des travailleurs afro-américains de l'industrie automobile [Mallin, 1986] ou parmi des travailleurs employés avant 1950 dans une usine de fabrication de moteur ou ayant travaillé depuis plus de vingt ans dans cette usine [Vena, 1985]. D'autres études épidémiologiques se sont intéressées au risque de cancer du pancréas en fonction des différentes familles de fluide de coupe. Les quelques excès de risque observés ne concernent pas une famille particulière puisqu'ils ont été rapportés pour des expositions à des fluides synthétiques et en particulier, lors d'opérations de meulage [Bardin, 1997], pour des expositions à des huiles entières [Park, 1996] ou à des fluides solubles [Tolbert, 1992].

### Cancer du sein

Peu d'études épidémiologiques ont rapporté des résultats sur le risque de cancer du sein, chez la femme, associé à des expositions à des fluides de coupe. Ce risque a cependant été étudié dans deux cohortes de travailleuses du secteur de la fabrication automobile [Delzell, 2003 ; Thompson, 2005 ;

Garcia, 2018 ; Costello, 2020]. Un excès de risque de cancer du sein a été mis en évidence dans une seule des deux cohortes. Cette cohorte a fait l'objet d'une première analyse, concluant à une association avec l'exposition cumulée aux fluides solubles [Thompson, 2005]. Cependant, plusieurs critiques ont été émises concernant la sélection des cas et la période d'exposition, incompatible avec la latence du cancer du sein. De nouvelles analyses de cette cohorte ont fait l'objet de plusieurs publications montrant un excès de risque parmi les femmes exposées à des huiles entières [Garcia, 2018 ; Costello, 2020]. Par ailleurs, aucune association n'a été retrouvée pour des expositions à des fluides solubles et des fluides synthétiques. Ces résultats sont à interpréter avec précaution, car ils ne tiennent pas compte des facteurs extraprofessionnels liés au cancer du sein, parmi lesquels la consommation de tabac et d'alcool et le statut socio-économique, notamment.

### Cancer de l'estomac

À partir des années 1980, plusieurs études de mortalité ont été conduites, principalement aux États-Unis, sur des cohortes de travailleurs employés dans les secteurs de fabrication de pièces automobiles [Vena, 1985 ; Mallin, 1986 ; Park, 1996 ; Tolbert, 1992 ; Rotimi, 1993 ; Kazerouni, 2000 ; Sullivan, 2000 ; Eisen, 2001 ; Delzell, 2003 ; Costello, 2020], de roulements à billes [Park, 1988 ; Silverstein, 1988] et de l'aérospatiale [Zhao, 2005]. La majorité des études n'a pas mis en évidence d'excès de mortalité statistiquement significatifs par cancer de l'estomac. Lorsque ces excès étaient significatifs, ils étaient associés à des expositions différentes :

- des fluides aqueux (huiles émulsionnées principalement) utilisés lors des activités de meulage, parmi les travailleurs employés dans les usines de fabrication de roulement à billes [Park, 1988 ; Silverstein, 1988] ;
- des fluides de coupe, sans précision sur leur nature, parmi les travailleurs caucasiens de deux usines de fabrication de moteur [Rotimi, 1993] ;
- des huiles entières, parmi les travailleurs de trois usines de construction automobile [Costello, 2020].

### Cancers du foie et des voies biliaires

Seules deux études ont rapporté un risque de décès par cancer du foie et des voies biliaires. Elles ont été conduites dans différentes usines automobiles aux États-Unis. Le risque observé dans la première étude concernait des travailleurs réalisant des tâches d'usinage de métaux, exposés à des niveaux élevés de brouillards d'huile, sans précision sur la nature du fluide de coupe utilisé [Kazerouni, 2000]. La seconde étude a montré un excès de risque de cancer





© Vincent Nguyen pour l'INRS/2020

Usine de construction mécanique : les machines d'usinage sont reliées à une unité centralisée d'aspiration des brouillards d'huile générés par des fluides lubrifiants.

du foie pour des expositions modérées à des fluides synthétiques [Eisen, 2001]. Cet excès est devenu statistiquement non significatif lors de la mise à jour des données sur la mortalité de cette cohorte [Costello, 2020]. Les résultats de ces études doivent être interprétés avec précaution, car ils ne tiennent pas compte de facteurs pouvant influencer le niveau de risque, comme la consommation d'alcool.

#### Autres localisations de cancers

Au cours de la période 1988-2020, plus d'une dizaine de publications ont rapporté des résultats concernant le cancer de l'œsophage parmi des travailleurs exposés aux fluides de coupe. Seule l'étude cas-témoins, menée par Sullivan *et al.* [1998] dans une cohorte de l'industrie automobile du Michigan, montrait un excès de risque, parmi les travailleurs exposés aux fluides synthétiques et aux fluides solubles lors des opérations de meulage. Les auteurs mettent également en évidence une association avec des expositions à des

nitrosamines et des biocides, éléments présents dans ces fluides aqueux.

Parmi la quinzaine d'études épidémiologiques rapportant des résultats sur le cancer de la prostate et publiées depuis 1985, seule l'étude cas-témoins menée en population générale à Montréal montre un excès de risque de ce cancer parmi les travailleurs ayant été exposés, au cours de leur carrière professionnelle, à des huiles lubrifiantes. Cependant, les résultats doivent être interprétés avec précaution, car ils ne tiennent pas compte d'autres expositions professionnelles [Siemiatycki, 1987].

Parmi les études épidémiologiques présentant des résultats sur le cancer du côlon, aucune ne montre d'excès de risque associé à des expositions aux fluides de coupe [Decouflé, 1978 ; Ronneberg, 1988 ; Gerhardsson de Verdier, 1992 ; Tolbert, 1992 ; Kazerouni, 2000 ; Eisen, 2001 ; Siemiatycki, 1987 ; Costello, 2020].

#### Conclusion

Les fluides de coupe peuvent être à l'origine de symptômes et de pathologies respiratoires et cutanées. Des cancers cutanés, en particulier du scrotum, sont associés à des expositions à des fluides de coupe non ou légèrement traités, classés par le Centre international de recherche sur le cancer (Circ) comme cancérogènes pour l'homme. Parmi les nombreuses autres localisations étudiées, les études épidémiologiques rapportent des résultats en faveur d'une association entre les expositions aux huiles entières et des cancers localisés au niveau de la vessie, du rectum et du larynx.

Au vu de la littérature récente sur les effets sur la santé des fluides de coupe, une surveillance médicale des travailleurs exposés aux fluides de coupe est recommandée. Elle doit continuer même après la mise en place éventuelle d'utilisation d'appareils de protection respiratoire. Cette surveillance doit inclure une évaluation de l'état de santé respiratoire comprenant la fonction ventilatoire, sans oublier l'état cutané [Nett, 2021]. ●

1. La bibliographie, très abondante, de cette méta-étude, est disponible sur le site Internet de l'INRS, à la page réservée aux dossiers publiés dans la revue : [www.inrs.fr/publications/hst/dossier.html](http://www.inrs.fr/publications/hst/dossier.html).

2. L'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset) a fusionné le 1<sup>er</sup> juillet 2010 avec l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa) pour former l'Agence nationale chargée de la sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses). Lien : [www.anses.fr](http://www.anses.fr).

#### POUR EN SAVOIR +

• La bibliographie complète de l'article est accessible en téléchargement avec le dossier sur la page : <https://www.inrs.fr/publications/hst/dossier.html>.

# MÉTHODES D'ÉVALUATION DES EXPOSITIONS AUX FLUIDES DE COUPE

**Les fluides d'usinage et de coupe sont constitués d'un mélange complexe de substances, potentiellement dangereuses pour la santé et susceptibles de provoquer parmi leurs utilisateurs des pathologies cutanées ou respiratoires. La diversité de ces fluides et leur complexité, ainsi que leurs multiples dangers, ont conduit aux développements de diverses méthodes complémentaires pour l'évaluation de l'exposition à ces fluides. Certaines de ces méthodes sont décrites ici.**

---

**SOPHIE  
TOMAZ**  
INRS,  
département  
Métrologie  
des polluants

---

**RONAN  
LEVILLY**  
INRS,  
département  
Ingénierie des  
procédés

---

## **Description des fluides, de leurs dangers, des voies d'exposition**

Les fluides d'usinage et de coupe sont constitués d'un mélange complexe de substances chimiques, potentiellement dangereuses pour la santé, et susceptibles de provoquer parmi leurs utilisateurs diverses pathologies cutanées ou respiratoires, voire pour certaines, de favoriser l'apparition de cancers (*Cf. Article pp. 24-32*). En fonction des exigences techniques pour lesquelles ces fluides ont été formulés, ils peuvent présenter des caractéristiques physicochimiques très différentes et être regroupés en deux grandes catégories, que sont les huiles entières comprenant les huiles minérales, les huiles synthétiques et semi-synthétiques ; et les fluides aqueux comprenant les huiles solubles, synthétiques ou semi-synthétiques.

L'évaluation des expositions aux fluides de coupe est nécessaire, mais s'avère techniquement délicate en raison de la complexité et variété de leur composition. En effet, ces fluides sont constitués d'un grand nombre de composés chimiques, dont les effets sur la santé ne sont pas nécessairement connus. De plus, leur composition évolue au cours de leur usage ; certains fluides peuvent ainsi s'enrichir en composants toxiques, tels que des métaux, le benzo[a]pyrène (BaP) ou des micro-organismes, en fonction de leurs conditions d'utilisation.

Par ailleurs, les dangers associés à ces fluides peuvent être de plusieurs natures, ce qui complexifie l'évaluation des risques associés. Au cours de l'usinage, le fluide de coupe entre en contact avec l'outil en rotation et cette action mécanique entraîne la formation et la dispersion de particules. L'échauffement de l'outil sur la pièce à travailler s'accompagne également de l'émission de composés sous forme gazeuse. Ainsi, les aérosols générés contiennent des particules solides et/ou liquides

en suspension dans un gaz. Plus précisément, un aérosol contient à la fois une fraction gazeuse et une fraction particulaire, ce mélange est généralement désigné par le terme « brouillard d'huile ». L'exposition des travailleurs peut donc se faire par inhalation mais également par contact cutané, car si les particules les plus fines restent en suspension dans l'air, celles de tailles plus importantes peuvent contaminer les surfaces et les outils de travail. La mise en œuvre des brouillards d'huile présente des risques de polyexpositions<sup>1</sup>. En effet, au-delà de la prise en compte du risque chimique lié aux substances composant ces fluides, s'ajoute également le risque biologique dans le cas de l'utilisation des fluides aqueux, car ceux-ci constituent un milieu favorable pour le développement des micro-organismes (*Cf. Article pp. 20-23*).

Ainsi, les méthodes d'évaluation de l'exposition s'attacheront à la mesure de composés, par des prélèvements d'aérosols et des prélèvements surfaciques.

Devant la complexité technique liée à la réalisation de ces deux types d'évaluation, une approche complémentaire peut également être envisagée : elle consiste à prélever et mesurer directement dans les fluides des composés reconnus pour leur toxicité.

## **Prélèvements dans les bains d'huile**

Le prélèvement et la mesure directe de composés connus pour leurs propriétés toxiques dans les bains de fluide de coupe permettent de juger du potentiel toxique de ces fluides. Cette méthode de prélèvement facile et rapide à mettre en œuvre est utilisée dans certains cas qui sont présentés ci-après.

### **→ Exposition aux nitrosamines**

La présence conjointe dans un fluide aqueux de nitrites et d'amines secondaires peut conduire à



	APPLICATION	FRACTION	MATÉRIEL DE PRÉLEVEMENT	SUPPORT DE PRÉLEVEMENT	MESURE	SEUIL POUR L'EXTRACTION	SOLVANT D'EXTRACTION	VALEUR LIMITE OU RECOMMANDÉE
NIOSH 5 524 (USA)	Tous les fluides	Thoracique	Cassette + cyclone (1,6 L/min)	Filtre PTFE	Gravimétrique	0,4 à 0,5 mg/m <sup>3</sup>	Dichlorométhane : méthanol : toluène (1:1:1) ou Méthanol : eau (1:1)	0,4 mg/m <sup>3</sup>
		Inhalable	Cassette (2 L/min)					0,5 mg/m <sup>3</sup>
MétroPol M-282 (France)	Tous les fluides	Inhalable	Cassette (2 L/min)	Filtre PTFE	Gravimétrique	0,5 mg/m <sup>3</sup>	Dichlorométhane : méthanol : toluène (1:1:1)	0,5 mg/m <sup>3</sup>
MDHS 84/2 (Royaume-Uni)	Huile minérale viscosité > 18 mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> (à 40 °C)	Inhalable	IOM (2 L/min)	Filtre GF/A ou ester de cellulose mixte	Gravimétrique	50 % de la valeur limite	Cyclohexane	1 mg/m <sup>3</sup> *

**↑ TABLEAU 1**  
Méthodes gravimétriques mises en œuvre pour l'évaluation des expositions aux fluides de coupes.  
\* Cette valeur a depuis été supprimée.

**↓ FIGURE 1**  
Les limites du prélèvement avec la méthode M-282 et Niosh 5 524. Pour limiter ce biais, la méthode MDHS 84/2 spécifie que celle-ci est uniquement applicable aux huiles minérales dont la viscosité est supérieure à 18 mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup> à 40 °C. En effet, ces huiles contiendraient un nombre limité de composés susceptibles de s'évaporer au cours de l'échantillonnage.

la formation de nitrosamines. Certaines nitrosamines sont toxiques. C'est par exemple le cas de la N-nitrosodiéthanolamine (NDELA) qui est classée comme un agent pouvant être cancérigène pour l'homme (de catégorie 2B selon le Circ) [1]. En l'absence de valeur limite française, la mesure de la NDELA dans les fluides aqueux peut être comparée à la valeur limite de 5 mg/kg fixée par la réglementation allemande [2,3].

→ Exposition aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

En Europe, la mise sur le marché des huiles entières neuves est réglementée et impose l'évaluation de leur potentiel cancérigène, en utilisant la méthode IP 346, fixant une valeur seuil de 3 % de masse de résidu soluble dans le diméthylsulfoxyde (DMSO) [4]. En France, la recommandation R451 de la Cnam indique que l'estimation de ce potentiel cancérigène doit être réalisée par la mesure du benzo[a]pyrène (BaP), le seul HAP classé comme cancérigène avéré par le Circ [5,7]. Contrairement à la méthode IP 346, qui est uniquement applicable aux huiles entières

neuves, la mesure du BaP est applicable à tous les fluides. Aussi, des études ont montré qu'au cours de l'usinage, ces fluides peuvent s'enrichir en BaP, d'où la nécessité de suivre leurs concentrations au cours du temps [6]. Pour cela, un échantillon est prélevé et analysé, afin de déterminer la concentration en BaP. Il est alors recommandé, par la Cnam et l'INRS, que sa concentration ne dépasse pas 30 µg/kg dans les fluides neufs et 100 µg/kg dans les fluides usagés [7,8].

**Évaluation des expositions**

**Les prélèvements atmosphériques**

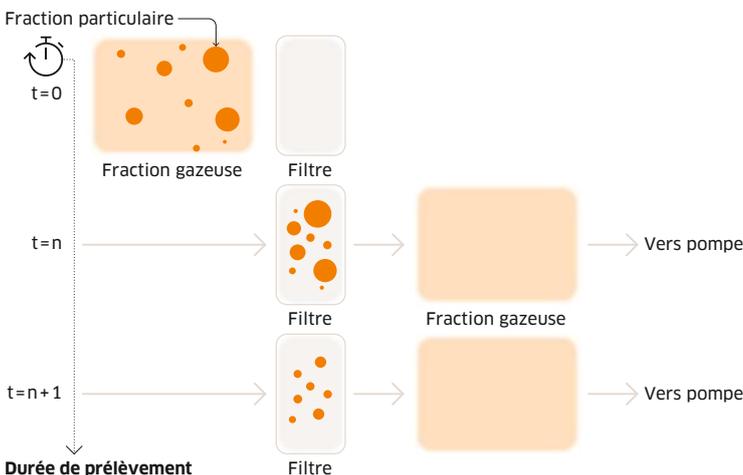
La diversité des fluides utilisés et leur complexité ont conduit au développement de nombreuses méthodes pour l'évaluation de l'exposition aux aérosols de fluides de coupe. Certaines de ces méthodes sont présentées dans les paragraphes suivants.

→ La mesure gravimétrique des composés prélevés sur filtre

Cette méthode de mesure globale est appliquée dans plusieurs pays comme en France [9], aux États-Unis [10] et au Royaume-Uni [11] (Cf. Tableau 1). Elle consiste à mesurer la masse de composés présents dans la fraction inhalable ou thoracique collectée sur un filtre. La masse obtenue est alors comparée à la valeur limite ou la valeur recommandée qui est fixée en France, par la Cnam, à 0,5 mg/m<sup>3</sup> [7]. Si la masse de particules collectée sur le filtre se rapproche ou dépasse la valeur recommandée, une étape d'extraction à l'aide d'un solvant ou d'un mélange de solvants permet d'obtenir une mesure de la masse de composés solubles, supposée provenir spécifiquement de ces fluides. Cette méthode, simple à mettre en œuvre, est applicable à tous les fluides, dans le cadre des méthodes développées par le Niosh et par l'INRS (MétroPol) [9-10], mais présente deux inconvénients majeurs :

- la fraction gazeuse de l'aérosol générée au cours de l'usinage n'est pas piégée sur le filtre au cours

**Aérosols semi-volatils**



du prélèvement. Ainsi, la mesure de la seule fraction captée par le filtre sous-estimerait l'exposition à la totalité du brouillard d'huile ;

- il existe un biais au cours du prélèvement. En effet, des études ont montré que les composés semi-volatils présents dans les particules collectées sur le filtre s'évaporent au cours du prélèvement [12]. Ces composés vont donc être ré-entraînés par le flux d'air en dehors du dispositif de prélèvement, comme l'illustre la Figure 1. Ce biais entraîne une sous-estimation de l'exposition à la fraction particulaire de l'aérosol.

→ La mesure d'une fraction de ces aérosols

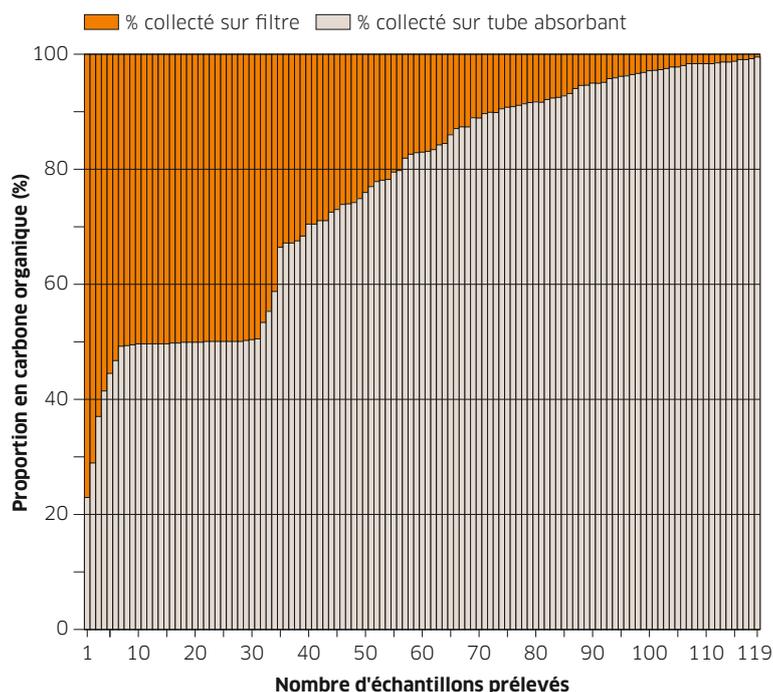
La mesure d'une fraction ou d'un groupe de composés présent dans les aérosols de fluide de coupe est déjà réalisée en Allemagne [13], en Suisse [14] et le sera prochainement en France via la méthode MétroPol M-440 (à paraître). Dans ces trois méthodes, le prélèvement est réalisé sur un dispositif combiné associant un filtre pour la collecte des particules et un support permettant de piéger la phase gazeuse, ainsi que la fraction des particules s'évaporant au cours du prélèvement. La Figure 2 présente le dispositif combiné utilisé pour la méthode MétroPol M-440.

La fraction inhalable est collectée sur des filtres en fibre de verre ou en PTFE (polytétrafluoroéthylène), alors qu'un tube adsorbant (de type Amberlite®, XAD-2) collecte ce qui n'est pas retenu par le filtre. Après prélèvement, les supports sont extraits à l'aide d'un solvant ou d'un mélange de solvants, puis les extraits sont analysés :

- en Allemagne, la mesure est réalisée par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier, aux longueurs d'ondes caractéristiques des vibrations des liaisons moléculaires C-H aliphatiques, majoritaires dans les huiles entières (longueurs d'ondes comprises entre 3000 et 2800  $\text{cm}^{-1}$ ) [13]. Cette méthode est bien adaptée pour les fluides contenant une fraction d'huile minérale, mais elle reste difficile à mettre en œuvre pour les fluides aqueux exempts de ces composés ;
- les méthodes suisse et MétroPol M-440 consistent en une mesure de la totalité du carbone organique par GC-FID<sup>2</sup>, en utilisant les chaînes carbonées en C15 ou C16 comme référence [14]. Notons que la méthode suisse procède aussi par une évaporation du solvant, suivie par une mesure de la masse de résidu obtenu. Au cours d'un projet récent, mené conjointement par l'INRS et Unisanté de Lausanne [15], 119 échantillons ont été prélevés dans diverses entreprises et analysés avec la méthode M-440. Les résultats, présentés sur la Figure 3, montrent que, selon les échantillons, la proportion de carbone organique va se répartir différemment entre le filtre et le tube adsorbant.



↑ FIGURE 2 Dispositif combiné pour le prélèvement d'un mélange de vapeurs et particules.



Dans plus de 70 % des cas, le carbone organique se retrouve majoritairement dans le tube adsorbant. Rappelons que cette mesure sur le tube adsorbant inclut la fraction gazeuse de l'aérosol passant au travers du filtre, mais également la fraction de particules qui s'évapore au cours du prélèvement. À cause de ce biais de prélèvement, les résultats obtenus sur chaque support de prélèvement ne permettent pas de conclure quant à la proportion réelle de composés présents en phase gazeuse et en phase particulaire. Il est communément admis que, pour l'interprétation des prélèvements de composés semi-volatils collectés sous les formes particulaires et gazeuses, seule la somme des concentrations obtenues sur les deux supports pourra être utilisée. Néanmoins, les résultats de cette étude démontrent que le prélèvement de la fraction particulaire seule n'est pas suffisant et soulignent l'intérêt de l'utilisation des dispositifs combinés, pour le prélèvement des aérosols émis au cours de l'usinage et l'évaluation des expositions.

↑ FIGURE 3 Proportion en carbone organique mesurée sur le filtre et le tube adsorbant avec la méthode MétroPol M-440 sur 119 échantillons prélevés en ambiance de travail dans des entreprises employant des fluides de coupe.





© Vincent Nguyen pour l'INRS/2021

Contrôle des dimensions d'une pièce après fraisage.

→ **La mesure d'un marqueur spécifique**

C'est le cas par exemple de la méthode britannique MDHS 95/3, utilisant les éléments bore, potassium ou sodium comme les marqueurs de l'exposition spécifique aux fluides aqueux [16]. L'utilisation de marqueurs spécifiques est peu répandue, car l'emploi d'un marqueur unique pour représenter une exposition multiple peut entraîner un biais dans l'évaluation de l'exposition. Au Royaume-Uni par exemple, des cas de pneumopathie d'hypersensibilité ont été rapportés, malgré le respect de la valeur guide associée à cette mesure [17]. Cette méthode a donc été remise en question notamment du fait de la réduction de l'utilisation du bore dans les fluides aqueux. En 2005, le Royaume-Uni a ainsi retiré la valeur guide fixée à 1 mg/m<sup>3</sup> de bore dans les particules.

→ **La mesure de composés toxiques**

Lorsque la présence de composés, entités ou éléments toxiques est soupçonnée, la mesure de ces composés peut être ciblée. Par exemple, des

biocides sont utilisés dans les fluides aqueux, dans le but de limiter le développement des micro-organismes. Longtemps utilisé comme biocide, le formaldéhyde a été interdit de la composition des fluides, car il est classé comme cancérogène par l'Union européenne et par le Circ [18]. Toutefois, certains additifs utilisés dans les formulations ont la capacité de libérer du formaldéhyde lors de la mise en œuvre du fluide. La mesure du formaldéhyde en phase gazeuse peut alors être réalisée par prélèvement actif sur cartouche imprégnée et par analyse en HPLC-UV<sup>3</sup>, comme décrit dans la fiche MétroPol M-4 de l'INRS [19]. Une VLEP européenne fixe la valeur à ne pas dépasser à 0,37 mg/m<sup>3</sup> sur 8 h. D'autres composés peuvent aussi être mesurés : c'est le cas des HAP dans les aérosols (M-332), des métaux, des micro-organismes (M-147)<sup>4</sup>, etc.

**Les prélèvements surfaciques**

Le prélèvement surfacique est une méthode permettant d'évaluer la contamination des surfaces par des agents chimiques ou biologiques en prenant en compte l'exposition cutanée, qui représente une voie d'exposition non négligeable. Ce prélèvement consiste à collecter, par essuyage ou aspiration, des agents chimiques présents sur les surfaces et de les analyser au laboratoire. Dans le cadre des fluides de coupe, des méthodes MétroPol existent pour la mesure du béryllium (M-308) [20] et une méthode pour les composés organiques sera publiée prochainement. Pour ces prélèvements, aucune valeur guide

**POUR EN SAVOIR +**

- Le site de l'INRS : [www.inrs.fr/risques/fluides-coupe/ce-qu-il-faut-retenir.html](http://www.inrs.fr/risques/fluides-coupe/ce-qu-il-faut-retenir.html).
- Le site de l'Anses : [www.anses.fr/fr/content/fluides-de-coupe](http://www.anses.fr/fr/content/fluides-de-coupe).

ou recommandation n'existent; néanmoins, cette approche est simple à mettre en œuvre et complète de manière pertinente l'évaluation de l'exposition des travailleurs. De plus, cette méthodologie permet de réaliser relativement rapidement la cartographie d'un atelier pour identifier les zones contaminées et en déduire les postes les plus exposés.

### Conclusion

Du fait de la diversité et de la complexité des fluides utilisés au cours de l'usinage et de la variabilité des risques associés à leur utilisation, des travaux de recherche et de développement sont encore en cours afin d'améliorer et de fiabiliser l'évaluation de l'exposition à ces fluides.

Pour la mesure de l'exposition aux aérosols de fluide de coupe, l'utilisation seule d'un dispositif de prélèvement de la fraction inhalable semble limitée. Afin de mieux appréhender l'exposition à ces fluides, l'utilisation d'un dispositif combiné pour la mesure complète des deux phases des brouillards d'huile est à privilégier. Dans l'état actuel des performances des dispositifs de prélèvement, l'interprétation des

données doit toutefois se faire avec la somme des deux fractions collectées. En effet, l'évaporation de la fraction particulaire collectée au cours du prélèvement introduit un doute sur la véritable nature physique de l'aérosol, lors du prélèvement. ●

1. L'INRS a mené de nombreux travaux concernant les risques de polyexpositions. Voir en particulier : [www.inrs.fr/risques/polyexpositions/ce-qu-il-faut-retenir.html](http://www.inrs.fr/risques/polyexpositions/ce-qu-il-faut-retenir.html); et le dossier paru : [www.inrs.fr/media.html?refINRS=DO%2031](http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=DO%2031).
2. Chromatographie en phase gazeuse, couplée à un détecteur à ionisation de flamme.
3. Chromatographie liquide haute performance, couplée à une détection par ultraviolets.
4. Fiches MétroPol accessibles sur : [www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html](http://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html).

### Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier tout particulièrement Nancy Hopf et Jean-Jacques Sauvain, Unisanté – Centre universitaire de médecine générale et santé publique (Lausanne, Suisse) pour l'aide apportée lors de cette étude.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] IARC MONOGRAPHS ON THE EVALUATION OF CARCINOGENIC RISKS TO HUMANS – *Some industrial chemicals*. Lyon, Circ/Iarc, 2000, n° 77, p. 403-430.
- [2] COMMITTEE ON HAZARDOUS SUBSTANCES – *technical rules for hazardous substances. Restrictions on the use of anticorrosion agents whose use can lead to the formation of N-nitrosamines*. Technical Rule N° 615, 2007, 16 p.
- [3] AUSSCHUSS FÜR GEFAHRSTOFFE – *Technische Regeln für Gefahrstoffe, Verzeichnis Krebszeugender, Keimzellmutagener oder Reproduktionstoxischer Stoffe*. TRGS 905, 2016, 20 p. (en allemand).
- [4] RÉGLEMENT CE N° 1272/2008 du parlement européen et du conseil du 16 décembre 2008 modifié, relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges.
- [5] IARC MONOGRAPHS ON THE EVALUATION OF CARCINOGENIC RISKS TO HUMANS – *some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures*. Lyon, Circ/Iarc, 2010, vol. 92, p. 392-423.
- [6] APOSTOLI P., CRIPPA M., FRACASSO M.E. ET AL. – Increases in polycyclic aromatic hydrocarbon content and mutagenicity in a cutting fluid as a consequence of its use. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 1993, 64(7), pp. 473-477.
- [7] RECOMMANDATION DU COMITÉ TECHNIQUE NATIONAL DES INDUSTRIES DE LA MÉTALLURGIE – *Prévention des risques chimiques causés par les fluides de coupe dans les activités d'usinage de métaux*. Cnam, 2015, R451, 12 p. Accessible sur : [www.ameli.fr/sites/default/files/Documents/31228/document/r451.pdf](http://www.ameli.fr/sites/default/files/Documents/31228/document/r451.pdf).
- [8] CHAMPMARTIN C. – Estimation du potentiel cancérigène des huiles minérales régénérées. *Hygiène & sécurité du travail*, 2012, 227, ND 2356, pp. 3-10.
- [9] FICHE MÉTROPOL M-282 – *Fluides d'usinage*. INRS, août 2016. In : Base de données MétroPol de l'INRS. Accessible sur : [www.inrs.fr/metropol](http://www.inrs.fr/metropol).
- [10] METALWORKING FLUIDS. In : *NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM)*, 5<sup>e</sup> Ed. Method 5524, issue 2, décembre 2014.
- [11] HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE – *Measurement of oil mist from mineral oil-based metalworking fluids*. HSE, 2014, MDHS 84/2, 5 p.
- [12] DRAGAN G.C., BREUER D., BLASKOWITZ M. ET AL. – An evaluation of the "GGP" personal samplers under semi-volatile aerosols: sampling losses and their implication on occupational risk assessment. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 2015, 17, pp. 270-277.
- [13] BREUER D., BLASKOWITZ M., PANNWITZ K.H. – Cooling lubricants and other complex hydrocarbon mixtures, immiscible with water – Droplets and vapours. *The MAK Collection for Occupational Health and Safety*, janvier 2016, 1 (1), pp 383-400.
- [14] HUYNH C.-K., HERRERA H., PARRAT J. ET AL. – Occupational exposure to mineral oil metalworking fluid (MWFs) mist: development of new methodologies for mist sampling and analysis. Results from an inter-laboratory comparison. *Journal of Physics: Conference Series*, 2009, 151.
- [15] HOPF N., BOURGKARD E., DEMANGE V. ET AL. – Early effect markers and exposure determinants of metalworking fluids among metal industry workers: protocol for a field study. *JMIR Res Protoc*, 2019, 8(8).
- [16] HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE – *Measurement of oil mist from mineral oil-based metalworking fluids*. HSE, 2014, MDHS 95/3, 16 p.
- [17] HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE – *Laboratory RR 1044. Consultation on monitoring of water-miscible metalworking fluid (MWF) mists*. HSE, 2015, 43 p.
- [18] IARC MONOGRAPHS ON THE EVALUATION OF CARCINOGENIC RISKS TO HUMANS – *Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol*. Lyon, Circ/Iarc, 2010, n° 88, 497 p.
- [19] FICHE MÉTROPOL M-4 – *Formaldéhyde*. INRS, juillet 2016. In : Base de données MétroPol de l'INRS. Accessible sur : [www.inrs.fr/metropol](http://www.inrs.fr/metropol).
- [20] FICHE MÉTROPOL M-308 – *Béryllium et ses composés*. INRS, 2016. In : Base de données MétroPol de l'INRS. Accessible sur : [www.inrs.fr/metropol](http://www.inrs.fr/metropol).

# LES DÉTERMINANTS DE L'EXPOSITION APPLIQUÉS AUX BROUILLARDS DE FLUIDE DE COUPE

**Les activités d'usinage des métaux sont génératrices de brouillards d'huile. Cependant, l'exposition des travailleurs est inégale d'une entreprise à l'autre et est fonction de nombreux paramètres associés soit aux procédés de production, soit à l'organisation du travail. Outre le risque lié à la fraction particulaire des brouillards, il apparaît que la fraction gazeuse de ces derniers peut également contribuer aux expositions, et de ce fait, nécessiter d'adapter l'évaluation et la prévention des risques en conséquence.**

RONAN  
LEVILLY  
INRS,  
département  
Ingénierie  
des procédés

La problématique liée à l'exposition professionnelle aux fluides de coupe n'est pas récente. Initialement axée sur les huiles entières minérales, elle s'est élargie au cours des années vers les fluides de coupe aqueux. Mise en œuvre lors des opérations d'usinage des métaux afin de lubrifier, de refroidir les pièces, d'améliorer la coupe par le retrait des copeaux métalliques et d'accroître la durée de vie des outils, l'utilisation de ces fluides concerne la totalité des secteurs d'activité du travail des métaux, ainsi que l'industrie automobile. Les voies d'exposition aux fluides de coupe sont multiples pour les travailleurs : l'exposition peut survenir soit par inhalation des brouillards d'huile générés par l'usinage (composés d'une phase particulaire et d'une phase gazeuse), soit par contact cutané direct ou *via* des vêtements souillés, et éventuellement, par ingestion lors de contacts main-bouche par exemple.

Les fluides de coupe sont des produits manufacturés, composés d'une grande variété de substances chimiques, dont certaines peuvent être dangereuses pour l'homme. Ces substances peuvent être présentes initialement dans la composition du produit et/ou générées par le procédé dans l'environnement de travail lors de la vie du produit et font que les expositions aux brouillards d'huile présentent des risques pour la santé des salariés exposés (Cf. Article pp. 24-32).

La détermination du niveau d'exposition des travailleurs est indispensable, pour évaluer et quantifier les risques auxquels ils peuvent être confrontés. Les brouillards de fluide de coupe sont des mélanges complexes ; ils sont constitués d'une phase parti-

culaire et d'une phase gazeuse. Certaines molécules volatiles, initialement présentes dans la phase particulaire, peuvent migrer vers la phase gazeuse, en fonction des contraintes physicochimiques de l'atmosphère de travail. Il est donc difficile de disposer d'une méthode de prélèvement qui permette la collecte séparée de chacune des fractions du brouillard. Néanmoins, au-delà de l'aspect métrologique, il est tout aussi important d'orienter la stratégie d'échantillonnage et le déploiement précis des mesures, aussi bien dans le but d'évaluer les risques que pour collecter des données et des informations pour la prévention de ces derniers. Pour cela, il convient d'identifier et de comprendre les facteurs qui contribuent à augmenter ou à réduire ces niveaux d'exposition, afin de proposer, *in fine*, les solutions de prévention les plus adaptées possible. Une des voies d'étude et d'analyse, mise en œuvre par les hygiénistes industriels, est l'approche par « déterminants d'exposition » [1]. Il s'agit d'une méthode empirique, basée soit sur la collecte d'informations en entreprise au plus proche de la réalité des travailleurs, soit sur l'expérimentation (modélisation à partir des données de la littérature, ou à travers des tests en laboratoire sur certains paramètres). Cette méthodologie peut également s'appliquer aux études épidémiologiques. C'est sur cette base méthodologique qu'une étude a été initiée, portant sur l'exposition des salariés aux brouillards de fluides de coupe dans les industries. Deux axes ont été investigués conjointement :

- le premier a concerné la métrologie des brouillards de fluides de coupe ;
- le second s'est intéressé à la collecte des déterminants de l'exposition.

	TRAVAILLEUR EXPOSÉ		AMBIANCE ATELIER	
	M-282 (INRS)	Méthode suisse	M-282 (INRS)	Méthode suisse
	Particulaire	Brouillard total	Particulaire	Brouillard total
CONCENTRATIONS [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]				
Fluides solubles	168 [70 – 342] n = 62	498 [238 – 1119] n = 62	89 [39 – 173] n = 34	368 [170 – 1359] n = 34
Huiles entières	176 [102 – 322] n = 64	1718 [317 – 2654] n = 65	112 [12 – 249] n = 65	1423 [157 – 2681] n = 65

←TABLEAU 1  
Concentrations en brouillard d'huile en fonction des méthodes de prélèvements et des types de fluide. Les statistiques présentées sont les médianes, les quartiles [IQR] et le nombre de mesures.

La finalité de la démarche était d'analyser les déterminants par la modélisation, en s'appuyant sur les résultats des mesures individuelles réalisées sur les travailleurs. L'objectif de cet article est de présenter une synthèse des résultats obtenus (métrologie et déterminants pertinents) et d'aborder les situations de travail problématiques en lien avec l'exposition aux brouillards d'huile.

### La métrologie en entreprise

Des mesures de brouillards d'huile, particulaire et total (fraction particulaire et gazeuse), ont été menées en France et en Suisse. Elles sont issues pour ces deux pays d'huiles entières ou soluble. Elles ont concerné, au total, quinze entreprises issues de secteurs d'activité variés, tels que : fonderie, mécanique industrielle, fabrication de machines-outils, constructions aéronautique et spatiale, production de pièces d'horlogerie, de pièces médicales et de contacteurs électriques.

Deux méthodes de mesures ont été mises en œuvre dans le cadre des campagnes de prélèvements pour toutes les entreprises volontaires. Il s'agissait de la méthode MétroPol M-282 [2], qui est la référence en France pour la détermination de la fraction particulaire du brouillard d'huile ; et la méthode de référence suisse [3], qui permet d'estimer la fraction gazeuse du brouillard, mais surtout, la concentration totale du brouillard de fluide de coupe (gazeux et particulaire). Il convient de rappeler que la fraction gazeuse collectée avec la méthode présente deux composantes :

- d'une part, les composés volatils présents dans le brouillard au moment du prélèvement ;
- d'autre part, une quantité variable de composés (semi-volatils), présents dans la phase particulaire collectée (sur un filtre) qui ont été volatilisés sous l'effet du prélèvement et collectés sur un autre support (résine).

Comme il n'est pas possible en l'état d'estimer précisément la contribution des espèces semi-volatils dans les deux composantes prélevées, il est plus adapté de raisonner en concentration totale du

brouillard. Le *Tableau 1* présente la synthèse des résultats obtenus.

Le format de présentation des résultats qui a été retenu ne fait pas apparaître les valeurs maximales mesurées pour la fraction particulaire, fraction qui est prise en compte par la Cnam dans sa recommandation R 451 [4]. Il est néanmoins important de préciser que 10 % des mesures ont été supérieures à la valeur de 0,5 mg.m<sup>-3</sup> recommandée par la Cnam. D'autre part, les résultats montrent que, pour la fraction particulaire des brouillards collectée, la distribution des résultats est non statistiquement différente entre les huiles entières et les huiles solubles et ceci, pour les deux techniques de prélèvement utilisées. En revanche, il apparaît nettement que les concentrations en brouillard total sont plus importantes pour les huiles entières que pour les fluides solubles et que la différence se fait essentiellement sur la fraction volatile collectée. Ce résultat peut s'expliquer par la composition des différents fluides. Les fluides solubles sont mis en œuvre en étant dilués dans l'eau, à des concentrations de l'ordre de 4 % à 10 % en volume. Par conséquent, lors du prélèvement, la quantité de composés semi-volatils potentiellement présents dans le brouillard prélevé est bien moindre que pour une huile entière, qui est utilisée pure.

La fraction gazeuse collectée doit être interprétée avec prudence, puisqu'elle comprend à la fois les composés volatils présents dans le brouillard au moment du prélèvement, et ceux présents dans la phase particulaire collectée (et qui sont volatilisés sous l'effet du prélèvement). En tout état de cause, ces résultats interrogent sur la fraction gazeuse réellement présente dans le brouillard d'huile et à laquelle l'opérateur est exposé. Il ressort de ces résultats que cette fraction est probablement non négligeable et que, dans certaines situations, elle contribue fortement à l'exposition des travailleurs aux brouillards de fluide de coupe. Bien que la valeur limite recommandée pour les brouillards de fluide de coupe ne concerne que la fraction particulaire du brouillard, il convient de prendre en



ORGANISATION DU TRAVAIL	RÉPONSES POSSIBLES
Tâches d'usinage	Réglage des machines (manuel ou numérique), supervision/usinage, changement d'outils, ouverture capotage machine, manipulation des pièces produites
Autres tâches	Nettoyage machine, finition/nettoyage des pièces, utilisation d'air comprimé, tâche manutention/logistique, tâche de maintenance, déplacement dans l'atelier, autres
Nombre de machines suivies	Unique, multiple
Position du travailleur	Statique, mobile
Utilisation de solvant (dégraissage, nettoyage, etc.)	Oui, non

PROCÉDÉS ET MACHINES	RÉPONSES POSSIBLES
Type de machine	CNC multi-outils, décolleteuse à cames, presse emboutisseuse, rectifieuse à meules
Vitesse moyenne de rotation de l'outil	
Type de métal usiné	
Cadence de production	
Âge de la machine	Années
Capotage de la machine	Oui, non, partiel
Aspiration à la source	Oui, non
Système d'épuration de l'air machine	Électrofiltre, média filtrant, filtration mécanique, rien
Rejet de l'air machine	À l'extérieur, recyclage

CARACTÉRISTIQUES DES FLUIDES DE COUPE	RÉPONSES POSSIBLES
Type de fluide	Huiles entières, huiles solubles
Gestion du fluide des machines	Centralisé, individuelle, pas de réservoir
Épuration du fluide	Oui, non
Dernière vidange du réservoir	En jours
Concentration du fluide	100 % pour les huiles entières, C % pour les fluides solubles
Viscosité du fluide	
Utilisation de fluide hydraulique	Oui, non

CARACTÉRISTIQUES ET CONDITIONS DE L'ATELIER	RÉPONSES POSSIBLES
Configuration	Atelier cloisonné ou hall industriel
Volume	< 5 000 m <sup>3</sup> , 5 000 – 10 000 m <sup>3</sup> , > 10 000 m <sup>3</sup>
Ventilation générale	Naturelle, mécanique
Nombre de machines dans l'atelier	

→ TABLEAU 2  
Items constituant  
la grille de recueil  
des déterminants  
de l'exposition  
dans le cadre de  
l'usinage  
des métaux.

compte également la notion de fraction gazeuse dans la démarche de prévention des risques.

### Les déterminants de l'exposition

L'exposition des travailleurs est rarement uniforme et est liée à de nombreuses variables qui caractérisent le poste de travail. Ces variables peuvent être soit de nature organisationnelle (tâches et activités de travail), soit de nature technique (nettoyage des pièces usinées à l'air comprimé), ou bien encore liée à l'implantation des locaux (mobilité du personnel pendant son poste), climatique (saison, température, etc.), et contribuent différemment à caractériser l'exposition.

Pour évaluer les caractéristiques du poste qui prédisent le mieux les niveaux d'exposition, et dans l'optique de pouvoir prendre les mesures de prévention les mieux adaptées, une approche basée sur les déterminants d'exposition a été déployée, en parallèle des mesures de brouillards d'huile. Cette approche s'est appuyée sur une grille de recueil par questionnaires, afin de collecter directement les informations (déterminants) sur le poste de travail. Ce questionnaire a été renseigné, avec l'aide de chaque travailleur suivi et des responsables de production pour toutes les entreprises, et pour chaque journée de travail suivie. Les principaux items qui constituent cette grille de recueil



© Cédric Pasquini pour l'INRS/2020

concernent : l'organisation du travail de l'opérateur (les activités durant le poste, les informations sur la (les) machine(s) suivie(s) et le procédé), mais également les données sur la configuration de l'atelier, ainsi que les éléments de protections collectives et/ou individuelles déployés. Afin d'obtenir le maximum d'informations sur les activités journalières des opérateurs volontaires, un suivi de poste détaillé a été réalisé. Les principales activités qu'un opérateur peut réaliser durant son poste ont été identifiées et ont servi de base à ce travail (Cf. *Tableau 2*).

Toutes ces données, après avoir été recueillies en entreprises, ont été analysées quantitativement et qualitativement. Une première sélection des déterminants a été réalisée à ce niveau du traitement. En effet, certaines données n'ont pas pu être obtenues, ou ont été parcellaires. Les déterminants qui ont été conservés sont :

- le type de machine (à commande numérique – CNC, décolleteuse, rectifieuse par meules, presses emboutisseuses) ;
- les pourcentages d'activités ;
- la répartition temporelle des tâches ;
- les caractéristiques des machines (ventilation, capotage, épuration) ;

- le type d'huile et de sa gestion (réservoir par machine, centralisé ou non recyclé) ;
  - l'utilisation de solvants (interférents analytiques éventuels) ;
  - les huiles hydrauliques et la fréquence d'usage d'air comprimé ;
  - les caractéristiques de l'atelier (type d'atelier, volume, ventilation générale et rejet de l'air traité).
- Il a été nécessaire, pour obtenir une certaine représentativité et une significativité statistique, de regrouper les activités afin de former cinq clusters (association de tâches), en s'appuyant sur les activités dominantes.

À l'issue de cette sélection des déterminants, les variables d'exposition (fractions gazeuses et particulaires collectées) ont été log-transformées et une approche « *stepwise* »<sup>1</sup> pour une régression linéaire a été appliquée pour la sélection des déterminants cités précédemment.

La contribution des déterminants est différente entre les deux fractions du brouillard estimées (fraction particulaire et fraction « gazeuse » collectée) et les résultats de la modélisation sont présentés dans le *Tableau 3*. Il ressort que les déterminants les plus explicatifs pour l'exposition à la fraction particulaire du brouillard d'huile sont :

Entreprise ayant mis en place des mesures de prévention : substitution des produits les plus dangereux contenus dans le fluide, installation de ventilations pour capter à la source les brouillards d'huile et utilisation de procédés ne nécessitant pas de fluides de coupe.



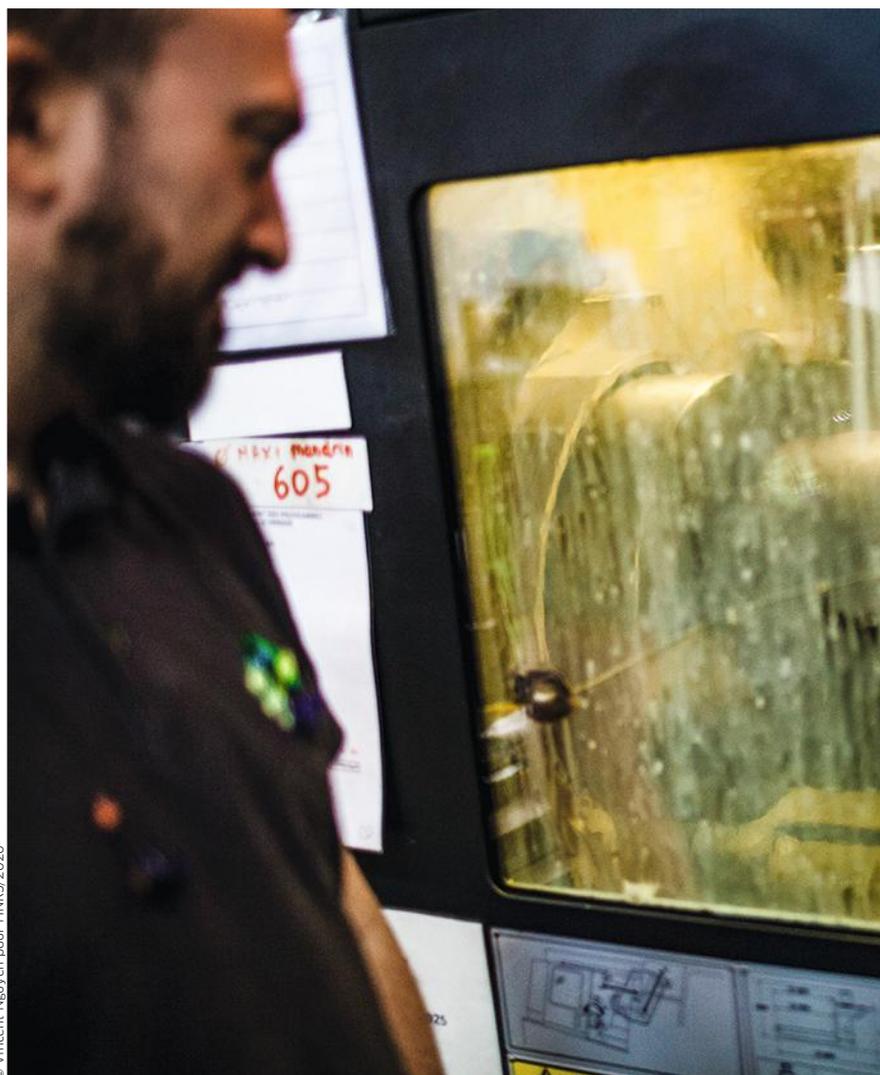
		FRACTION PARTICULAIRE ESTIMÉE DES BROUILLARDS D'HUILE		FRACTION GAZEUSE ESTIMÉE DES BROUILLARDS D'HUILE	
		COEF	P	COEF	P
<b>CAPOTAGE</b>			<b>0,0002</b>		<b>0,058</b>
	Oui	0,00		0,00	
	Non	0,42		0,31	
<b>CLUSTER D'ACTIVITÉS</b>			<b>0,0000</b>		<b>0,0000</b>
FRANCE	Usinage	0,00		0,00	
	Déplacements/réglages	0,13		0,07	
	Autres activités	0,32		0,22	
	Finition / nettoyage /manutention	0,73		0,19	
	Manutention/logistique	0,59		0,55	
SUISSE	Réglage / changement d'outils	-0,61		-0,52	
	Réglages	0,24		0,49	
	Réglages / usinage	0,09		-0,50	
	Maintenance	0,28		-0,68	
	Changement outils / finition / autres	0,02		-0,74	
<b>CONFIGURATION ATELIER</b>			<b>0,0000</b>		<b>0,0000</b>
	Atelier indépendant cloisonné	0,00		0,00	
	Hall industriel	0,78		1,17	
<b>TRAITEMENT DES FLUIDES</b>			<b>0,0000</b>		<b>0,0000</b>
	Non recyclés	0,00		0,00	
	Non épurés	0,42		0,70	
	Épuré réservoir machine	-0,20		0,01	
	Épuré centrale	-0,20		0,11	
<b>UTILISATION DE SOLVANTS</b>			<b>0,0000</b>		<b>0,002</b>
	Non	0,00		0,00	
	Oui	0,56		0,46	
<b>TEMPÉRATURE ATELIER</b>			<b>0,003</b>		
	19° - 21 °C	0,00			
	22° - 24 °C	-0,34			
	25 ° - 29 °C	-0,32			
<b>TYPE D'USINAGE</b>					<b>0,0000</b>
	CNC			0,00	
	Décolleteuse à cames			0,83	
	Rectification par meules			-0,23	
	Autres (presses)			-0,37	
<b>UTILISATION D'HUILES HYDRAULIQUES</b>					<b>0,0091</b>
	Non			0,00	
	Oui			0,28	
<b>VARIANCE EXPLIQUÉE DU MODÈLE (R<sup>2</sup>)</b>		<b>66%</b>		<b>71%</b>	

→ TABLEAU 3  
Contribution des différents déterminants à la construction du modèle statistique pour les deux fractions estimées des brouillards d'huiles.

- l'absence de capotage des machines ;
- la configuration de l'atelier (hall industriel *versus* atelier indépendant cloisonné) ;
- le mode de gestion et de traitement des fluides d'usinage (non recyclés, non épurés, épurés avec réservoir machine, épurés réservoir central) ;
- la température de l'atelier ;
- et les « clusters d'activité ». Ce dernier facteur joue un rôle très important dans l'explication de la variance du modèle, suggérant qu'à circonstances égales, c'est le type d'activité qui prédit l'exposition du salarié. Tous ces facteurs expliquent 62 % de la variance ( $R^2$ ) pour la fraction particulaire.

Pour la fraction « gazeuse » collectée, les déterminants les plus explicatifs sont : l'absence de capotage des machines, la configuration de l'atelier (hall industriel *versus* atelier indépendant cloisonné), le traitement des fluides (non recyclés, non épurés, épurés avec réservoir machine, épurés réservoir central), le type d'usinage mis en œuvre, l'utilisation d'huile hydraulique et les « clusters d'activité ». Tous ces facteurs expliquent 71 % de la variance ( $R^2$ ) pour la fraction gazeuse. Les résultats de la modélisation donnent des indications pertinentes pour mieux comprendre les situations de travail. Toutefois, les déterminants sélectionnés ne sont pas suffisamment explicatifs des différences entre les entreprises étudiées. Y a-t-il des déterminants complémentaires à trouver, pour caractériser encore plus finement les expositions des travailleurs ?

L'analyse des déterminants de l'exposition a permis de mettre en évidence que certaines activités des opérateurs sont plus exposantes que d'autres. Ainsi, une attention accrue doit être portée lors des phases transitoires de production (réglage de machine, changement d'outils ou maintenance de premier niveau). L'opérateur d'usinage intervient dans la machine, capotage ouvert, et se retrouve en contact avec le fluide de coupe, en manipulant des éléments souillés de fluide. Ces manipulations peuvent exposer l'opérateur d'usinage, soit par inhalation de l'air chargé en brouillard d'huile encore présent dans la machine lors de l'ouverture du capotage, soit par contact avec des éléments souillés de fluide dans la machine. Pour limiter les risques d'exposition lors de ces phases spécifiques, les machines récentes peuvent disposer d'une temporisation à l'ouverture, pour permettre à l'aspiration d'éliminer la plus grande partie du brouillard. Pour les machines qui en sont dépourvues, il conviendrait, dans les bonnes pratiques, d'imposer à l'opérateur une attente de quelques secondes, la machine à l'arrêt, avant de procéder à l'ouverture du capotage. De plus, il serait également approprié de prendre en compte ses phases transitoires dans la stratégie de prélèvement lors de la réalisation des mesures pour la quantification des expositions.



© Vincent Nguyen pour l'INRS/2020

L'approche par les déterminants de l'exposition et la modélisation des variables apportent un éclairage complémentaire aux connaissances déjà disponibles, concernant l'exposition aux brouillards d'huiles et pour la prévention du risque. Toutefois, dans l'exemple traité ici, cette approche ne permet pas d'expliquer l'intégralité des situations de travail, et certaines observations de terrain réalisées par le biais des suivis de poste font apparaître des problématiques non mises en évidence par la modélisation. L'utilisation de la soufflette à air comprimé pour le nettoyage des pièces (retrait des copeaux et du fluide de coupe résiduels) en est un parfait exemple. Lorsque le nettoyage de la pièce est réalisé à l'intérieur de l'enceinte de la machine, si une aspiration à la source est en place sur la machine, l'opérateur se trouve faiblement exposé aux brouillards générés par l'action de nettoyage. Cependant, très souvent pour assurer la cadence de production, l'opérateur retire la pièce usinée de la machine pour relancer la production. Le nettoyage de la pièce produite est alors

Usinage de pièces pour moules en Inconel (alliage à base de nickel, chrome, vanadium...).



effectué en dehors de la machine, exposant l'opérateur à un brouillard de fluide de coupe provoqué par l'action de l'air comprimé sur le fluide de coupe couvrant encore la pièce. Néanmoins, des solutions existent pour atténuer l'impact de cette étape de nettoyage des pièces: le recours à un système de boîtes à gants ventilées ou encore l'utilisation de machine à laver d'atelier sont des options envisageables. La réduction de la pression d'utilisation de l'air comprimé peut paraître sur le papier une approche à envisager également, toutefois, elle entraîne l'allongement de l'opération de nettoyage et réduit le bénéfice de la mesure de protection.

L'autre point important, que l'approche par modélisation n'a mis en évidence que partiellement et qui peut avoir un impact sur le niveau de concentration du brouillard, concerne la captation et l'épuration de l'air des machines d'usinage. Le réseau prévention préconise depuis de nombreuses années la captation, l'épuration et le rejet extérieur de l'air des machines. Dans le cadre de nos campagnes de prélèvements, il est apparu que seulement un tiers des entreprises volontaires se trouvait dans cette configuration. Pour les entreprises restantes, le rejet de l'air des machines (épurés ou non en fonction des entreprises) est effectué dans l'atmosphère des ateliers. Qu'il s'agisse d'un épurateur à filtre, d'un électrofiltre ou d'un collecteur de brouillard d'huile mécanique, le modèle n'a pas mis en évidence de différence significative sur les concentrations en brouillards (particulaire et totale). Néanmoins, il faut garder à l'esprit que ces épurateurs doivent être entretenus et nettoyés pour rester efficaces. De plus, leur capacité d'épuration prouvée ne concerne que la fraction particulaire du brouillard ; ils sont inadaptés pour la collecte et l'épuration de la fraction gazeuse du brouillard, ce qui renforce l'intérêt du rejet canalisé extérieur dans le cadre de la prévention des expositions aux fluides de coupe.

Par ailleurs, les observations de terrain ont mis en évidence quelques mauvaises pratiques en termes d'hygiène. Il arrive encore, dans certaines situations, que des travailleurs consomment des denrées alimentaires sur le poste de travail, malgré la réglementation en vigueur. Entre les surfaces de travail potentiellement souillées par l'entreposage temporaire de pièces sur les établis, ou les éventuelles projections/éclaboussures de fluide de coupe de machines non ou partiellement capotées, le risque d'ingestion de fluides se trouve fortement accru.

La problématique liée à l'utilisation des fluides de coupe est complexe et les voies d'exposition des travailleurs à ces substances sont multiples. Bien que l'analyse des situations de travail apporte des éléments significatifs pour identifier les risques et proposer la prévention la mieux adaptée possible aux travailleurs, des interrogations subsistent et des investigations sont encore nécessaires. À titre d'exemple, la question de la contamination bactérienne des bains de fluides aqueux et les risques d'exposition aux bioaérosols constituent un axe d'étude qui reste encore à approfondir pour améliorer la protection des travailleurs.

### Conclusion

L'étude réalisée sur les déterminants d'exposition montre qu'il subsiste encore, dans certaines entreprises, des expositions importantes (dépassements de la valeur recommandée) aux brouillards d'huile. Elle met également en avant la contribution non négligeable de la fraction gazeuse dans ces expositions, c'est-à-dire que l'estimation de la seule fraction particulaire des brouillards d'huile conduit à sous-estimer l'exposition réelle. L'approche par les déterminants a permis d'apporter un éclairage supplémentaire pour la compréhension des situations de travail dans les secteurs d'activité concernés et la prévention des risques liés à l'exposition aux brouillards d'huile. Il ressort que les phases transitoires de production doivent faire l'objet d'une attention accrue, car elles sont susceptibles d'être sources d'expositions pour les travailleurs de l'usinage. ●

1. L'approche « stepwise » consiste à construire une modélisation statistique en ajoutant la variable statistiquement la plus significative ou en retirant la variable la moins significative à chaque étape du modèle. Cette méthode permet d'identifier un sous-ensemble utile de prédicteurs.

### BIBLIOGRAPHIE

[1] BURDORF A. – Identification of determinants of exposure: consequences for measurement and control strategies. *Occupational and Environmental Medicine*, 2005, 62(5), pp. 344-350.

[2] FICHE MÉTROPOL M-282 – Fluides d'usinage. INRS, août 2016. In : Base de données MetroPol de l'INRS. Accessible sur : [www.inrs.fr/metropol](http://www.inrs.fr/metropol).

[3] KHANH HUYNH C., HERRERA H., PARRAT J. ET AL. – Occupational exposure to mineral oil metalworking fluid (MWFs) mist: development of new methodologies for mist sampling and analysis. Results from an inter-laboratory comparison. *Journal of Physics: Conference Series*, 2009, 151.

[4] RECOMMANDATION DU COMITÉ TECHNIQUE NATIONAL DES INDUSTRIES DE LA MÉTALLURGIE R 451 – Prévention des risques chimiques causés par les fluides de coupe dans les activités d'usinage de métaux. Cnam, 2015, 12 p. Accessible sur : [www.ameli.fr/sites/default/files/Documents/31228/document/r451.pdf](http://www.ameli.fr/sites/default/files/Documents/31228/document/r451.pdf).

### Remerciements

L'auteur tient à remercier tout particulièrement Nancy Hopf et Jean-Jacques Sauvain, Unisanté – Centre universitaire de médecine générale et santé publique (Lausanne, Suisse) pour leur contribution à cette étude.

# PRÉVENTION DE L'EXPOSITION AUX FLUIDES DE COUPE : DES SOLUTIONS CONCRÈTES

Cet article présente deux exemples de démarches de prévention des risques liés à l'exposition aux fluides de coupe, menées en entreprise avec le concours des Caisses d'assurance retraite et de santé au travail (Carsat). Dans la continuité de son programme relatif aux risques chimiques, un établissement a engagé, depuis plusieurs années, une démarche de substitution de ses huiles entières. Une autre entreprise a mené un projet de mise en place d'un système de captage. Des éléments importants sont à prendre en compte et à définir dans le cahier des charges, afin d'intégrer un futur système d'aspiration, à la fois performant et pérenne pour l'entreprise.

CHRISTOPHE BOUDY,  
FABRICE LERAY  
Carsat  
Pays-de-la-Loire

FABRICE MARTINET  
Carsat  
Rhône-Alpes

Comme indiqué dans les précédents articles, les huiles entières, aqueuses et végétales sont composées de substances chimiques diverses. Certaines d'entre elles peuvent être dangereuses et susceptibles, après des expositions prolongées, de générer des affections cutanées et/ou respiratoires. Ces huiles peuvent aussi voir leur composition évoluer lors de leur utilisation et conduire à la formation de substances cancérigènes. Il convient donc pour l'entreprise de prendre les mesures de prévention les mieux appropriées.

Pour mettre en œuvre les bonnes mesures, elle doit s'appuyer sur les neuf principes généraux de prévention, définis à l'article L. 4121-2 du code du travail<sup>1</sup>. Ils consistent, par ordre de priorité, à éviter l'ensemble des risques, voire à les supprimer si cela est techniquement possible, à les évaluer, à les combattre à la source, à remplacer ce qui est dangereux par ce qui ne l'est pas ou qui l'est moins (se référer au § 6.a : « Exemple de substitution »), à privilégier les mesures de protection collective aux mesures de protection individuelle (consulter le § 6.b : « Exemples de captage des aérosols de fluide de coupe »), à assurer la formation et l'information des travailleurs.

L'ensemble des préconisations spécifiques pour le choix et le suivi d'une huile et des mesures générales de prévention à appliquer en complément sont décrites dans la recommandation de la Cnam (pour le Comité technique national A - Métallurgie) R 451 (Cf. *Pour en savoir plus*).

Deux exemples de mise en œuvre de moyens de prévention sont présentés : le premier concerne la substitution de fluides de coupe à base d'huiles minérales par d'autres à base d'huiles végétales ;

le second détaille la réalisation d'une installation de ventilation, avec récupération d'énergie, dans un nouvel atelier.

## Substitution de fluides de coupe à base d'huiles minérales par des fluides à base d'huiles végétales

L'établissement Howmet Fixations Simmonds SAS, situé à Saint-Cosme-en-Vairais (Sarthe), a ouvert ses portes en 1938, pour devenir aujourd'hui une entreprise reconnue dans l'aéronautique et l'industrie. Cet établissement de 500 salariés (28 000 m<sup>2</sup> de bâtiments) conçoit, développe et fabrique des solutions de fixations (plus de 5 000 références) pour les constructeurs et les équipementiers du monde entier. Son savoir-faire repose sur les métiers suivants :

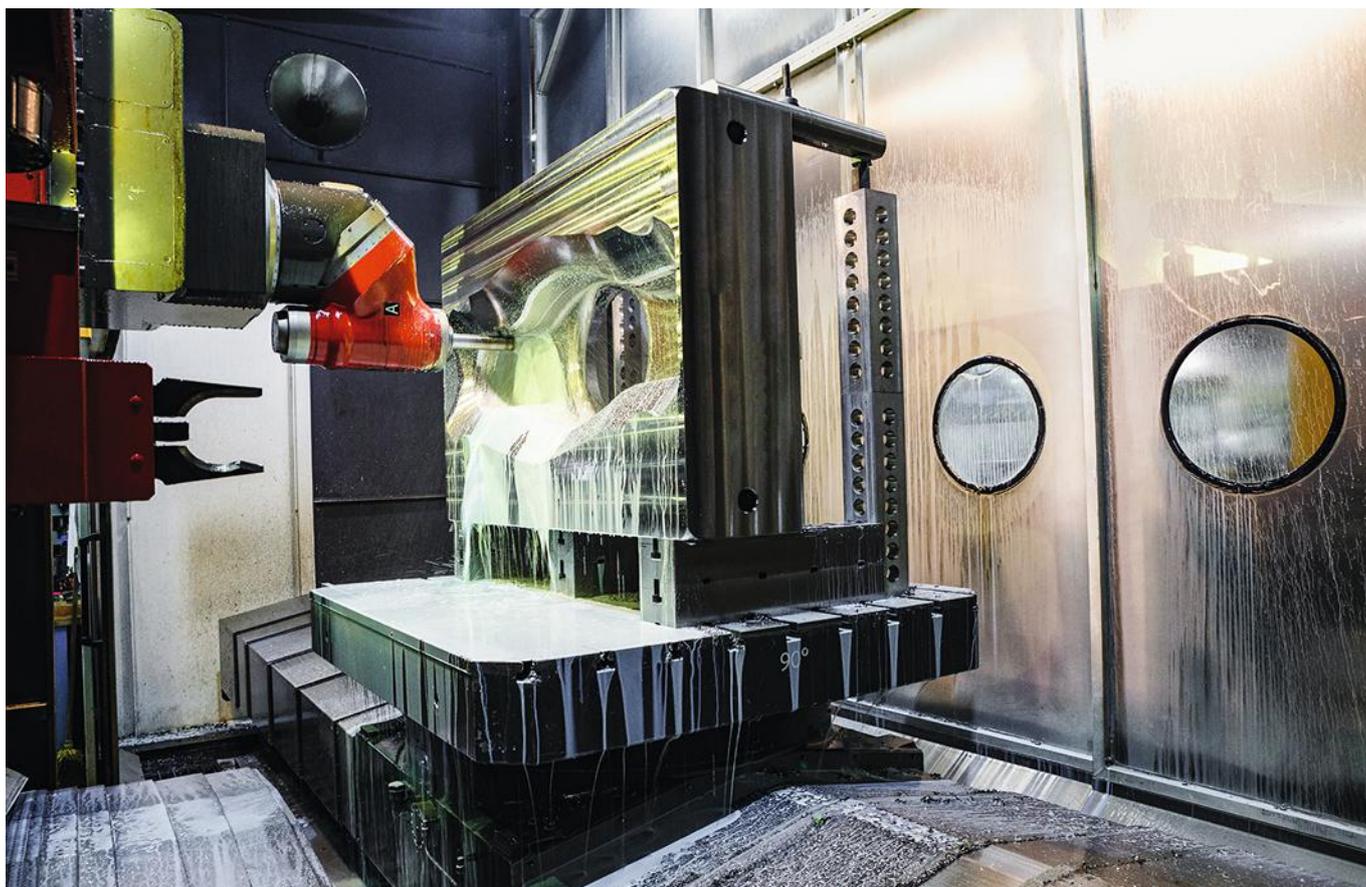
- forgeage, emboutissage : opérations primaires ;
- tournage, perçage, taraudage, serrage : opérations secondaires ;
- traitement thermique et traitement de surface : opérations finales.

L'établissement a mis en place des procédés qui respectent les normes de qualité, de sécurité et de protection de l'environnement. L'établissement est classé ICPE (Installation classée pour la protection de l'environnement).

## Démarche d'évaluation et de prévention des risques chimiques

La culture de prévention des risques professionnels est ancrée dans l'établissement et se formalise par un engagement de la direction au travers de sa « politique santé et sécurité ». Elle s'appuie sur un service HSE, composé de cinq personnes. Celui-ci assure le pilotage et l'animation de la





© Vincent Nguyen pour l'INRS/2020

démarche prévention au quotidien, de concert avec les membres de la CSSCT<sup>2</sup>, et l'encadrement de proximité.

Les exigences des clients, le degré de complexité des pièces fabriquées, etc., imposent d'utiliser des produits et des procédés susceptibles d'avoir un impact sur la santé des travailleurs et, bien évidemment, sur l'environnement.

Au cours de son évaluation des risques, l'établissement a réalisé un inventaire de ces produits, puis une recherche et une analyse de leurs dangers. L'établissement a logiquement exploité bon nombre de documents utiles comme les étiquettes des produits, les fiches de données de sécurité (FDS), la fiche d'entreprise établie par le médecin du travail, les rapports d'incidents, ou bien les comptes rendus de la CSSCT. Les émissions générées par les procédés, comme les fluides de coupe, ont pour leur part nécessité une recherche d'informations complémentaires, basées notamment sur les documents publiés par l'INRS (tels que le Guide pratique ED 972 par exemple ; Cf. *Pour en savoir plus*).

De manière à caractériser les expositions chimiques liées à chaque situation de travail, l'établissement a compilé de nombreuses données sur l'organisation du travail, la nature des procédés mis en œuvre, l'état des produits et leur volatilité, les modes d'émission (projection mécanique...), les

quantités, les voies d'exposition, les durées et fréquences d'exposition, l'efficacité des moyens de prévention existants (ventilation générale, captage localisé...). Le recueil de ces éléments a nécessité, de la part de l'établissement, une observation de l'activité réelle de chaque poste de travail et un questionnement des salariés.

Ces différentes informations renseignent une base de données spécifique groupe, calquée sur un modèle d'évaluation des risques de type Seirich (Système d'évaluation et d'information sur les risques chimiques en milieu professionnel ; Cf. *Pour en savoir plus*). Les résultats de cette évaluation sont exploités en collaboration avec le service de santé au travail de la Sarthe. Les avis communiqués par le médecin du travail sont intégrés au dossier médical, notamment dans le cadre du suivi individuel renforcé (SIR).

La priorité de l'établissement, concernant le risque chimique, est donnée à la suppression du risque, voire à la substitution du produit incriminé quand elle est techniquement possible (et que la suppression ne l'est pas). Chaque situation de travail étant unique, l'établissement mène au préalable une analyse technique qui prend en compte, non seulement les contraintes de fonctionnement et de production, mais aussi les conséquences de la

substitution envisagée. Les actions sont discutées lors des séances de la CSCT.

Cette démarche peut conduire à des modifications aux postes de travail, à la mise en place de nouveaux équipements ou procédés, de mesures techniques (réseaux d'aspiration centralisés brouillards d'huile - poussières métalliques, filtrations), organisationnelles (entretien annuel des réseaux par sous-traitance, référent ventilation interne, suivis réglementaires des VLEP, campagnes de mesurages des rejets des fumées) et de formation aux postes. À ces mesures peut s'ajouter, pour les risques résiduels, la mise en place d'équipements de protection individuelle en adéquation avec la tâche à réaliser, en tenant compte des contraintes physiologiques associées.

La demande d'homologation d'un nouveau produit ou processus sur le site est soumise à l'accord préalable du responsable HSE, des essais jusqu'à la mise en production.

Pour éviter les écueils, l'établissement a institué une veille, notamment réglementaire, sur le risque chimique, et met régulièrement à jour sa documentation interne, comme les FDS.

### Démarche de réduction des HAP dans les huiles entières

La publication de la recommandation Cnam R 451 (Cf. *Pour en savoir plus*) a été l'occasion pour l'établissement de refaire un point sur les risques associés aux huiles entières et solubles.

Un groupe de travail pluridisciplinaire, composé de membres du CHSCT<sup>3</sup> et de représentants des services HSE, méthodes, production, achats, amélioration continue a été constitué début 2012, avec un pilotage assuré par la responsable du service HSE, et une animation par un alternant ingénieur mécanique et production dans le cadre de son apprentissage.

L'objectif du groupe a été, dans un premier temps, d'analyser et de décrypter la recommandation, puis d'établir un plan d'actions en considérant les aspects de santé, de qualité et de coûts.

La deuxième phase a porté sur l'intégration de la valeur de référence en benzo[a]pyrène (taux en BaP < 100 µg/kg) dans les paramètres de contrôle des huiles minérales, et sur la réalisation d'une cartographie du taux de BaP par secteur d'activité, à partir de l'inventaire des huiles :

- neuves pour le secteur aéronautique ;
- recyclées<sup>4</sup> pour le secteur industrie.

Pour ce faire, un laboratoire externe a accompagné l'établissement dans le suivi de ses huiles. Des concentrations relativement élevées (> 30 µg/kg) ont été retrouvées dans certaines références d'huiles entières neuves. Une réflexion a donc été menée auprès des fournisseurs d'huiles, pour faire abaisser ce taux au plus bas que techniquement possible.

Concomitamment, les analyses réalisées, au secteur décolletage industrie, sur des huiles entières recyclées ont montré des dépassements de près de quatre fois la valeur de référence, et ont permis d'identifier non seulement une oxydation prématurée de ces huiles (« siccation<sup>5</sup> »), mais aussi des pollutions accidentelles par des ajouts d'huiles de graissage.

Après échanges avec les fournisseurs, des indicateurs supplémentaires, autres que le taux de BaP, ont été pris en compte par le groupe de travail comme, à titre d'exemples :

- pour les huiles entières, la proportion de particules métalliques. L'usinage des métaux favorise l'enrichissement des huiles en particules métalliques potentiellement dangereuses (cobalt, nickel, chrome, béryllium...). Pour le limiter, une filtration magnétique en continu a été installée sur la plupart des machines ;
- pour les fluides aqueux, le pH, la teneur en micro-organismes, la présence d'amines « nitrosables », les taux de nitrites...

Pour procéder au choix des huiles à homologuer, la dangerosité des huiles et leurs potentiels impacts sur la santé ont été pris en compte dès la phase d'essai et, pour valider ce choix, leur homologation n'a été effective qu'après :

- vérification de la composition par un laboratoire externe ;
- avoir recueilli l'avis du médecin du travail.

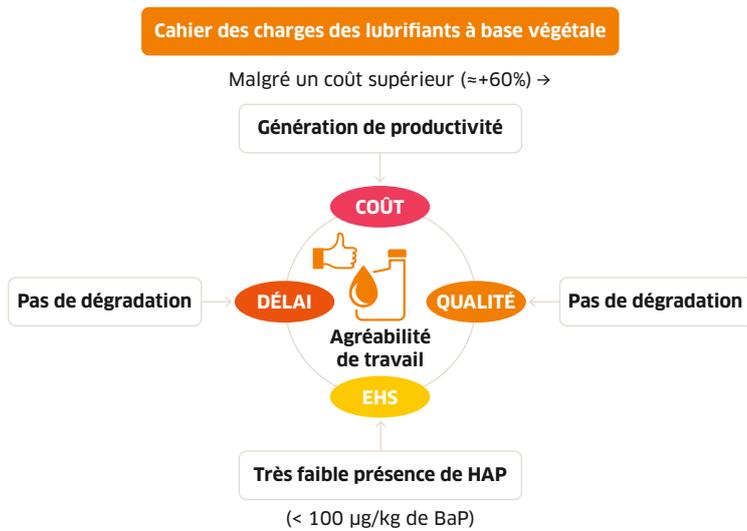
Les travaux avec les fournisseurs, jusqu'à début 2013, ont permis d'affiner les exigences techniques définies par les procédés d'usinage, comme, à titre d'exemples :

- limiter les élévations de température des outils ;
- atténuer les phénomènes de « siccation » des huiles ;
- conserver la qualité de l'usinage.

Une journée technique sur « *les risques liés aux fluides de coupe* », organisée en septembre 2012 par l'Union des industries et des métiers de la métallurgie (UIMM) de la Sarthe, en partenariat avec la Carsat des Pays-de-la-Loire et l'INRS, a été un tournant dans la démarche menée par l'établissement. En effet, cette journée lui a non seulement permis de présenter l'ensemble des actions engagées mais aussi de mettre en exergue leurs limites, le coût associé aux prestations externalisées, sa difficulté à trouver des laboratoires externes en capacité d'analyser des taux de BaP avec précision.

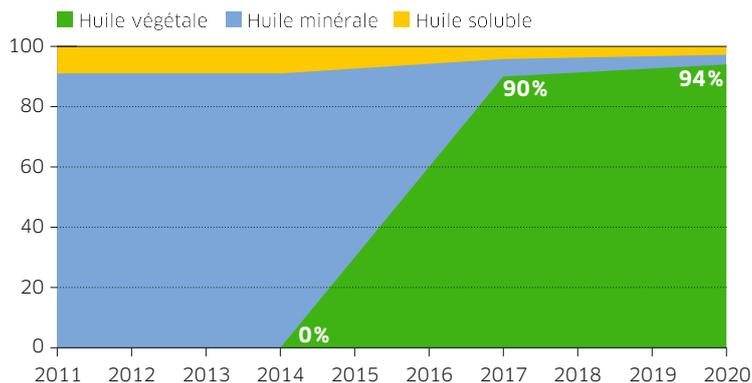
En toute transparence avec les fournisseurs, l'établissement a souhaité profiter de l'accompagnement proposé par le contrôleur de sécurité et de l'expertise du Laboratoire interrégional de chimie de l'Ouest (LICO) de la Carsat, pour poursuivre sa démarche de réduction du risque.





↑ FIGURE 1 Contenus du cahier des charges des lubrifiants à base végétale.

Évolution du type d'huile (en %) sur les process de HOWMET AEROSPACE Saint Cosme (72)



↑ FIGURE 2 Évolution des types de lubrifiants utilisés par l'entreprise au cours du temps.

Une fois les modalités d'accompagnement et les rôles de chacun précisés, les prélèvements réalisés début 2013 par le LICO ont permis de démontrer que les huiles usagées :

- étaient mesurées, dans le secteur aéronautique, à des concentrations en BaP inférieures à la valeur de référence ;
- étaient mesurées à l'inverse, dans le secteur industriel, à des concentrations en BaP au-delà du seuil de référence.

Un plan d'expérience a été défini, dans le secteur industrie, et a consisté à :

- vidanger complètement l'ensemble des tours d'usinage ;
- les alimenter en huiles neuves (TO de l'étude) ;
- recycler les huiles de coupe avec :
  - un essorage des copeaux et une filtration à 10 µm,
  - une vidange par mois ;
- réinjecter l'huile recyclée dans les tours en complétant si nécessaire avec une huile neuve ;
- réaliser des prélèvements mensuels des huiles de coupe sur chacun des tours.

Les résultats obtenus à la suite du plan d'expérience ont montré des teneurs non homogènes en BaP et parfois supérieures à la valeur de référence. L'établissement a donc fait le choix de suspendre l'étude sur les huiles minérales et de s'orienter vers une substitution par des huiles de coupe à base végétale. Les essais avec les nouvelles huiles ont été lancés en septembre 2013, après l'élaboration d'un cahier des charges cible et d'un plan d'actions (Cf. Figure 1).

Cette nouvelle période de tests s'est déroulée jusqu'à la fin de l'année 2015, avec un séquencage des travaux entre l'établissement et les fournisseurs (essais et résolution de problèmes techniques, ajustements des formulations ou propositions de nouvelles références d'huiles, étude des coûts), et l'analyse des échantillons par le laboratoire de la Carsat. Le déploiement des nouvelles références d'huiles végétales s'est fait progressivement sur l'ensemble des secteurs de l'établissement, jusqu'en 2016 (Cf. Figure 2).

Les objectifs fixés par l'établissement dans son cahier des charges ont été respectés :

- le passage à un lubrifiant industriel à bases végétales sur l'ensemble des secteurs du site de Saint-Cosme, malgré un coût d'achat plus élevé (≈ + 60 %) ;
- le changement a été approuvé par l'ensemble des acteurs de l'établissement ;
- des gains de productivité (outillage, volume) ont été observés sur certains process ;
- l'absence de dégradation de la qualité des pièces produites a été constatée.

Toutefois, l'utilisation d'une huile végétale a nécessité de la part de l'établissement de travailler sur une nouvelle filière de recyclage des huiles et sur un changement de produits dégraissants.

En résumé, la technologie végétale lui a permis d'atteindre son objectif initial de réduction du taux de HAP dans les huiles et, évidemment, bien en deçà du seuil de la recommandation de la Cnam R451 sur les fluides de coupe.

Pour l'établissement, ce seul critère reste insuffisant. L'entreprise a, depuis l'étude, intégré d'autres facteurs pour le suivi de ses fluides de coupe (huiles végétales, entières et solubles) comme la vérification de l'enrichissement en particules métalliques, la présence d'allergènes, d'irritants, ou encore d'amines « nitrosables » susceptibles de générer des composés cancérigènes, etc.

L'établissement reste en veille sur de nouveaux lubrifiants susceptibles de réduire les risques pour la santé, mais aussi les coûts associés.

### Réalisation d'un réseau de captage des brouillards d'huile avec récupération d'énergie dans un atelier neuf

L'entreprise « USI+ », située à Ayse (Haute-Savoie), est spécialisée dans le décolletage et l'usinage de

pièces techniques et ouvragées. En 2018, cette entreprise de 62 salariés a intégré un nouveau site industriel. Dès la définition des besoins pour la conception de ce nouveau bâtiment, la mise en place de réseaux d'aspiration centralisés des aérosols de fluide de coupe a été intégrée au projet.

Le dirigeant, conscient de l'importance de protéger les salariés de l'entreprise des brouillards d'huile, a opté pour un système d'aspiration centralisé avec rejet de l'air filtré canalisé vers l'extérieur du bâtiment. Les 75 centres numériques de décolletage-usinage de l'atelier de production ont été reliés à ce système.

L'installateur avait intégré, selon le projet initial, le raccordement simple à l'aspiration des chambres d'usinage des machines (émission principale). Après plusieurs semaines de fonctionnement et des échanges avec l'entreprise, des raccordements supplémentaires, avec un débit d'aspiration de l'ordre de 300 m<sup>3</sup>/h par piquage, ont été réalisés au niveau des circuits d'évacuation des copeaux (émissions secondaires) de cinq machines, dont l'émission en brouillards d'huile était encore significative.

En lien avec l'utilisation d'une huile entière de lubrification (produit combustible, Cf. Encadré 1), chaque machine usinant du titane est équipée d'un système d'extinction incendie automatique et d'un clapet « coupe-feu » sur les gaines d'aspiration, afin d'éviter toute propagation d'un incendie vers l'ensemble du réseau d'aspiration.

Après une étude préalable du parc de machines à équiper (centres numériques récents, entièrement capotés), le fournisseur a proposé la mise en place de deux réseaux centralisés afin de relier l'ensemble des machines réparties dans l'atelier. Ces installations présentent les performances aérauliques suivantes :

- capacité d'aspiration totale : 20 000 m<sup>3</sup>/h par réseau soit 40 000 m<sup>3</sup>/h au total ;
- aspiration totale effective : 36 000 m<sup>3</sup>/h pour l'ensemble des machines ;
- débits unitaires par machine : 150 à 1 100 m<sup>3</sup>/h selon le type de machine (détermination empirique ou selon les données fabricants des machines) ;
- vitesses de transport dans les gaines : 4 à 12 m/s selon les branches.

Les centrales de filtration et les ventilateurs de 30 kW ont été placés dans des locaux techniques dédiés. La centrale, particulièrement adaptée aux aérosols de fluides de coupe, est composée de trois étages de filtration : deux étages de filtration à coalescence (autodrainant) et un étage de filtration (en finition) de qualité HEPA (de l'anglais *High Efficiency Particulate Air* : filtre à air à haute efficacité) de classe H 13 (taux d'efficacité de 99,95 % pour des particules de taille de 0,3 µm).

Un manomètre à pression différentielle (par unité de

filtration) permet de surveiller l'état de colmatage des filtres. Le système choisi présente également une faible incidence sur le niveau sonore de l'atelier et en environnement (limite de propriété), notamment grâce à la mise en place de silencieux.

L'atelier est également équipé de systèmes de réintroduction d'air neuf à diffusion basses vitesses (vitesses d'air soufflé inférieures à 0,4 m/s au niveau des postes de travail) à travers des gaines textiles, de diamètre 1 120 mm et de longueurs de

## ENCADRÉ 1

### UNE HUILE VÉGÉTALE INSATURÉE PEUT DÉCLENCHER UN INCENDIE

Un chiffon imbibé d'huile végétale au fond d'un seau peut chauffer suffisamment pour s'enflammer spontanément.

#### Les huiles végétales et le risque incendie

La substitution de produits dangereux est une obligation réglementaire (selon les décrets n<sup>os</sup> 2003-1254 et 2001-97). Cela amène les entreprises à utiliser, dans certains cas, des huiles végétales. L'utilisation de ce type d'huile nécessite cependant une nouvelle évaluation du risque chimique.

En effet, la plupart des huiles végétales sont riches en acides gras insaturés, notamment les huiles de lin, de colza, de tournesol, de soja, d'olive, de maïs... Cette proportion en acides gras insaturés est moins importante dans les huiles de palme et de coco.

Ces différents corps gras végétaux peuvent s'oxyder au contact de l'air, les peroxydes formés sont instables et se décomposent très facilement. À titre d'exemple, les différents déchets ou outils souillés par des huiles végétales peuvent s'enflammer spontanément.

Cette réaction autocatalytique d'oxydation est complexe et dépend notamment de la proportion en acides gras insaturés, de la température, de la présence de catalyseurs et de l'absence d'inhibiteurs d'oxydation.

#### Les mesures de prévention à mettre en œuvre

Il est impératif pour l'ensemble des déchets (poussières, chiffons) et pour les outils (pinceaux, rouleaux, éponges) imbibés d'huiles végétales :

- de les rendre inertes par immersion dans de l'eau ou de les conserver dans un récipient métallique hermétiquement fermé,
- de limiter les quantités souillées ;
- d'éviter de les stocker au soleil ou à proximité d'une source de chaleur susceptible d'activer la réaction ;
- de bien refermer les bidons d'huile végétale après utilisation.

**À noter :** la texture microporeuse de certains chiffons augmente la surface d'échange avec l'air et favorise la réaction d'auto-échauffement.

L'inflammabilité de ces huiles n'apparaît pas forcément sur l'étiquetage ou la fiche de données de sécurité. Le risque d'inflammabilité doit, néanmoins, être pris en compte lors de leur utilisation car celles-ci demeurent inflammables.

*En savoir plus : Dossier Incendie sur les lieux de travail : <https://www.inrs.fr/risques/incendie-explosion/introduction.html>.*



ENCADRÉ 2

CONCEPTION DES INSTALLATIONS DE VENTILATION

L'objectif d'une installation de ventilation dans un atelier d'usinage est de diminuer la concentration des brouillards d'huile à un niveau aussi bas que possible, il est recommandé que l'exposition des opérateurs ne dépasse pas 0,5 mg/m<sup>3</sup> (recommandation de la Cnam R 451). Pour cela, il est nécessaire de traiter toutes les sources d'émissions. Notamment l'utilisation de la soufflette pour le nettoyage des pièces usinées, lorsqu'elle s'avère nécessaire, constitue une source d'émission qu'il conviendra de traiter par la mise en œuvre de dispositifs de captage spécifiques. La conception et la réalisation d'une installation de ventilation doivent être réalisées par des entreprises spécialisées.

La conception des dispositifs de captage sur les machines et des capotages, qui est de la responsabilité de leurs fabricants, a une grande importance sur l'efficacité du captage des brouillards d'huile. Les fabricants de machines doivent également fournir les débits d'aspiration nécessaires pour un bon captage sur leurs machines et la perte de charge que ce débit entraîne. Ces données sont nécessaires pour que l'entreprise de ventilation puisse concevoir l'installation en déterminant notamment le débit global et la dépression que doit pouvoir fournir la centrale d'aspiration. Les diamètres des conduits de ventilation seront déterminés de façon à ne pas avoir de sédimentation significative des brouillards sans générer de niveau sonore trop important.

Le recyclage de l'air dans les locaux après filtration entraîne toujours une réintroduction d'une partie des polluants dans l'atelier, notamment à cause de la présence d'une phase vapeur dans les brouillards qui n'est pas filtrée (voir article sur Les déterminants de l'exposition appliqués aux brouillards de fluide de coupe). Il est fortement recommandé que le rejet de l'air capté se fasse à l'extérieur. La compensation de l'air extrait par la ventilation est également très importante pour le bon fonctionnement de l'installation. Les principes de conception d'une installation de captage des brouillards d'huile sont décrits dans le Guide ventilation n° 6 (ED 972).

28 à 35 m chacune, positionnées au plafond, afin de compenser les volumes d'air extraits. À partir des données du fournisseur du système d'aspiration, le prestataire en conditionnement d'air a installé en toiture quatre unités air – air compactes, intégrant des pompes à chaleur permettant de réchauffer ou de rafraîchir l'air neuf de compensation en utilisant, sans recyclage, l'air provenant des groupes de filtration des brouillards d'huile ou de l'air extérieur. Ce système compense les 36 000 m<sup>3</sup>/h d'air extrait, permet de limiter les déperditions en calories liées à l'extraction d'air vers l'extérieur en hiver et de réduire les besoins en rafraîchissement de l'atelier notamment par l'évacuation des calories produites par les machines en été. Afin de garantir la pérennité des performances aérauliques et de filtration des réseaux en place, l'installateur réalise une visite annuelle pour effectuer la maintenance préventive et les vérifications périodiques prévues par la réglementation (vérification de l'état des éléments de l'installation, mesurage des débits/vitesses d'air en des points caractéristiques des réseaux d'aspiration). Le prestataire réalise également des mesures, à l'aide d'un compteur de particules, pour vérifier le rendement de filtration (Cf. Encadré 2).

**Conclusion**

Ces deux exemples de réalisations montrent que les entreprises, notamment avec le soutien des unités techniques des Carsat (centres de mesure

physique et laboratoires de chimie), peuvent se saisir concrètement des questions posées par les risques liés à l'utilisation des fluides de coupe, afin d'y apporter des réponses précises en termes de mesures de prévention. ●

1. Accessible sur : [www.legifrance.gouv.fr](http://www.legifrance.gouv.fr). Et voir dans ce même numéro pp. 115-120 : Veille et prospective – Industrie du futur et principes généraux de prévention.
2. Commission de santé, sécurité et conditions de travail, au sein du Comité social et économique (CSE) de l'entreprise. Voir : [www.inrs.fr/demarche/cssct/ce-qu-il-faut-retenir.html](http://www.inrs.fr/demarche/cssct/ce-qu-il-faut-retenir.html).
3. Remplacé depuis par la CSSCT. Voir : <https://www.inrs.fr/demarche/cssct/ce-qu-il-faut-retenir.html>.
4. Les huiles du secteur aéronautique sont réutilisées dans le secteur industrie, après essorage et filtration à 10 µm.
5. La siccation est une oxydation des doubles liaisons des acides gras conduisant à une réticulation de l'huile.

**POUR EN SAVOIR +**

- R 451 – Prévention des risques chimiques causés par les fluides de coupe dans les activités d'usinage de métaux. Cnam, 2015. Accessible sur : [www.ameli.fr](http://www.ameli.fr).
- Captage et traitement des aérosols de fluides de coupe. INRS, 2005, coll. Guide pratique de ventilation n° 6, ED 972. Accessible sur : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr).
- Outil Seirich, accessible sur : [www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil58](http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil58).

# Préventeurs, formateurs, consultez le catalogue Formations 2022 – Santé et sécurité au travail sur [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)



Retrouvez toutes les informations sur  
[www.inrs.fr/services/formation](http://www.inrs.fr/services/formation)



# Études & solutions

## Notes techniques

Améliorer la ventilation des locaux de travail du tertiaire,  
pendant et après la pandémie de Covid-19

P.53

Exposition sonore et risque auditif  
chez les professionnels du secteur  
de la musique amplifiée

P.62

Panorama des professions et secteurs  
exposés au formaldéhyde en 2017

P.70

## Étude de cas

Amiante et poussières inhalables :  
risques d'exposition des travailleurs des filières  
de traitement des déchets de chantier

P.84

## Base de données

Portrait rétrospectif de l'exposition professionnelle  
aux chloramines dans les piscines et les stations  
thermales en France de 2011 à 2020

P.94

# AMÉLIORER LA VENTILATION DES LOCAUX DE TRAVAIL DU TERTIAIRE, PENDANT ET APRÈS LA PANDÉMIE DE COVID-19

Dans un contexte de pandémie, l'un des moyens de lutter contre les risques de transmission d'un virus est d'accentuer le renouvellement de l'air des locaux de travail et d'éviter son recyclage. Or les dispositifs existants pour mesurer les apports d'air neuf peuvent être complexes et coûteux à mettre en œuvre. Des travaux de l'INRS ont permis de développer une méthode pour quantifier le taux de renouvellement de l'air d'un local et de déterminer si celui-ci est en adéquation avec le nombre d'occupants et leur activité. L'approche décrite dans cet article pourrait, au-delà de la prévention du risque biologique, améliorer significativement la qualité de l'air dans les locaux du secteur tertiaire.

---

ROMAIN  
GUICHARD,  
FABIEN  
GÉRARDIN  
INRS,  
département  
Ingénierie  
des procédés

---

## Contexte de l'étude : la crise sanitaire liée à la pandémie de Covid-19

Depuis le début de la pandémie de Covid-19 et avec l'apparition de nouveaux variants, différents moyens de prévention ont été progressivement mis en œuvre afin de limiter la transmission des virus. Par exemple, la distanciation et le port de masques permettent une réduction de la transmission *via* les gouttelettes, et la désinfection des surfaces et l'hygiène des mains réduisent le risque de contamination indirecte par contact.

Afin de limiter les possibilités de transmission par les aérosols, il est principalement conseillé d'augmenter le renouvellement de l'air des locaux par ventilation et aération, et d'éviter si possible le recyclage de l'air [1]. En dehors d'une période de pandémie, le renouvellement de l'air permet également de maintenir une bonne qualité de l'air intérieur (QAI), en évitant l'accumulation de polluants grâce au phénomène de dilution. Cependant, au-delà de cette recommandation générale, il reste difficile en pratique de savoir si les apports d'air neuf sont effectivement suffisants dans une situation donnée. Même en fixant un objectif de taux de renouvellement d'air, les méthodes de mesure normalisées qui existent pour l'estimer sont assez coûteuses et nécessitent une bonne expertise

du sujet. La méthode décrite dans cet article permet à la fois de quantifier de façon simple le taux de renouvellement d'air d'une pièce et de déterminer si celui-ci est en adéquation avec le nombre d'occupants et leur activité. Comme on le verra plus loin, cette méthode est basée sur la mesure de concentration en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) que l'on peut indirectement relier au risque de transmission d'agents biologiques dans l'air. Au-delà de la prévention du risque biologique, cette approche présente la possibilité, à moyen terme, d'améliorer significativement la qualité de l'air dans les locaux du secteur tertiaire.

## Constat : une ventilation insuffisante des locaux du tertiaire

Les débits d'air neuf minimaux à apporter dans les locaux de travail à pollution non spécifique sont imposés par le Code du travail (Cf. *Aide-mémoire juridique de l'INRS TJ 5 [2]*) et dépendent de l'activité physique des occupants. Le débit d'air neuf minimal pour une activité de bureau est de 25 m<sup>3</sup>/h/occupant. Afin de mieux comprendre ces valeurs, il est essentiel de revenir sur les calculs qui sont à l'origine de la réglementation actuelle.

Les débits d'air neuf à apporter ont été calculés dans l'annexe I de la circulaire du 9 mai 1985 [3],



## RÉSUMÉ

La pandémie de Covid-19 a amené à reconsidérer la ventilation des locaux de travail dans le secteur tertiaire, en prenant en compte le risque biologique qui était jusqu'alors peu présent. Dans ce contexte, l'article démontre d'abord l'insuffisance des apports d'air neuf minimaux réglementaires en période de pandémie, mais aussi

en temps normal. De plus, les débits d'air effectivement introduits sont généralement difficiles à vérifier en pratique. La première proposition majeure est donc d'augmenter le renouvellement d'air dans ces locaux, tout en s'assurant qu'il reste compatible avec les contraintes énergétiques;

la seconde proposition est une méthode permettant de vérifier que les objectifs de renouvellement d'air en situation de travail sont bien atteints. Ces deux propositions majeures permettront d'obtenir une meilleure qualité de l'air dans ces locaux et d'y réduire le risque biologique lié aux aérosols.

### *Improving ventilation in workplaces in the service industry, during and after the Covid-19 pandemic*

*The Covid-19 pandemic led to reconsideration of ventilation of workplaces in the service industry, taking biological risks into account, which were not extensively considered up to now. In this context, the article demonstrates first that the minimal regulatory influx of fresh air is insufficient not only during a*

*pandemic, but also under normal circumstances. In addition, the air-flow effectively introduced tends to be difficult to verify in practice. The first major proposal is therefore to increase the rate of air renewal in these workplaces, while ensuring that it remains compatible with energy constraints.*

*The second proposal is a method to verify that the objectives for air renewal in a working situation are effectively achieved. These two major proposals will provide better air quality in these workplaces, and will reduce the biological risks due to aerosols.*

en considérant qu'une concentration en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) inférieure à 1000 parties par million (ppm) était synonyme d'une bonne qualité d'air. Cette hypothèse est communément admise dans les locaux à pollution non spécifique, c'est-à-dire les locaux où la pollution de l'air est uniquement due à la présence humaine, ce qui est le cas de la majorité des locaux tertiaires. La concentration en CO<sub>2</sub> dans l'air extérieur, ainsi que l'émission moyenne de CO<sub>2</sub> d'un être humain selon son activité physique, sont connues. Il est donc possible de calculer le débit d'air neuf à apporter dans une pièce pour ne pas dépasser la limite de 1000 ppm :

$$Q_{\text{air neuf}} = \frac{Q_{\text{air expiré}} \cdot C_{\text{air expiré}}}{C_{\text{limite}} - C_{\text{extérieur}}} \quad (1)$$

Où :  $Q_{\text{air neuf}}$  est le débit d'air neuf provenant de l'extérieur à apporter par occupant [m<sup>3</sup>/h] ;

$Q_{\text{air expiré}}$  est le débit d'air expiré par un occupant [m<sup>3</sup>/h] ;

$C_{\text{air expiré}}$  est la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'air expiré [ppm] ;

$C_{\text{limite}}$  est l'objectif de concentration en CO<sub>2</sub> à ne pas dépasser [ppm] ;

$C_{\text{extérieur}}$  est la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'air extérieur [ppm].

Dans la circulaire du 9 mai 1985, le calcul est réalisé avec  $Q_{\text{air expiré}} = 0.36$  m<sup>3</sup>/h,  $C_{\text{air expiré}} = 4,5$  % (soit 45000 ppm),  $C_{\text{limite}} = 1000$  ppm et  $C_{\text{extérieur}} = 300$  ppm.

Notons que le débit de CO<sub>2</sub> expiré, qui est le numérateur dans l'équation (1), est dans ce cas de 16,2 L/h. On obtient alors un débit d'air neuf de 23 m<sup>3</sup>/h/occupant, qui a été retenu à 25 m<sup>3</sup>/h/occupant dans la réglementation.

Cependant, la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'air extérieur a progressé de plus de 20 % entre 1985 et 2021. Il est en effet difficile aujourd'hui de mesurer une concentration en CO<sub>2</sub> inférieure à 400 ppm (et bien davantage dans les environnements urbains), au lieu des 300 ppm pris en référence dans la circulaire, qui était déjà une valeur particulièrement basse en 1985, car la moyenne mondiale s'établissait alors à 350 ppm.

De plus, les débits respiratoires ont été largement sous-estimés. On sait aujourd'hui qu'un travailleur de bureau assis expire en moyenne 20,2 L/h de CO<sub>2</sub> [4,5] au lieu des 16,2 L/h retenus dans la circulaire. Une personne en activité physique modérée à intense expire entre 55,2 et 132 L/h [5] au lieu de 40.5 L/h, même si ces activités physiques plus intenses sont peu fréquentes dans les locaux tertiaires. Ces sous-estimations avaient finalement peu d'impact sur la qualité de l'air intérieur au moment de la parution de la circulaire, car les bâtiments étaient peu étanches et la consommation énergétique due au chauffage n'était pas au centre des préoccupations. Des taux d'infiltrations d'air élevés complétaient ainsi naturellement la ventilation contrôlée.

Les débits minimaux d'air neuf déterminés en 1985 sont :

- 25 m<sup>3</sup>/h/occupant pour un travail de bureau assis ;
- 45 m<sup>3</sup>/h/occupant en activité physique modérée ;
- 60 m<sup>3</sup>/h/occupant en activité physique intense.

En refaisant les mêmes calculs avec des valeurs actualisées, toujours pour un seuil de 1000 ppm, on obtiendrait :

- 34 m<sup>3</sup>/h/occupant pour un travail de bureau assis ;
- 92 m<sup>3</sup>/h/occupant en activité physique modérée ;
- 220 m<sup>3</sup>/h/occupant en activité physique intense.

Notons que l'aération par ventilation naturelle, assurée exclusivement par l'ouverture de fenêtres ou autres ouvrants donnant directement sur l'extérieur, est autorisée lorsque le volume par occupant est égal ou supérieur à 15 m<sup>3</sup> pour les bureaux et 24 m<sup>3</sup> pour les autres locaux [2].

Il est également intéressant de comparer les débits minimaux réglementaires d'air neuf à apporter par occupant en France par rapport aux autres pays européens. Les données du *Tableau 1* sont issues du projet *HealthVent* réalisé en 2013 et soutenu par la Direction générale de la santé et des consommateurs de la Commission européenne [6]. On note quatre groupes de pays proposant des plages de débits d'air neuf distincts entre 20 et 90 m<sup>3</sup>/h/occupant pour un travail de bureau. Avec 25 m<sup>3</sup>/h/occupant, la France impose l'un des débits les plus bas d'Europe, alors que la majorité des pays fixe des débits qui sont en accord avec les valeurs ci-dessus, entre 34 et 92 m<sup>3</sup>/h/occupant.

Ces débits sont également cohérents avec les travaux de Seppänen *et al.* [7], qui ont passé en revue la littérature relative à l'association entre les débits de ventilation et la qualité de l'air perçue dans différents environnements tertiaires. Les auteurs ont conclu, après leur analyse sur plus de trente mille sujets (dans des immeubles à usage commercial ou hébergeant des institutions), qu'un débit inférieur à 36 m<sup>3</sup>/h/occupant menait à une aggravation statistiquement significative d'un ou plusieurs problèmes de santé ou à la détérioration de la qualité de l'air perçue. Les conclusions de cette revue lient également la qualité de l'air intérieur à la concentration en CO<sub>2</sub>, indiquant qu'une concentration inférieure à 800 ppm conduit à une réduction significative du risque de développer des symptômes liés au syndrome du bâtiment malsain<sup>1</sup>.

Le 16 février 2021, le Conseil supérieur de la santé belge a rappelé que « *la propagation du coronavirus par l'intermédiaire des aérosols joue un rôle important dans la transmission de l'infection dans les espaces clos* » [8]. Il a recommandé de prévoir au moins 50 m<sup>3</sup>/h/occupant et, de préférence, 80 m<sup>3</sup>/h/occupant d'air neuf et de limiter le nombre de personnes en fonction de la capacité de ventilation, pour notamment « *maintenir la concentration de CO<sub>2</sub> aussi faible que possible* ».

PAYS	DÉBIT [m <sup>3</sup> /h/OCCUPANT]
Hongrie	90
Allemagne	90
Finlande	65
Portugal	60
Slovénie	53
Norvège	50
Tchéquie	50
Pays-Bas	43
Italie	40
Royaume-Uni	36
Bulgarie	36
Lituanie	36
Grèce	25
Roumanie	25
<b>France</b>	<b>25</b>
Pologne	20

← **TABLEAU 1**  
Débits  
de ventilation  
minimaux  
réglementaires  
par occupant  
dans les bureaux.

### Évaluation : techniques de mesure en question

Pour répondre à des objectifs réglementaires, il est nécessaire de disposer d'une méthode permettant d'estimer le débit d'air neuf apporté ou le taux de renouvellement d'air dans un bureau ou une salle de réunion. On rappelle que le taux de renouvellement d'air [vol/h] correspond au débit d'air neuf provenant de l'extérieur [m<sup>3</sup>/h] divisé par le volume de la pièce [m<sup>3</sup>]. Généralement, le débit d'air est estimé à partir du débit extrait par une ventilation mécanique contrôlée (VMC) ou à partir du débit moyen entrant par une entrée d'air calibrée. Cependant, cette technique est trop approximative lorsqu'une seule extraction mécanique sert à plusieurs pièces et du fait que le taux de renouvellement d'air n'est pas défini par rapport à l'air extrait mais par rapport à l'air introduit. Cela est particulièrement important dans les locaux bien isolés qui peuvent être mis en dépression par une VMC en aspiration sans pour autant renouveler suffisamment leur air. Dans le cas d'une entrée d'air calibrée, le débit indiqué reste très théorique. Seule une configuration faisant intervenir une centrale de traitement de l'air (CTA) avec un soufflage d'air contrôlé permet de mesurer directement un débit d'air neuf en conduite ou au niveau des bouches de soufflage, à la fois au moment de la réception de l'installation de ventilation et lors des contrôles périodiques. L'usage de CTA dans les locaux tertiaires de type bureau ou salle de réunion n'est cependant pas systématique.

En l'absence de connaissance des débits d'air neuf introduits, il est possible de mesurer directement le taux de renouvellement d'air par une méthode de croissance ou décroissance gazeuse. La norme NF EN ISO 12569: 2017 [9] explicite la méthodologie



à suivre, mais celle-ci n'est pas aisée à mettre en œuvre. En effet, elle nécessite de générer un gaz traceur de concentration connue et à un débit calibré, ce qui implique l'utilisation de matériel et de consommables coûteux, et est assortie d'un traitement des données non trivial. Cette norme est donc réservée à des techniciens ou experts en ventilation. En outre, il existe une grande incertitude sur le taux d'infiltration d'air, c'est-à-dire la proportion d'air entrant par les fuites dues à une mauvaise étanchéité à l'air de l'enveloppe des locaux. Des tests de perméabilité à l'air à l'aide d'une porte soufflante existent, comme décrit dans la norme NF EN ISO 9972: 2015 [10], mais sont peu utilisés en pratique en raison du matériel et de l'expertise nécessaires pour les mettre en œuvre.

Une approche basée sur le suivi de la concentration en CO<sub>2</sub> généré par la respiration humaine est proposée ci-après.

### Concentration en CO<sub>2</sub> et risque biologique lié aux aérosols

En l'absence d'une source de pollution spécifique, la concentration en CO<sub>2</sub> est un bon indicateur du confinement d'un local de travail. Les occupants d'un local produisent, en respirant, du CO<sub>2</sub> qui se disperse dans le volume du local. Les apports d'air neuf provenant de l'extérieur viennent ensuite diluer la concentration résultante en CO<sub>2</sub>. Ainsi, il est communément admis que :

- lorsque la concentration intérieure en CO<sub>2</sub> est proche de celle extérieure, l'air du local est considéré comme neuf ;
- lorsque la concentration intérieure est inférieure à 1 000 ppm, l'air est correctement renouvelé ;

- si elle est supérieure à 1 000 ppm, le local peut être considéré comme plutôt confiné, il devient donc nécessaire de le ventiler davantage.

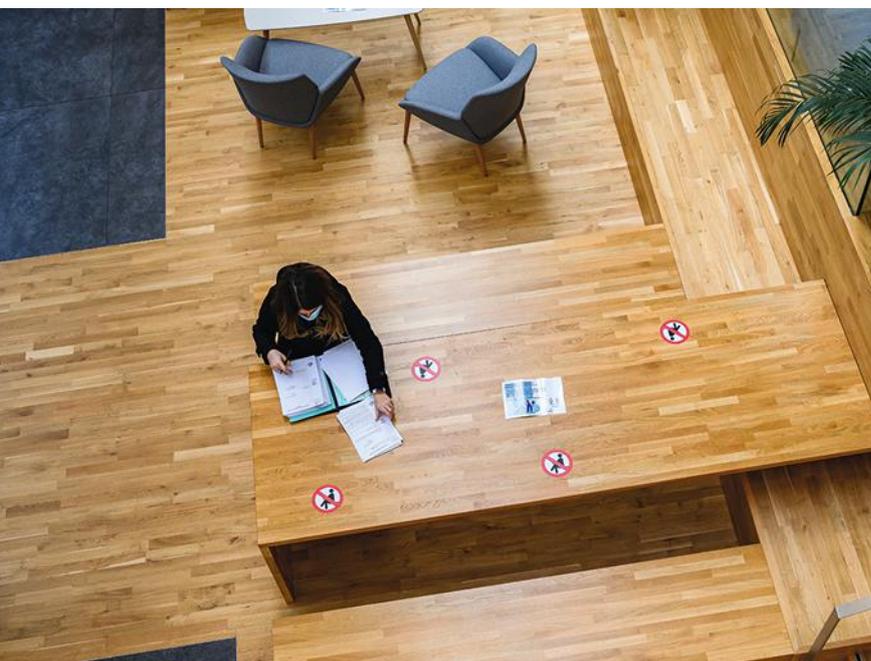
Au-delà des émissions naturelles de CO<sub>2</sub> (par respiration), les occupants vont également générer de l'humidité en proportion de leur activité physique, ainsi que des aérosols contenant potentiellement une charge virale ou bactérienne, lorsque l'émetteur est contaminé. La quantité d'aérosols émise est proportionnelle au volume d'air expiré pour une même personne, de même que la quantité de CO<sub>2</sub> émise. La concentration ambiante en CO<sub>2</sub> dans une pièce donne donc une indication directe sur le volume d'air qui a été expiré par les occupants sur une période donnée. Ainsi, si on parvient à réduire la concentration en CO<sub>2</sub> dans un local, on réduit d'autant le risque biologique lié aux aérosols (en l'absence de tout dispositif actif ou passif qui viserait à épurer uniquement le CO<sub>2</sub> de la pièce).

Pour cela, on peut agir sur :

- le nombre d'occupants dans la pièce ;
- la durée de présence des occupants ;
- l'activité physique des occupants ;
- le taux de renouvellement d'air de la pièce.

Rudnick et Milton [11] ont mis en évidence dès 2003 que le risque de transmission d'une infection par l'air pouvait être estimé à partir du suivi de la concentration en CO<sub>2</sub> dans les environnements intérieurs. Dans ce contexte, différentes propositions ont été publiées dans la littérature, afin d'abaisser les objectifs de concentration en CO<sub>2</sub>, y compris hors période de pandémie de Covid-19. Un exemple particulièrement documenté a été publié par Du *et al.* [12]. Ces chercheurs ont étudié l'effet de la ventilation sur l'épidémie de tuberculose à l'université de Taipei à Taiwan. Au sein de cette université, 27 cas initiaux de tuberculose ont contaminé 1 665 cas contacts. Les salles étaient insuffisamment ventilées et les niveaux de CO<sub>2</sub> dépassaient 3 200 ppm. En travaillant sur la ventilation des locaux, les concentrations en CO<sub>2</sub> ont ensuite été réduites à 600 ppm. Malgré une seconde vague de cas rapportés de tuberculose, aucune transmission n'a ensuite eu lieu au sein de l'université. Une analyse multifactorielle détaillée a montré que la ventilation avait contribué à 97 % de l'absence de contamination, lors de la seconde vague. L'analyse montre également que pour la tuberculose, le nombre de reproduction de base R<sub>0</sub>, c'est-à-dire le nombre attendu de nouveaux cas directement générés par un cas existant, est inférieur à 1 (l'épidémie s'arrête d'elle-même) pour des concentrations en CO<sub>2</sub> strictement inférieures à 1 000 ppm. À l'inverse, le R<sub>0</sub> est supérieur à 1 (l'épidémie de tuberculose se propage) lorsque la concentration en CO<sub>2</sub> est supérieure à 1 000 ppm. La tuberculose est provoquée par une bactérie<sup>2</sup>. Pour le virus Sars-CoV-2 et ses nombreux variants (agents responsables de l'épidémie de Covid-19),

Bureau flexible aménagé en période de pandémie de la Covid-19.



© Gael Kerbaol/INRS/2021

ces valeurs ne sont pas encore connues, mais il est attendu que la réduction de la concentration en CO<sub>2</sub> s'accompagne d'une réduction de la propagation du virus, grâce à l'amélioration de la ventilation des locaux. Cela corrobore le fait que les contaminations sont généralement plus importantes lorsque la population passe davantage de temps dans les environnements intérieurs.

On rappelle que la ventilation des locaux ne représente qu'une partie des moyens de prévention à mettre en œuvre pour réduire le risque de contamination par une maladie infectieuse aéroportée. Dans le cas des coronavirus, les distances entre les personnes, le port du masque ainsi que l'ensemble des gestes barrières doivent toujours être respectés, afin de réduire le risque lié aux autres modes de transmission. Bien que le masque puisse contribuer également à réduire la propagation des aérosols émis par la respiration ou la parole, son efficacité globale vis-à-vis des aérosols est variable selon le type de masque utilisé (FFP2 ou autre) et son ajustement au visage<sup>3</sup>. On considère ici que cet effet viendra uniquement en complément de la protection collective, c'est donc bien le cumul de l'ensemble des moyens de prévention qui va permettre de réduire au maximum le risque de transmission d'une maladie.

## Prédire et suivre la concentration en CO<sub>2</sub>

Dans un contexte de prévention des risques professionnels, il semble pertinent de prédire l'évolution de la concentration en CO<sub>2</sub> pour une situation de travail donnée dans le secteur tertiaire. En cas de valeur trop élevée par rapport aux objectifs, il pourra être prévu une augmentation de la ventilation mécanique, une augmentation des durées d'aération ou la réduction des temps de présence, par exemple. La concentration en CO<sub>2</sub> peut être calculée grâce à la formule ci-dessous, en faisant l'hypothèse d'une concentration homogène dans la pièce :

$$C_{\text{intérieur}}(t) = \left( \frac{Q_{\text{air expiré}} \cdot C_{\text{air expiré}}}{Q_{\text{air neuf}}} + C_{\text{extérieur}} \right) \cdot (1 - e^{-\tau t}) + C_{\text{initiale}} e^{-\tau t} \quad (2)$$

Où :  $C_{\text{initiale}}$  est la concentration en CO<sub>2</sub> initiale dans le local [ppm] ;

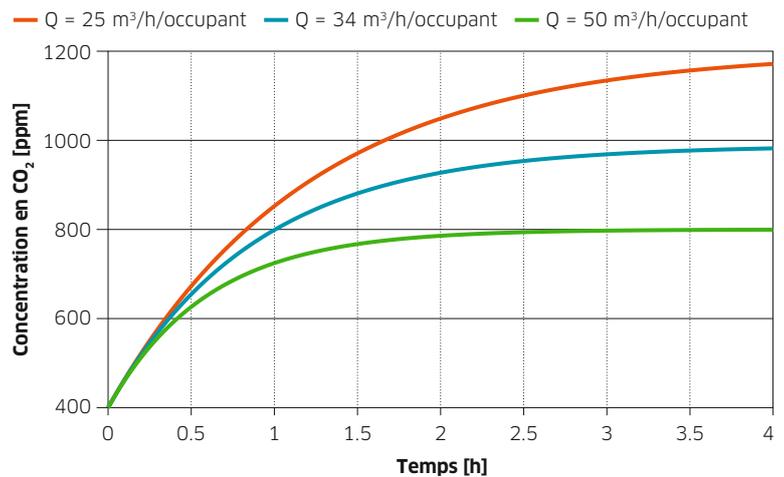
$C_{\text{intérieur}}$  est la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'air intérieur [ppm] ;

$t$  est le temps écoulé [h],

$\tau$  est le taux de renouvellement d'air [vol/h] qui est défini par :

$$\tau = \left( \frac{Q_{\text{air neuf}} \cdot N_{\text{occupants}}}{V_{\text{local}}} \right) \quad (3)$$

Où :  $N_{\text{occupants}}$  est le nombre d'occupants du local,  $V_{\text{local}}$  est le volume du local [m<sup>3</sup>].



↑ **FIGURE 1**  
Concentration en CO<sub>2</sub> dans un bureau de 26 m<sup>2</sup> avec deux occupants, pour différents débits de ventilation à partir d'un air neuf.

La quantité de CO<sub>2</sub> expirée varie selon l'âge des occupants en plus de leur activité physique. Pour des occupants de moins de 18 ans ou de plus de 70 ans, on peut retenir respectivement 14,4 et 17,3 L/h d'après Persily et Jonge [13]. En cas d'occupants d'âges variés, il est recommandé en première approximation d'utiliser la moyenne d'âge des occupants ou encore l'âge le plus représenté dans le local. Les équations (2) et (3) se simplifient grandement lorsque la concentration initiale est égale à la concentration extérieure, de sorte que :

$$C_{\text{intérieur}}(t) = C_{\text{extérieur}} + \left( \frac{Q_{\text{air expiré}} \cdot C_{\text{air expiré}} \cdot N_{\text{occupants}}}{\tau \cdot V_{\text{local}}} \right) \cdot (1 - e^{-\tau t}) \quad (4)$$

Ces formules ont été appliquées pour un bureau de 26 m<sup>2</sup> avec une hauteur sous plafond de 2,30 m, sur une durée de quatre heures et une concentration extérieure de 400 ppm. Deux occupants sont présents dans ce bureau et différents débits de ventilation ont été évalués. L'évolution de la concentration en CO<sub>2</sub> est représentée sur la Figure 1. On remarque que le débit minimal réglementaire (25 m<sup>3</sup>/h/occupant) amène à un dépassement des indicateurs de confinement au bout d'environ une heure quarante. Il n'est suffisant que s'il est complété par une aération complète du bureau toutes les heures et demie, c'est-à-dire un retour à la valeur de concentration extérieure en CO<sub>2</sub>. Le débit actualisé (34 m<sup>3</sup>/h/occupant) conduit à une concentration qui n'atteint pas le seuil de 1000 ppm au bout de quatre heures, et ne nécessite donc pas d'aération complémentaire. Comme on l'a vu, cette valeur est acceptable hors situation de pandémie. Enfin, un abaissement de l'objectif de concentration en CO<sub>2</sub> à 800 ppm, comme recommandé par le Haut Conseil de la santé publique (HSCP) [13] dans les établissements recevant du public, par la Fédération européenne de chauffage – ventilation – climatisation (REHVA) [14], ainsi que par l'Académie



ENCADRÉ 1

PROTOCOLE D'ESTIMATION DU RENOUELEMENT D'AIR (LOCAL À POLLUTION NON SPÉCIFIQUE)

- 1 – Déterminer le volume du local. Noter la valeur  $V_{\text{local}}$ .
- 2 – Placer le détecteur de  $\text{CO}_2$  à l'extérieur et attendre que la valeur n'évolue plus ; il suffit normalement de quelques minutes. Noter la valeur  $C_{\text{extérieur}}$ .
- 3 – Placer le détecteur de  $\text{CO}_2$  à l'intérieur (à distance des murs, plafonds, portes, fenêtres, bouches de ventilation et occupants), attendre quelques minutes. Noter la valeur  $C_{\text{initiale}}$ , qui doit être idéalement proche de  $C_{\text{extérieur}}$  afin de limiter les incertitudes de la méthode.
- 4 – Démarrer la situation de travail habituelle jusqu'à atteindre une concentration de 800 ppm. Noter le nombre d'occupants  $N_{\text{occupants}}$  présents dans le local et la durée  $t_{\text{final}}$  au bout de laquelle

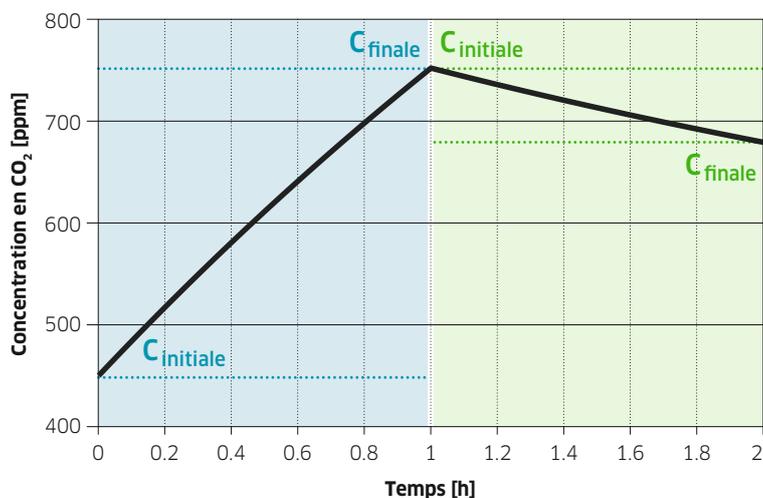
- cette concentration a été atteinte. Si la concentration de 800 ppm n'est pas atteinte au bout d'une heure, noter la valeur de concentration atteinte au bout d'une heure  $C_{\text{finale}}$ .
- 5 – Résoudre les équations (2) et (3) avec  $t = t_{\text{final}}$  et  $C_{\text{intérieur}}(t) = C_{\text{finale}}$  pour obtenir le taux de renouvellement d'air réel dans le local considéré.

Il est possible de poursuivre ce premier protocole afin de conforter la valeur obtenue, avec trois nouvelles étapes :

- 6 – Noter la valeur affichée par le détecteur de  $\text{CO}_2$  suite au premier essai, qui devient la nouvelle  $C_{\text{initiale}}$  (Cf. Figure 2).
- 7 – En l'absence d'occupant, attendre la décroissance jusqu'à  $C_{\text{extérieur}}$ .

- Noter la durée  $t_{\text{final}}$  qui a été nécessaire pour l'atteindre. Si cette concentration n'est pas atteinte au bout d'une heure, noter la valeur de concentration atteinte au bout d'une heure  $C_{\text{finale}}$ . En pratique, cette étape nécessite d'avoir un visuel sur le détecteur depuis l'extérieur, ou d'utiliser un détecteur connecté, ou encore d'enregistrer les données mesurées.
- 8 – Résoudre les équations (2) et (3) avec  $t = t_{\text{final}}$ ,  $C_{\text{intérieur}}(t) = C_{\text{finale}}$  et  $N_{\text{occupants}} = 0$  pour obtenir le taux de renouvellement d'air réel dans le local considéré\*.

\*Accéder à un outil de calcul dédié : [www.carsat-lr.fr/home/entreprise/ameliorer-vos-conditions-de-travail/notre-assistance-technique.html](http://www.carsat-lr.fr/home/entreprise/ameliorer-vos-conditions-de-travail/notre-assistance-technique.html)



↑ FIGURE 2  
Suivi de la concentration en  $\text{CO}_2$  dans un bureau pour la détermination du taux de renouvellement d'air.

des sciences [15] dans le cadre de la pandémie de Covid-19, conduirait à un débit de  $50 \text{ m}^3/\text{h}/\text{occupant}$ . Ce débit est tout à fait cohérent avec les débits minimaux réglementaires, déjà adoptés par près de la moitié des pays européens en temps normal (Cf. Tableau 1). C'est aussi le débit minimum requis en période de pandémie par le Conseil supérieur de la santé belge dans son avis du 16 février 2021 [8], lui aussi basé sur un objectif de concentration à 800 ppm, apportant ainsi un facteur de dilution de l'air expiré supérieur à 100. Une simulation de l'évolution de la concentration en  $\text{CO}_2$  permet déjà d'exclure des situations à risque ou d'adapter les moyens de prévention, afin de réduire au maximum les risques de transmission

d'une maladie infectieuse par les aérosols. Ensuite, il est important de vérifier que les paramètres indiqués et que les actions prévues correspondent bien à la réalité. Pour cela, on peut s'assurer que l'évolution de la concentration mesurée est similaire à celle prévue, à l'aide d'un détecteur portable de  $\text{CO}_2$  calibré et positionné à une distance supérieure à un mètre des murs, du sol, du plafond, des portes et fenêtres, des bouches de ventilation et des occupants. La technologie infrarouge doit être préférée aux semi-conducteurs, avec une précision idéale de  $\pm 50 \text{ ppm}$  sur la plage de 400 ppm à 1 000 ppm. La plupart des détecteurs commerciaux proposent un système d'alerte en cas de dépassement d'une valeur définie par l'utilisateur, qui peut se révéler utile en pratique (notification, signal lumineux et/ou sonore, affichage, etc.).

Le suivi de la concentration en  $\text{CO}_2$  reste rare en entreprise, et souvent réservé au pilotage de CTA ou à l'ouverture automatique de *skydomes*<sup>4</sup>. La majorité des locaux du tertiaire sont par ailleurs ventilés *via* une simple VMC et ne sont pas équipés d'automates. L'usage de détecteurs de  $\text{CO}_2$  en temps réel représente un intérêt majeur pour la prévention. En effet, les consignes d'aération et ventilation, en cas de pandémie par exemple, pourraient devenir beaucoup plus limpides et efficaces, telles que : « Assurez-vous de ne pas dépasser une concentration en  $\text{CO}_2$  de 800 ppm au lieu des 1 000 ppm habituels », comme c'est déjà le cas en santé publique, dans les écoles et dans les restaurants d'entreprise [13 - 16]. La valeur guide à retenir est à établir par les experts *ad hoc* et

dépend de la nature de la pandémie concernée. Cela impliquerait d'office de réduire les sources de CO<sub>2</sub> (nombre d'occupants dans le bureau, la salle de réunion ou l'*open-space*), d'augmenter le renouvellement de l'air, de réduire les temps de présence continus, tout cela en adéquation avec l'activité physique des occupants (travail de bureau assis, travail dans une salle de sport, etc.). De même, le temps d'ouverture des fenêtres, qui est aujourd'hui préconisé de manière arbitraire (au moins quinze minutes toutes les trois heures), pourrait être bien plus adapté à la saison et à la situation. De très nombreux paramètres, tels que la forme, la taille et le nombre de fenêtres, l'écart de températures intérieure - extérieure, les conditions de vent, etc., peuvent impacter la durée nécessaire au renouvellement de l'air par les ouvrants. Cinq minutes peuvent suffire dans certains cas, alors que des durées allant jusqu'à trente minutes seront nécessaires dans d'autres cas. La fréquence d'ouverture des fenêtres la plus pertinente est également très variable selon la situation considérée. Avec un objectif de concentration en CO<sub>2</sub>, les temps d'aération seraient adaptés à chaque situation. Le suivi de la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'air intérieur *via* un détecteur permet de vérifier que cette dernière suit bien l'évolution prévue. Une alternative serait de déterminer directement le débit d'air neuf (ou le taux de renouvellement) de la pièce de façon ponctuelle, pour vérifier que le renouvellement de l'air y est suffisant.

### Estimer simplement un taux de renouvellement d'air dans un local à pollution non spécifique

L'unique matériel particulier nécessaire pour effectuer cette mesure est un détecteur de CO<sub>2</sub> calibré, ayant une précision de +/- 50 ppm ou mieux sur la plage allant de 400 ppm à 1000 ppm. Dans le cas d'une grande pièce (d'une surface supérieure à 50 m<sup>2</sup>), plusieurs détecteurs peuvent être mis en œuvre. La moyenne des valeurs mesurées est alors utilisée. Le protocole, en cinq étapes (et pouvant être complété par trois étapes supplémentaires, le cas échéant), est détaillé dans l'*Encadré 1*.

La *Figure 2* montre un exemple de la concentration en CO<sub>2</sub> que l'on peut mesurer dans un local (bureau) d'un volume de 58 m<sup>3</sup> (un seul détecteur). La première phase de croissance, de 0 à 1 heure, correspond à l'étape n° 4 du protocole décrit. Une seule personne a permis de générer la concentration en CO<sub>2</sub>. La concentration de 800 ppm n'étant pas atteinte au bout d'une heure, les essais sont stoppés. Cette phase a permis de relever la concentration initiale (450 ppm) et la concentration finale (750 ppm) atteinte après une heure. La seconde phase de décroissance entre 1 et 2 heures correspond à l'étape n° 7 du protocole. La concentration extérieure n'étant pas atteinte, les essais sont également stoppés au bout d'une heure. On peut noter

la concentration initiale de cet essai (750 ppm) et la concentration finale correspondante (680 ppm). Le taux de renouvellement déterminé est de 0,28 vol/h, soit un débit d'air neuf de 16 m<sup>3</sup>/h. Notons que ce taux de renouvellement inclut à la fois les apports de la ventilation mécanique et des infiltrations d'air. La réglementation autorise ce fonctionnement car le volume du bureau est supérieur à 15 m<sup>3</sup> par occupant. Le bureau peut donc être ventilé naturellement par les ouvrants [2]. Ses occupants devront néanmoins veiller à réaliser une aération systématique au bout d'environ une heure de présence. Si on souhaite prévoir pendant combien de temps il est nécessaire d'aérer, on peut estimer le taux de renouvellement d'air avec une fenêtre ouverte en répétant les étapes n° 6 à 8 du protocole ci-dessus. Dans les essais menés pour ce même bureau, un taux de renouvellement d'air de 5,2 vol/h a été obtenu, fenêtre ouverte, ce qui implique une aération de l'ordre de trente minutes pour revenir à la concentration initiale. L'aération nécessaire étant trop fréquente et trop longue pour respecter le confort thermique des occupants, il est ici recommandé d'augmenter les apports d'air neuf de façon permanente, par ventilation mécanique.

### Solutions en cas de difficultés liées au conditionnement de l'air

Dans certaines situations, des apports d'air neuf élevés pourraient générer des difficultés pour maintenir le confort thermique des occupants ou pour maintenir une demande énergétique due au conditionnement de l'air acceptable. Plusieurs solutions permettent d'anticiper ces difficultés :

- l'augmentation des débits d'air neuf peut s'accompagner d'une augmentation de la surface des entrées d'air ou du nombre d'entrées d'air. Ainsi, pour un débit d'air supérieur, les vitesses d'air dans le local peuvent rester inférieures à 0,2 m/s, maintenant ainsi le confort thermique des occupants ;
- les systèmes de récupération de chaleur tels que des échangeurs thermiques peuvent contribuer à réduire la consommation énergétique due au conditionnement de l'air. C'est le principe des VMC appelées « double flux » : l'air extrait du local réchauffe partiellement l'air introduit par échange de chaleur, sans que ceux-ci ne soient mélangés ;
- en période de pandémie et en cas d'impossibilité technique à augmenter les apports d'air neuf au-delà du minimum réglementaire, des épurateurs d'air intérieur peuvent contribuer à réduire la concentration ambiante en aérosols, en complément des apports d'air neuf. Ces dispositifs n'auront aucun impact sur la concentration en CO<sub>2</sub>. En l'état actuel des connaissances, seuls les dispositifs à filtration munis de filtres installés de manière étanche permettent d'arrêter efficacement les aérosols susceptibles de véhiculer



DÉBIT D'AIR ÉPURÉ (CADR) [m³/h]	TAUX DE RENOUVELLEMENT ÉQUIVALENT [vol/h]	RÉDUCTION DE LA CONCENTRATION EN AÉROSOLS ATTENDUE
0	0	0 %
58	1	78 %
116	2	88 %
174	3	92 %
232	4	94 %
290	5	95 %
348	6	96 %
406	7	96 %

↑ TABLEAU 2 Contribution de l'épuration à la réduction théorique de la concentration en aérosols dans un bureau de 58 m³ ventilé avec un débit d'air neuf de 16 m³/h, et pour différents débits d'air épuré.

DÉBIT D'AIR ÉPURÉ (CADR) [m³/h]	TAUX DE RENOUVELLEMENT ÉQUIVALENT [vol/h]	RÉDUCTION DE LA CONCENTRATION EN AÉROSOLS ATTENDUE
0	0	0 %
58	1	47 %
116	2	64 %
174	3	73 %
232	4	78 %
290	5	81 %
348	6	84 %
406	7	86 %

↑ TABLEAU 3 Contribution de l'épuration à la réduction théorique de la concentration en aérosols dans un bureau de 58 m³ ventilé avec un débit d'air neuf de 68 m³/h, et pour différents débits d'air épuré.

le virus, à condition d'un entretien régulier suivant les préconisations du fournisseur. Il est également nécessaire de s'assurer que ces purificateurs d'air intérieur sont adaptés au volume des locaux dans lesquels ils sont disposés, qu'ils n'entraînent pas des vitesses trop élevées pour limiter la dispersion des gouttelettes et qu'ils n'apportent pas de

Le *Tableau 2* montre la réduction relative de la concentration en aérosols pour une émission et un fonctionnement continu à différents débits d'air épuré CADR (*Clean Air Delivery Rate*) obtenus par filtration HEPA<sup>5</sup>. On fait l'hypothèse que l'écoulement d'air implique un mélange parfait des aérosols dans la pièce. La réduction est exprimée en relatif par rapport à la concentration d'aérosols en l'absence d'épurateur (CADR = 0 m³/h), c'est-à-dire avec les seuls apports d'air neuf dus à la ventilation de ce local. Le local considéré est le même que celui de la *Figure 2*. On remarque ici que la réduction théorique de la concentration en aérosols est assez importante, même pour un débit d'air épuré faible ; en revanche, celle-ci n'évolue plus pour des débits élevés. Si on s'intéresse au cas d'un local mieux ventilé (*Cf. Tableau 3*), l'épurateur d'air a un impact moins important sur la concentration en aérosols. Il est ici nécessaire de mettre en œuvre des débits plus élevés que dans l'exemple précédent pour constater une réduction significative de la concentration en aérosols.

### POUR EN SAVOIR +

- Simulateur de l'évolution de la concentration en dioxyde de carbone dans un local fermé. Accessible sur : [www.carsat-lr.fr/home/entreprise/ameliorer-vos-conditions-de-travail/notre-assistance-technique.html](http://www.carsat-lr.fr/home/entreprise/ameliorer-vos-conditions-de-travail/notre-assistance-technique.html).

nuisance sonore. L'usage d'un épurateur nécessite donc différentes précautions qui seront précisées par des études à venir, notamment sur leur emplacement idéal au sein d'une pièce et sur les technologies d'épuration à privilégier. Pour plus d'informations concernant l'utilisation des purificateurs d'air intérieur en période de pandémie, consulter le communiqué de presse sur les dispositifs dits « anti-Covid-19 » [17].

### Conclusions

Un état de l'art sur la ventilation des locaux de travail du tertiaire, et son lien avec le risque biologique et la concentration en CO<sub>2</sub>, a été réalisé. Différentes propositions permettant d'améliorer la qualité de

l'air et de réduire les risques de transmission d'une maladie virale ou bactérienne *via* les aérosols en découlent :

- revoir la réglementation dans le sens d'une augmentation des débits d'air neuf minimaux dans les locaux à pollution non spécifique, afin de se mettre en conformité avec les connaissances actuelles ;
- équiper les entreprises de détecteurs de CO<sub>2</sub> à affichage direct ou connectés, pour leur permettre d'améliorer leur démarche d'évaluation des risques. Idéalement, la ventilation peut être ensuite automatiquement pilotée *via* ce détecteur pour optimiser la protection collective des occupants. Cette utilisation en installation fixe s'accompagne de contrôles et entretiens réguliers du détecteur ;
- donner des objectifs de concentration en CO<sub>2</sub> de 1 000 ppm en temps normal et une concentration moindre en période de pandémie. La valeur guide est à établir par les experts *ad hoc* selon la nature de la pandémie concernée. Pour la pandémie de Covid-19, la valeur de 800 ppm est proposée [13-16] ;
- démocratiser l'estimation du taux de renouvellement d'air par le suivi d'un protocole simple réservé aux locaux à pollution non spécifique, afin de vérifier que les apports d'air neuf sont conformes à ceux attendus et en accord avec la réglementation en vigueur ;
- mettre à disposition des épurateurs d'air basés sur de la filtration, en complément des apports d'air neuf, pour réduire le risque de transmission lié aux aérosols en période de pandémie. ●

1. Voir : Brochure INRS ED 6370. Accessible sur : [www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206370](http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206370).

2. La tuberculose est provoquée par *Mycobacterium tuberculosis* (également appelée bacille de Koch), dont le principal (mais pas le seul) organe cible est le poumon. Elle se transmet par l'air projeté ou par des expectorations des personnes atteintes. Son traitement requiert notamment la prise d'antibiotiques spécifiques, sur une durée de plusieurs mois. En savoir plus : [www.inrs.fr/publications/bdd/eficatt/fiche.html?refINRS=EFICATT\\_Tuberculose](http://www.inrs.fr/publications/bdd/eficatt/fiche.html?refINRS=EFICATT_Tuberculose).

3. Voir : [www.inrs.fr/risques/biologiques/faq-masque-protection-respiratoire.html](http://www.inrs.fr/risques/biologiques/faq-masque-protection-respiratoire.html).

4. Un skydome est un hublot de toit servant de puits de lumière. La majorité des skydomes peuvent s'ouvrir de sorte à participer à l'aération naturelle des locaux ou à leur désenfumage en cas d'incendie.

5. Un filtre HEPA est un filtre à air de haute efficacité ; de l'anglais High efficiency particulate air : [filtre à] particules aériennes à haute efficacité.

## Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier P. Velut (Carsat Languedoc-Roussillon), D. Bémer, F. Bonthoux, B. Courtois, B. Galland, A. Jenft et L. Robert (INRS) pour leurs apports et/ou leur relecture attentive de cet article.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] FICHE PRATIQUE DE SÉCURITÉ – *Ventilation, chauffage et climatisation : quelles précautions prendre contre la Covid-19*. INRS, 2021, ED 149. Accessible sur : [www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20149](http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20149).
- [2] AIDE-MÉMOIRE JURIDIQUE – *Aération et assainissement*. INRS, 2019, TJ 5. Accessible sur : [www.inrs.fr/media.html?refINRS=TJ%205](http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TJ%205)
- [3] CIRCULAIRE DU 09 MAI 1985 relative au commentaire technique des décrets nos 84-1093 et 84-1094 du 07 décembre 1984 concernant l'aération et l'assainissement des lieux de travail. Accessible sur : [https://sstie.ineris.fr/consultation\\_document/21593](https://sstie.ineris.fr/consultation_document/21593).
- [4] DE GIDS W.F., WOUTERS P. – *Le CO<sub>2</sub> comme indicateur de la qualité de l'air intérieur. Principes généraux*. Air Infiltration and Ventilation Centre (AIVC) / Agence internationale de l'énergie, juillet 2010, n° VIP 33. Accessible sur : [www.aivc.org/sites/default/files/members\\_area/medias/pdf/VIP/VIP33\\_CO2%20General.fr.pdf](http://www.aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/VIP/VIP33_CO2%20General.fr.pdf).
- [5] BUONANNO G., STABILE L., MORAWSKA L. – Estimation of airborne viral emission: Quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment. *Environment International*, 2020, 141. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105794>.
- [6] CARRER P. ET AL. – On the development of health-based ventilation guidelines: Principles and framework. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15. Doi : [10.3390/ijerph15071360](https://doi.org/10.3390/ijerph15071360).
- [7] SEPPÄNEN O.A., FISK W.J., MENDELL M.J. – Association of ventilation rates and CO<sub>2</sub> concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. *Indoor Air*, 1999, 9(4), pp. 226-252. Doi : [10.1111/j.1600-0668.1999.00003.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1999.00003.x).
- [8] AVIS DU CONSEIL SUPERIEUR DE LA SANTÉ DE BELGIQUE SUR LA GESTION DE L'AIR, 16 février 2021. Voir : [www.health.belgium.be/fr/la-ventilation-des-espaces-de-vie-une-des-cles-de-voute-de-la-lutte-contre-le-coronavirus](http://www.health.belgium.be/fr/la-ventilation-des-espaces-de-vie-une-des-cles-de-voute-de-la-lutte-contre-le-coronavirus).
- [9] NORME NF EN 12569 – *Performance thermique des bâtiments et des matériaux. Détermination du débit d'air spécifique dans les bâtiments – Méthode de dilution de gaz traceurs*. Afnor, 2017. Accessible sur : [www.boutique-afnor.org](http://www.boutique-afnor.org) (site payant).
- [10] NORME NF EN ISO 9972 – *Performance thermique des bâtiments. Détermination de la perméabilité à l'air des bâtiments – Méthode de pressurisation par ventilateur*. Afnor, 2015. Accessible sur : [www.boutique-afnor.org](http://www.boutique-afnor.org) (site payant).
- [11] RUDNICK S.N., MILTON D.K. – Risk of indoor airborne infection transmission estimated from carbon dioxide concentration. *Indoor Air*, 2003, 13(3), pp. 237-245. DOI : <https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2003.00189.x>.
- [12] DU R.C. ET AL. – Effect of ventilation improvement during a tuberculosis outbreak in underventilated university buildings. *Indoor Air*, 2019, 30, pp. 422-432. Doi : <https://doi.org/10.1111/ina.12639>.
- [13] PERSILY A., LONGE L. – Carbon dioxide generation rates for building occupants. *Indoor Air*, 2017, 27, pp. 868-879. DOI : <https://doi.org/10.1111/ina.12383>.
- [14] AVIS DU HAUT CONSEIL DE LA SANTÉ PUBLIQUE DU 28 AVRIL 2021 – *Covid-19 : aération, ventilation et mesure du CO<sub>2</sub> dans les ERP*. Accessible sur : [www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=1009](http://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=1009).
- [15] GUIDE REHVA DU 3 AOÛT 2020 – *How to operate HVAC and other building service systems to prevent the spread of the coronavirus (SARS-CoV-2) disease (COVID-19) in workplaces*. Accessible sur : [www.rehva.eu/fileadmin/user\\_upload/REHVA\\_COVID-19\\_guidance\\_document\\_V3\\_03082020.pdf](http://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_COVID-19_guidance_document_V3_03082020.pdf).
- [16] AVIS RENDU PAR L'ACADÉMIE DES SCIENCES LE 11 JUIN 2021 – *Protocole sanitaire : étendre rapidement l'usage des détecteurs CO<sub>2</sub> aux locaux d'enseignement*. Accessible sur : [www.academie-sciences.fr/fr/Rapports-ouvrages-avis-et-recommandations-de-l-Academie/protocole-sanitaire-etendre-rapidement-l-usage-des-detecteurs-co2-aux-locaux-d-enseignement.html](http://www.academie-sciences.fr/fr/Rapports-ouvrages-avis-et-recommandations-de-l-Academie/protocole-sanitaire-etendre-rapidement-l-usage-des-detecteurs-co2-aux-locaux-d-enseignement.html).
- [17] FICHE DU MINISTÈRE DU TRAVAIL, DE L'EMPLOI ET DE L'INSERTION ET DE L'ASSURANCE MALADIE DU 23 MARS 2021 – *Covid-19 : organisation et fonctionnement des restaurants d'entreprise*. Accessible sur : [www.ameli.fr/meurthe-et-moselle/entreprise/covid-19/protocole-sanitaire-entreprise-un-guide-pour-aider-employeurs-et-salaries](http://www.ameli.fr/meurthe-et-moselle/entreprise/covid-19/protocole-sanitaire-entreprise-un-guide-pour-aider-employeurs-et-salaries).
- [18] INRS – Communiqué de presse du 19 novembre 2020 : *L'INRS met en garde contre certains dispositifs dits « anti-covid-19 »*. Accessible sur : [www.inrs.fr/header/presse/cp-dispositifs-anti-covid.html](http://www.inrs.fr/header/presse/cp-dispositifs-anti-covid.html).

## Notes techniques

# EXPOSITION SONORE ET RISQUE AUDITIF CHEZ LES PROFESSIONNELS DU SECTEUR DE LA MUSIQUE AMPLIFIÉE

Les secteurs d'activité du spectacle vivant et du divertissement emploient des musiciens et des professionnels qui sont exposés fréquemment à des niveaux de bruit présentant un risque avéré pour l'audition. La littérature scientifique passée en revue dans cet article révèle une fréquence importante de troubles auditifs. Cependant, des solutions de prévention adaptées à ces risques existent, proposant des mesures de protection collective ou individuelle, pour permettre de protéger les salariés, tout en respectant la qualité de la production artistique.

---

THOMAS  
VENET  
INRS,  
département  
Toxicologie et  
biométrie

---

**A** lors que la prévention des risques auditifs liés aux expositions au bruit est aujourd'hui bien intégrée, dans les secteurs industriels et du BTP par exemple, il reste un domaine où les forts niveaux sonores ne sont pas forcément perçus comme une nuisance, car il ne s'agit pas de bruit mais de musique. Pourtant, les témoignages d'artistes souffrant de profonds déficits auditifs ne manquent pas : Sting, Eric Clapton, Roger Taylor (Queen), Lars Ulrich (Metallica), Phil Collins ou Liam Gallagher (Oasis) affichent publiquement leurs troubles auditifs, afin de sensibiliser leurs pairs et leurs fans à ce risque. Ces exemples illustrent, s'il en est besoin, que le risque auditif existe dans ce domaine d'activité. Pour les professionnels de ce secteur, artistes et techniciens, dont le métier est également une passion, les troubles auditifs sont une entrave à l'exercice de leur activité, pouvant conduire à l'arrêt de celle-ci. Prévenir le risque auditif pour cette population est une préoccupation des services de santé au travail, tels que le Centre médical de la Bourse (CMB), mandaté pour suivre la santé des intermittents du spectacle<sup>1</sup>, d'associations telles que AGI-SON, œuvrant pour une gestion sonore maîtrisée<sup>2</sup>, et pour l'INRS, institut au cœur du dispositif de prévention en santé et sécurité au travail en France. En s'appuyant sur les éléments d'une étude bibliographique [1], cet article fait le point sur l'exposition sonore, le risque auditif et les

moyens de prévention adaptés pour les professionnels du secteur de la musique amplifiée<sup>3</sup>.

### Exposition sonore

Trois catégories de professionnels ont été distinguées : les musiciens et artistes, les techniciens concourant à la réalisation des performances des musiciens et les autres professionnels travaillant sur le lieu de diffusion de la musique amplifiée. Peu de données sont disponibles pour cette dernière catégorie, qui est également plus hétérogène que les autres [1]. Elle concerne essentiellement les *disc-jockeys* (notés DJs), les serveurs ou les *barmen* et les personnels de sécurité.

### Musiciens et chanteurs

Bien que les données publiées concernant les profils d'exposition des musiciens et chanteurs soient peu nombreuses (huit publications incluant environ 700 musiciens), la constance de ces données entre 1977 et 2017 renforce leur fiabilité.

La durée d'exposition à de la musique est en moyenne de 21 heures par semaine. Elle est plus élevée chez les jeunes en formation que chez les musiciens expérimentés. Le profil d'exposition varie selon l'appartenance ou non du salarié à une structure pérenne. La moitié du temps des non-salariés est consacrée à d'autres activités que la musique, notamment la recherche de contrats. En réalité, seulement 5 % de leur activité sont dédiés

## RÉSUMÉ

Les musiciens, régisseurs et techniciens son, lumière ou plateau, et plus généralement toutes les personnes travaillant dans l'espace de diffusion, sont exposés à des niveaux sonores élevés. Ces expositions sont à l'origine de fréquentes pertes auditives

et des acouphènes relevés par la littérature scientifique. Cet article présente une revue bibliographique des niveaux sonores rencontrés dans le secteur de la musique amplifiée et des troubles auditifs observés chez les professionnels de ce

secteur. Des actions de prévention adaptées aux spécificités des métiers de ce secteur permettent de réduire le risque pour que ces professionnels préservent leur capital auditif tout au long de leur carrière.

### Sound levels and auditory risk for amplified music professionals.

Musicians, sound engineers, light or stage technicians, and more generally anyone working in broadcasting, are exposed to high noise levels. This exposure is the cause of the high incidence of hearing loss and tinnitus for these

professionals, as highlighted in the scientific literature. This article reviews the literature relating to the noise levels to which professionals working with amplified music are commonly exposed, as well as the hearing disorders they

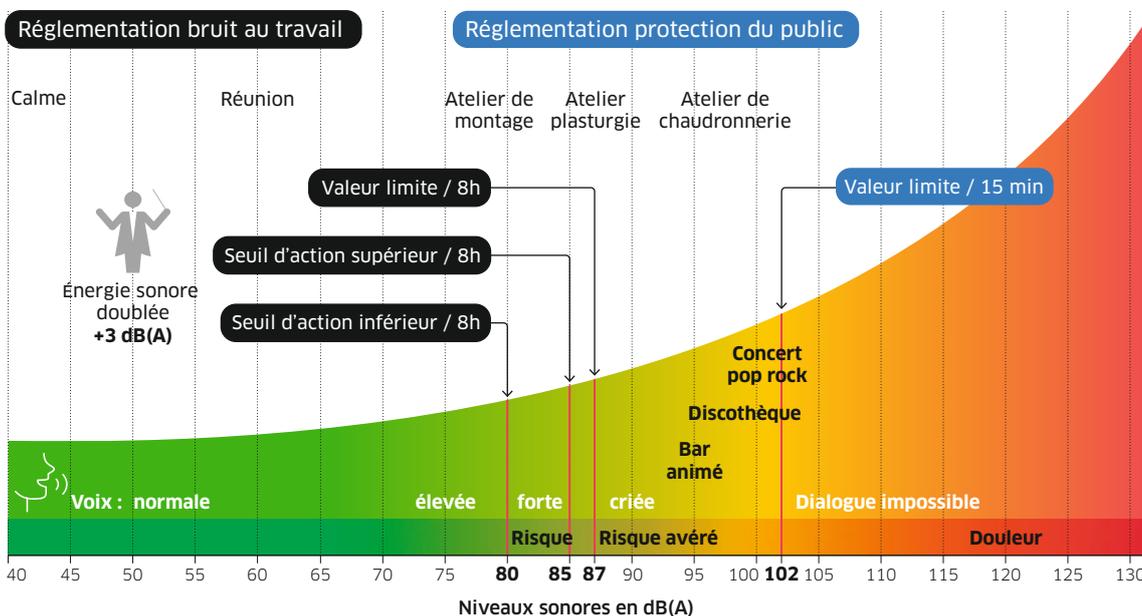
suffer from. Preventive actions adapted to the specificities of these occupations are suggested. If properly applied, these actions should reduce the risks and help professionals to preserve their hearing throughout their careers.

aux représentations. La principale phase d'exposition à de la musique est donc le travail personnel (plus de 25 %), puis les répétitions de groupe. L'analyse du risque auditif parmi les musiciens et chanteurs devrait donc prendre en compte toutes les phases d'exposition et ne pas se limiter aux seuls concerts, comme c'est le cas pour la plupart des données publiées. Les niveaux sonores relevés sont homogènes, malgré la dispersion temporelle des études (de 1975 à aujourd'hui) et les différents styles musicaux. Lors de concerts ou répétitions, ils sont compris entre 100 et 105 dB(A) pour les musiciens et chanteurs (Cf. Figure 1).

Le niveau sonore moyen sur scène, hors proximité d'instruments, est de 100 dB(A) ; c'est le niveau sonore moyen auquel un technicien présent sur scène pourra être exposé. Les batteurs sont exposés à des niveaux sonores moyens équivalents aux autres musiciens, mais ils sont exposés à des niveaux sonores crêtes élevés, pouvant dépasser la valeur limite réglementaire de 140 dB(C) (Cf. Encadré 1)<sup>4</sup>.

### Techniciens

L'analyse de l'exposition des techniciens porte sur six publications [1] et deux études conduites par



← FIGURE 1 Niveaux sonores couramment mesurés dans des lieux diffusant de la musique amplifiée, comparés à des niveaux sonores dans des secteurs industriels. Indications de l'intensité de la voix nécessaire pour communiquer en vis-à-vis (blanc). Seuils d'actions et valeur limite d'exposition journalière (moyenne sur 8 heures) de la réglementation du bruit au travail (blanc sur fond noir). Valeur limite du niveau sonore (moyenne sur 15 minutes) pour le public d'un concert (blanc sur fond bleu).



## ENCADRÉ 1 RÉGLEMENTATION

### Professionnels

La directive « Bruit » 2003/10/CE du Parlement européen, transposée en droit français dans le Code du travail aux articles R. 4431-1 à R. 4437-4, définit des valeurs d'exposition sonore quotidienne, moyennées sur 8 heures ( $L_{EK,8h}$ ) déclenchant des actions de prévention (80 et 85 dB(A)) ainsi qu'une valeur limite de 87 dB(A) protecteur inclus à ne pas dépasser. Ces valeurs d'exposition journalière sont complétées par un second critère pour les bruits à caractère impulsionnel : le niveau de pression acoustique de crête  $L_{pc}$ , exprimé en dB(C), dont la valeur limite est fixée à 140 dB(C). Cette réglementation s'applique bien évidemment au secteur du spectacle.

### Public

Le décret n° 2017-1244 du 7 août 2017 régissant la protection du public en France définit un niveau maximum de 102 dB(A), moyenné sur 15 minutes glissantes. Ce décret ne concerne que le public, il ne garantit pas la préservation de l'audition des professionnels qui sont exposés plus longtemps et plus fréquemment à de la musique que le public. Le décret n° 2017-1244 ne doit pas être confondu avec la réglementation du bruit au travail.

l'INRS, soit 82 professionnels concernés<sup>5</sup>. Selon ces données, les techniciens résidents, salariés d'établissements, ont des durées de travail mensuelles équivalentes aux salariés des autres secteurs économiques. En revanche, leurs profils d'exposition sont caractérisés par une grande amplitude horaire : elle dépasse couramment dix heures quotidiennement. Cependant, l'exposition à de la musique ne représente qu'une fraction de l'exposition sonore. Les données recueillies lors des deux études de l'INRS (48 techniciens son, lumière ou plateau) indiquent une durée moyenne de trois heures d'exposition à de la musique, pour une amplitude horaire travaillée de 8h45. Parmi cette population, les régisseurs son ont l'exposition la plus longue, avec une durée d'environ 3h40 de musique, pour une amplitude journalière moyenne de 9h30.

L'exposition sonore en dehors des phases d'exposition à la musique amplifiée est mal connue et non documentée dans la littérature. Lors des mesures réalisées sur site (études conduites par l'INRS), les niveaux sonores sans musique étaient compris entre 70 et 80 dB(A), hors montage de structures lourdes. Dans ces conditions, si le niveau sonore moyen de la musique (répétitions et concerts) est supérieur à 95 dB(A) durant au moins deux heures, ce qui est très courant, alors l'exposition sonore journalière est presque intégralement due à la musique, même si elle ne représente qu'une fraction de la journée de travail.

Le niveau d'exposition sonore moyen déduit de l'ensemble des données collectées dans la littérature est

de 95 dB(A) pour les techniciens [1]. Parmi ces techniciens, les régisseurs son semblent être le métier le plus exposé, mais le faible nombre de données ne permet pas de généraliser avec certitude cette constatation. De plus, les mesures d'exposition réalisées dans le cadre des deux études menées par l'INRS sont beaucoup plus nuancées, les régisseurs son et lumière étant exposés à des doses journalières presque équivalentes, soit respectivement 90 et 89 dB(A) (données INRS). Ces valeurs très proches s'expliquent par le fait que les techniciens son et lumière travaillent souvent simultanément dans le même espace de diffusion. Nous avons d'ailleurs constaté que les expositions sonores dépendaient davantage du style musical (rock ou pop *versus* folk ou jazz) que de l'activité (son *versus* lumière). Le cas des régisseurs plateau est différent, car ils peuvent être exposés à des niveaux très variables selon leur poste de travail : plus exposés que les techniciens « façade » lorsqu'ils sont sur scène ou à proximité immédiate, ou moins exposés lorsqu'ils se tiennent en arrière scène ou en zone technique. Ainsi, bien qu'élevée, leur exposition moyenne, de 87 dB(A) (données INRS), est un peu plus faible que celle des autres techniciens, mais elle est beaucoup plus hétérogène.

### Autres professions

Les rares données disponibles concernent essentiellement les DJs, *barmen* et personnels de sécurité en discothèques [1]. Selon les données de la littérature, ces personnels travaillent trois à cinq jours par semaine, avec une amplitude journalière de trois à sept heures. L'exposition sonore journalière des DJs se situe autour de 95 dB(A), ce qui correspond à un niveau moyen de 98 dB(A) pour une performance de quatre heures. L'exposition journalière des *barmen* est de 92 dB(A), alors que celle des personnels de sécurité est très fluctuante, et dépend encore une fois du poste occupé (fosse, gradins, hall d'entrée, extérieur...). Elle peut rester inférieure à 80 dB(A) comme elle peut s'approcher des 100 dB(A).

Excepté pour quelques rares postes de sécurité en dehors de la zone de diffusion de la musique, le croisement de la durée d'activité et des niveaux sonores conduit à un dépassement quasi systématique de la valeur limite d'exposition journalière (87 dB(A)).

### Troubles auditifs

Les données analysées concernant les troubles auditifs sont issues de 16 études publiées, regroupant un millier de personnes [1]. La moyenne d'âge est de 29 ans (16 à 75) et leur expérience professionnelle est comprise entre 1 et 30 ans. On relève une forte proportion d'hommes, comprise entre 70% et 85% selon les études. Il s'agit surtout de musiciens, puisque les techniciens ne représentent que 4% des effectifs étudiés. Deux études de l'INRS complètent ces données, avec 53 techniciens son, lumière ou plateau, *barmen* et agents

de sécurité suivis, ayant un âge moyen de 35 ans (19 à 57) et une expérience professionnelle de neuf ans en moyenne. Les hommes représentent 79% de cette population.

Dans la majorité de ces études, le trouble auditif mesuré est le déficit auditif, qui est objectivé par audiométrie tonale liminaire (ATL). Cet examen courant permet de déterminer le seuil de perception à différentes fréquences. Les autres troubles auditifs, tels que les acouphènes ou l'hyperacousie, sont plus difficiles à qualifier. Ils ne sont pas mesurés, mais comptabilisés sur la base de questionnaires.

## Déficit auditif

Le déficit auditif peut être temporaire ou permanent. Lorsqu'il est temporaire, on parle de fatigue auditive alors que, lorsqu'il est permanent, il correspond à une perte auditive.

### → Fatigue auditive

Pour évaluer la fatigue auditive, il est nécessaire de calculer la différence entre deux mesures de performance auditive : une première au repos (prise de poste) et une seconde dans les 15 minutes suivant la fin d'exposition. Peu de données de ce type sont disponibles dans la littérature, probablement du fait de la complexité de mise en œuvre [1]. Des déficits temporaires pouvant atteindre 12 dB entre 3 et 6 kHz ont été régulièrement mesurés à la suite de concerts. Cette fatigue, qui traduit une souffrance du système auditif, est bien heureusement récupérable, mais le cumul de fatigue au cours des mois et des années d'activité peut conduire *in fine* à une perte auditive irréversible <sup>6</sup>.

### → Perte auditive

Selon les études [1], les critères définissant une perte auditive sont variables, ce qui rend la comparaison inter-études difficile. Cependant, la définition la plus commune à ces études est une augmentation de seuils auditifs de 20 à 25 dB HL<sup>7</sup> pour au moins une ou deux fréquences, ce qui correspond à une surdité légère. Un tel critère est très éloigné de la définition de surdité professionnelle régie par le tableau n° 42 des maladies professionnelles (MP) du Régime général<sup>8</sup>, à savoir un déficit moyen supérieur à 35 dB HL pour les bandes d'octave allant de 0,5 à 4 kHz, pour la meilleure des deux oreilles. La surdité professionnelle correspond à une surdité moyenne à sévère, la compréhension orale est alors très dégradée et un appareillage auditif est nécessaire. La production musicale ne fait actuellement pas partie de la liste limitative du tableau n°42 définissant les travaux susceptibles de provoquer une surdité.

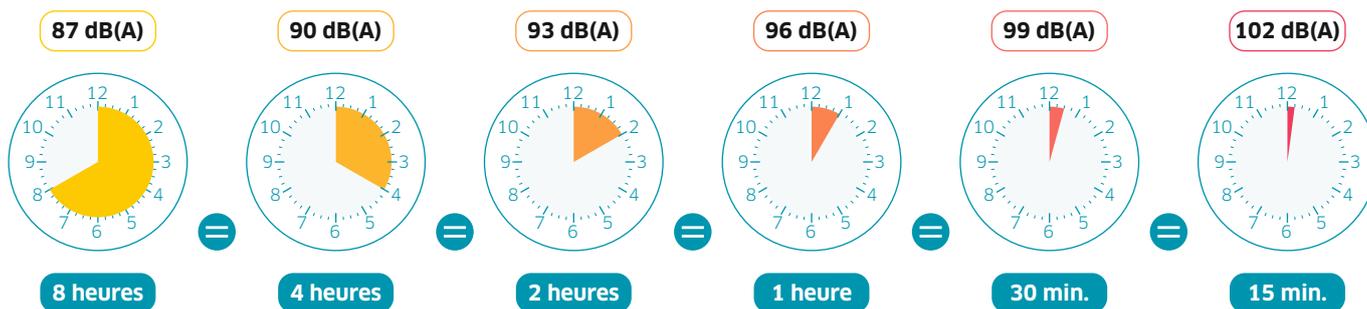
En retenant un seuil supérieur ou égal à 25 dB HL à au moins une fréquence pour définir la perte auditive, la prévalence est alors de 63 % chez les musiciens pop-rock et de 50 % chez les techniciens. À titre de comparaison, elle est de 33 % chez les musiciens de musique classique.

La perte auditive maximale est centrée sur 6 kHz chez les personnes exposées à de la musique, contre 4 kHz pour les personnes exposées à du bruit dans l'industrie ou le BTP. Ce glissement des pertes auditives vers des fréquences un peu plus élevées n'a pas d'explication convaincante à ce jour, le spectre moyen de la musique amplifiée n'étant en effet pas plus riche en fréquences aiguës que le bruit industriel.



© Vincent Nguyen pour l'INRS/2018





↑ FIGURE 2  
Niveau et durée  
d'exposition  
équivalent  
à une exposition  
journalière  
 $L_{ex,8h}$  de 87 dB(A).

### Conséquences sur la santé et la qualité de vie

La perte auditive est souvent insidieuse, car elle s'installe progressivement. Il est difficile pour la personne atteinte de se rendre compte de son déficit avant que celui-ci ne devienne sévère et altère la compréhension de la parole, en atteignant les fréquences médiums (1 et 2 kHz). Le suivi médical est donc essentiel pour dépister précocement le déficit auditif avant que les conséquences ne soient trop graves, notamment pour une personne travaillant dans le secteur de la musique, pour qui l'audition est essentielle à son activité.

Dans certains cas, le déficit auditif peut également apparaître de manière subite suite à une exposition sonore de très forte intensité, qui peut être très brève (larsen, bruit impulsionnel). On parle alors de traumatisme sonore aigu (TSA). Une personne atteinte d'un TSA doit immédiatement se rendre dans un service d'urgence médicale, où un protocole sera appliqué pour limiter les conséquences à long terme. Le réseau de déclaration des TSA d'Île-de-France a montré que 53 % des déclarations avaient pour origine la musique et, plus particulièrement, 25 % des TSA étaient provoqués par un concert en salle.

### Autres troubles auditifs

Les professionnels du secteur de la musique amplifiée peuvent souffrir également d'acouphène et d'hyperacousie<sup>9</sup>. La prise de conscience des troubles auditifs autres que la perte auditive dans cette population est relativement récente, puisque six des sept études recensées sont postérieures à 2003. Deux publications [2-3] ont mis en évidence que le trouble auditif le plus souvent déclaré par les musiciens et les techniciens était les acouphènes (47 %), loin devant la perception d'un déficit auditif par ces personnes (26 %). En prenant en compte l'ensemble de la littérature scientifique, la prévalence des acouphènes est de 40 % chez ces professionnels, contre environ 10 % à 25 % de la population adulte générale. Chez les batteurs, la prévalence atteint 80 % [4] et elle est de 74 % chez les DJs [5].

L'hyperacousie, trouble rendant difficilement supportables des bruits d'intensité modérée, est souvent associée aux acouphènes<sup>5</sup>. Deux publications [6-7] mentionnent des prévalences de 20 % à 40 % chez les musiciens rock et jazz. Les données issues des études

de l'INRS montrent que 10 % des techniciens ont connu des périodes d'hyperacousie au cours de leur carrière. Les acouphènes et l'hyperacousie peuvent être à l'origine de l'interruption prématurée de l'activité des musiciens. Størmer *et al.* [8] précisent que les musiciens ayant interrompu leur activité en raison d'acouphènes ne souffrent pas pour autant de pertes auditives plus marquées que les musiciens qui sont restés en activité.

### Prévention du risque auditif

De nombreuses publications et sites Internet, dont celui de l'INRS<sup>10</sup>, traitent de la prévention du risque auditif. Les principes généraux sont communs à toute activité bruyante, mais ils doivent être déclinés en fonction des spécificités du secteur de la musique amplifiée.

Quel que soit le type ou la durée du contrat de travail, l'employeur est responsable de la sécurité et de la santé des travailleurs, qu'il doit garantir en prenant les mesures nécessaires et adaptées.

Les données bibliographiques [1] montrent que les personnes travaillant dans le secteur de la musique amplifiée sont couramment exposées à des niveaux sonores de l'ordre de 102 dB(A). Comme l'illustre la Figure 2, à un tel niveau, la valeur limite d'exposition journalière de 87 dB(A) est dépassée en 15 minutes.

### Mesures de prévention collective

Il s'agit de recommandations de prévention du risque auditif, qui concernent l'ensemble des professionnels présents sur le site, ou un sous-ensemble. Ces solutions peuvent être simples ou plus complexes et nécessiter l'implication de spécialistes (préventeurs, acousticiens, architectes). Pour être pérennes, elles requièrent l'implication de l'encadrement et des salariés.

- **Aménagement de l'espace** : les architectes, ingénieurs du son et exploitants doivent travailler ensemble pour définir un environnement qui soit artistiquement et acoustiquement adapté, tout en limitant l'impact sonore sur les professionnels (position des parois acoustiquement absorbantes, position et orientation des sources sonores en tenant compte des postes de travail, ajout d'écrans amovibles ou d'éléments architecturaux faisant office d'écran). Toutes les activités non nécessaires sur place doivent

être séparées de la zone de diffusion. La création de zones calmes présentant un niveau sonore inférieur à 70 dB(A) permettra aux professionnels exposés à la musique amplifiée de prendre des pauses récupératrices pour leur audition.

- **Organisation** : seules les personnes nécessaires à l'activité devraient être présentes dans un environnement bruyant. Ainsi, le réglage de la sonorisation, qui ne mobilise que quelques techniciens du son, ne devrait pas être réalisé en présence de l'ensemble des autres corps de métiers (techniciens plateau ou lumière...). Il convient de réduire autant que possible la présence de personnels à des endroits particulièrement bruyants, par exemple en réalisant une rotation des postes d'agent de sécurité et incendie lorsque c'est possible.
- **Sonorisation** : elle est en général bien maîtrisée dans les salles dédiées, mais elle peut être plus problématique dans les espaces d'accueil occasionnels. L'utilisation du système de diffusion propre à l'établissement, lorsqu'il existe, doit être privilégiée. La diffusion multipoints permet une meilleure maîtrise de l'environnement sonore et réduit les points chauds de très forte intensité, mais elle requiert un plus haut degré de technicité. Les enceintes doivent être placées en hauteur, y compris dans les petites salles (café-concert). Enfin, les « *ear-monitors* »<sup>11</sup>, s'ils sont correctement utilisés, permettent une baisse de l'exposition sonore des artistes et techniciens qui travaillent sur scène. Attention, ces dispositifs pouvant émettre des niveaux sonores intra-auriculaires considérables, il est impératif de les utiliser avec un limiteur dédié.
- **Puissance émise** : après l'abaissement de 3 dB(A) des niveaux sonores lié au décret n° 2017-1244 du 7 août 2017 régissant la protection du public, la réflexion sur la diminution des niveaux sonores et la qualité perçue par le public doit être poursuivie. En effet, selon le baromètre des publics de concert publié par AGI-SON<sup>12</sup>, un spectateur sur trois estime le volume sonore « un peu trop fort » lors des concerts. Toute diminution du niveau sonore de diffusion de la musique lors d'un concert provoquera une réduction équivalente de l'exposition sonore des personnes travaillant dans cet espace.

### Protection individuelle

Lorsque les autres démarches de prévention n'ont pas permis de réduire l'exposition sonore journalière à moins de 85 dB(A), des protections individuelles contre le bruit (PICB) doivent être utilisées et l'employeur doit s'assurer qu'elles sont portées et efficaces. Les données de la littérature scientifique montrent que les musiciens et techniciens sont conscients du risque auditif (environ 80 %) mais que, en moyenne, seuls 25 % d'entre eux portent des PICB. Une étude récente de Størmer *et al.* [8] apporte des données sensiblement différentes : elle a recensé l'utilisation des PICB parmi

une population de 111 musiciens de rock en Norvège. Ils étaient 22 % à ne jamais porter de PICB, alors que 48 % en portaient durant les concerts et 67 % durant les répétitions, ce qui en fait une population se protégeant mieux que la moyenne. Cette étude a montré que les musiciens ne portant jamais de PICB avaient une plus mauvaise audition sur l'ensemble des fréquences (0,125 à 8 kHz) que ceux portant des PICB.

Dans ce secteur de la musique, il est nécessaire de privilégier les bouchons ayant une atténuation fréquentielle uniforme (aussi dite « plate ») qui ne dégrade pas trop la qualité de la perception auditive. Il s'agit généralement de bouchons moulés individuellement et équipés d'un filtre.

L'utilisation de PICB nécessite une période d'« habitude » (ou d'accoutumance aux PICB), car elle va nécessairement modifier la perception sonore. Il est d'autre part important d'inciter à travailler avec un PICB le plus précocement possible, dès la formation, car Rebecca *et al.* [9] ont montré que des déficits auditifs précoces pouvaient aussi apparaître chez les jeunes musiciens, en début de carrière.

Il existe d'autres types de PICB adaptés aux contraintes particulières de différentes activités et métiers du secteur. Les personnels devant rester en contact radio peuvent utiliser des PICB ayant une entrée audio ou intégrant directement la fonction émetteur-récepteur. Ces dispositifs atténuent efficacement le bruit ambiant et peuvent donc restituer une communication claire avec une intensité raisonnable. Pour les personnes soumises à de fortes variations de l'environnement sonore, comme les serveurs en discothèque ou les agents d'accueil, il existe des PICB à atténuation variable. Un dispositif électronique adapte la restitution de l'environnement sonore pour garantir un niveau sûr pour l'audition : si le bruit est fort, la personne bénéficie de la protection du PICB ; si le bruit est faible, le PICB restitue le son ambiant. Cet asservissement supprime les périodes de surprotection durant lesquelles la personne est susceptible de retirer son PICB, évitant ainsi le risque qu'elle ne remette pas son PICB lorsque le bruit augmentera à nouveau, ou qu'elle soit surprise par un bruit intense et soudain.

### Conclusion

L'ensemble des études présentant des mesures audiométriques chez les professionnels de la musique amplifiée démontre la présence de déficits auditifs permanents, y compris chez les jeunes en formation [1]. Tous les auteurs concluent à un risque auditif avéré pour les professionnels du secteur de la musique amplifiée : musiciens, techniciens, DJs, agents de sécurité, *barmen...*, tous sont concernés. Bien que les musiciens soient les professionnels les plus exposés (jusqu'à 105 dB(A)), les techniciens les talonnent, avec des niveaux dépassant largement 90 dB(A), voire dans certains cas 100 dB(A).



## ENCADRÉ 2 MÉTHODOLOGIE

L'analyse bibliographique [1] repose sur des articles anglais ou français publiés depuis 1975. Seules ont été conservées les études métrologiques. Les études bibliographiques faisant référence à des études métrologiques ont été écartées afin d'éviter toute redondance. Les données publiées sont assez rares (dix articles pour l'exposition sonore, seize pour le risque auditif). L'analyse s'appuie également sur deux études de terrain de l'INRS, dont l'une est toujours en cours.

Près de 50 % des professionnels du secteur de la musique amplifiée sont atteints de pertes auditives de l'ordre de 25 à 30 dB HL. Pourtant, peu d'entre eux en ont conscience. Or, même si leur activité ne semble pas pour autant être altérée, il faut qu'ils aient à l'esprit qu'une fois le « capital auditif » entamé, il n'y a pas de retour en arrière possible et que le risque de presbycusie précoce, c'est-à-dire une perte auditive due à l'âge (dès 40 ou 50 ans) est plus important. Enfin, les acouphènes et l'hyperacusie sont les troubles auditifs qui posent le plus de problèmes aux musiciens et régisseurs son. Ils sont en effet beaucoup plus souvent exprimés par ces professionnels, et provoquent plus fréquemment un abandon de l'activité musicale que les problèmes de perception dus à un déficit auditif. Les employeurs doivent être conscients que le risque auditif est élevé dans ce secteur, quel que soit le métier. Il est de leur responsabilité de protéger leurs salariés en appliquant des stratégies de prévention combinant prévention collective et protection individuelle. ●

1. Un accord national interbranches, signé le 29 juin 2009, par les partenaires sociaux du spectacle, mandate le CMB pour le suivi de la santé au travail des intermittents du spectacle sur le territoire national.

2. AGI-SON est une association qui mène des actions de sensibilisation et de prévention pour une gestion sonore conciliant préservation de la santé auditive, respect de l'environnement et des conditions de la pratique musicale.

3. Dans le cadre de cette revue, la « musique amplifiée » correspond à la diffusion électroacoustique d'œuvres musicales lors d'événements musicaux (concert, festival, discothèque...) ou lors de répétitions.

4. Voir aussi le dossier sur le site de l'INRS portant sur le bruit et les nuisances sonores : [www.inrs.fr/risques/bruit/ce-qu-il-faut-retenir.html](http://www.inrs.fr/risques/bruit/ce-qu-il-faut-retenir.html).

5. Les deux études réalisées par l'INRS sont une étude courte, menée en 2018 dans un centre de formation par apprentissage auprès de six jeunes professionnels volontaires; et une étude longue, toujours en cours, portant sur neuf établissements et concernant 42 techniciens son, lumière ou plateau, et neuf autres (sécurité, barmen, régie générale).

6. Voir : PUJOL R., PUEL J.L. – Excitotoxicity, synaptic repair, and functional recovery in the mammalian cochlea: a review of recent findings. *Ann N Y Acad Sci.* 28 nov. 1999, 884, pp. 249-254.

7. dB HL : échelle en dB utilisée pour les mesures audiométriques (HL pour Hearing Level). 0 dB HL correspond au seuil d'audition médian d'une population jeune (18-25 ans) otologiquement normale.

8. Tableau n° 42 des maladies professionnelles (MP) – Atteinte auditive provoquée par des bruits lésionnels. Accessible sur : [www.inrs.fr/publications/bdd/mp/tableau.html?refINRS=RG%2042](http://www.inrs.fr/publications/bdd/mp/tableau.html?refINRS=RG%2042).

9. Hyperacusie : hypersensibilité auditive engendrant une gêne ou une douleur pour des sons de faible intensité. Acouphènes : perception de bruits (sifflement, bourdonnement), unis ou bilatéraux, sans réelle source sonore extérieure. Ces symptômes sont souvent liés à un traumatisme acoustique ou au vieillissement de l'oreille.

10. Voir : <https://www.inrs.fr/risques/bruit/>.

11. Ear monitor : écouteurs intra-auriculaires permettant un retour son pour les artistes sans utiliser d'enceinte acoustique.

12. Voir : <https://agi-son.org/files/pages/barometre-public-concert-risques-auditifs-2020-web-215.pdf>.

### Remerciements

L'auteur tient à remercier Nicolas Trompette (INRS) pour son aide et sa relecture attentive.

## BIBLIOGRAPHIE

[1] TROMPETTE N., VENET T. – *Exposition sonore et risque auditif pour les professionnels de la musique et du son : revue bibliographique*. INRS, coll. Notes scientifiques, NS 370, 2020. Accessible sur : [www.inrs.fr/inrs/recherche/etudes-publications-communications/doc/publication.html?refINRS=NOETUDE/P2020-009/ns370](http://www.inrs.fr/inrs/recherche/etudes-publications-communications/doc/publication.html?refINRS=NOETUDE/P2020-009/ns370).

[2] BARLOW C., CASTILLA-SANCHEZ F. – Occupational noise exposure and regulatory adherence in music venues in the United Kingdom. *Noise Health*, 2012, 14 (57), p. 86. Doi: 10.4103/1463-1741.95137.

[3] HELENA-MENDES M., CATALANI-MORATA T., MENDES-MARQUES J. – Acceptance of hearing protection aids in members

of an instrumental and voice music band. *Braz. J. Otorhinolaryngol.*, 2007, 73 (6), pp. 785-792. Doi: 10.1016/S1808-8694(15)31175-7.

[4] HALEVI-KATZ D.N., YAAKOBI E., PUTTER-KATZ H. – Exposure to music and noise-induced hearing loss (NIHL) among professional pop/rock/jazz musicians. *Noise Health*, 2015, 17 (76), p. 158. Doi: 10.4103/1463-1741.155848.

[5] BRAY A., SZYMANSKI M., MILLS R. – Noise induced hearing loss in dance music disc jockeys and an examination of sound levels in nightclubs. *J. Laryngol. Otol.*, 2005, 118 (2), pp. 123-128. Doi: 10.1258/002221504772784577.

[6] KÄHÄRI K. ET AL. – Assessment of hearing and hearing disorders in rock/jazz musicians: *Int. J. Audiol.*, 2003, 42 (5), p. 279-288. Doi: 10.3109/14992020309078347.

[7] AXELSSON A., ELIASSON A., ISRAELSSON B. – Hearing in pop/rock musicians: a follow-up study. *Ear Hear.*, 1995, 16 (3), pp. 245-253.

[8] STØRMER C.L. ET AL. – Hearing loss and tinnitus in rock musicians: A Norwegian survey. *Noise Health*, 2015, 17 (79), p. 411. Doi: 10.4103/1463-1741.169708.

[9] REBECCA L., HENNING W., BOBHOLZ K. – Distortion product otoacoustic emissions in college music majors and non-music majors. *Noise Health*, 2016, 18 (80), p. 10. Doi: 10.4103/1463-1741.174372.

# MÉTIERS DU TRANSPORT

Les accidents  
et les maladies  
au travail ne sont  
pas une fatalité



## SANTÉ AU TRAVAIL : PASSEZ À L'ACTION !

Découvrez des solutions simples et libres d'accès  
pour votre entreprise et vos salariés

→ Un outil en ligne adapté à votre métier  
pour évaluer les risques professionnels.



→ Une sélection de publications

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

→ Un accompagnement et des aides

👉 [www.ameli.fr/transport](http://www.ameli.fr/transport)



En partenariat  
avec :



Sntl — Syndicat national  
des transports légers

+ COVID-19  
Reportez-vous  
à l'outil Plan  
d'actions  
Covid-19

Retrouvez toutes ces solutions  
sur les sites [ameli.fr](http://www.ameli.fr) et [inrs.fr](http://www.inrs.fr)

## Notes techniques

# PANORAMA DES PROFESSIONS ET SECTEURS EXPOSÉS AU FORMALDÉHYDE EN 2017

Cet article propose un état des lieux des professions et des secteurs d'activité exposés au formaldéhyde en France en 2017. Ce panorama a été réalisé à partir d'une matrice emplois – expositions (MEE) développée par Santé publique France et vise à donner aux préventeurs des éléments objectifs afin d'orienter ou de prioriser leurs actions.

LOÏC GARRAS,  
LAURÈNE  
DELABRE,  
CORINNE  
PILORGET  
Santé  
publique  
France,  
Direction  
Santé,  
environnement,  
travail

MARIE HOUOT  
Santé publique  
France,  
Direction  
Appui,  
traitements  
et analyses  
des données

### Contexte réglementaire

Historiquement utilisé de façon massive dans de nombreux secteurs en raison de ses propriétés de biocide, de fixateur et de liant, le formaldéhyde a été très réglementé au cours du temps du fait de sa toxicité. Dès 2004, le Centre international de recherche sur le cancer (Circ) l'a classé comme cancérogène avéré (groupe 1) pour le cancer du nasopharynx [1] puis pour les leucémies en 2012 [2]. En France, le formaldéhyde est considéré comme agent cancérogène depuis 2006 (application au 1<sup>er</sup> janvier 2007), ce qui a entraîné une obligation de substitution ou de mise en place de mesures adaptées si celle-ci n'est pas possible. Les valeurs limites d'exposition professionnelle contraignantes (VLEP), fixées en 1993, ont été revues en 2020 [3] pour une entrée en vigueur en février 2021, sauf pour le secteur de la santé et le secteur funéraire, où les VLEP restent en vigueur jusqu'en juillet 2024, conséquence des difficultés de ces secteurs à appliquer la substitution<sup>1</sup>. En 2012, une révision de la réglementation européenne sur les produits biocides a interdit l'utilisation du formaldéhyde dans différents secteurs d'activité [4]. Au niveau européen, le formaldéhyde était classé comme « cancérogène suspecté », selon les critères du CLP (*Classification, Labelling, Packaging*) jusqu'en 2014, date à laquelle il a été réévalué comme substance potentiellement cancérogène et préoccupante (classement M2) du fait qu'il pourrait induire des mutations héréditaires (classement C1B). Son utilisation est réglementée dans les États membres depuis 2016 [5]. Cependant, malgré ces réglementations, des utilisations professionnelles de formaldéhyde perdurent en France pour certaines activités autorisées au titre de la réglementation sur les produits biocides, et pour les résines formolées mises en œuvre dans certains secteurs où aucune substitution n'a pu être réalisée [6].

### ENCADRÉ 1 LES MEE DU PROGRAMME MATGÉNÉ DE SANTÉ PUBLIQUE FRANCE

#### MatGéné :

- Réalisation de matrices emplois-expositions (MEE) adaptées à la population générale en France.
- MEE exhaustives (tous les emplois sont évalués) et rétrospectives.
- Divers indices d'exposition (au minimum la probabilité d'exposition).

#### Applications :

- Estimation de la proportion et du nombre de travailleurs exposés dans la population.
- Études des variations de ces indicateurs d'exposition en fonction du sexe, du statut du travailleur, de la profession, du secteur d'activité, de la période, de l'âge et de la région.
- Évaluation des expositions professionnelles sur l'ensemble de la carrière des sujets dans des études épidémiologiques.
- Repérage des expositions pour la prévention ou la prise en charge médico-sociale.

#### Les MEE disponibles concernent :

- Les solvants : pétroliers (6 MEE), oxygénés (6 MEE), chlorés (6 MEE) ;
- L'amiante, les fibres minérales artificielles (FMA) et les fibres céramiques réfractaires (FCR) ;
- Les poussières de silice, bois (bientôt disponible), ciment, farine, cuir, céréales ;
- Le formaldéhyde ;
- Le bruit (en cours) ;
- Le travail de nuit (bientôt disponible) ;
- Les pesticides (en cours).

#### Mise à disposition libre et gratuite :

- MEE consultables en ligne sur le portail Exp-Pro : <http://www.exppro.fr>, (Cf. exemple d'extraction Figure 1).
- Indicateurs d'exposition mis en ligne sur le portail spécifique de Santé publique France, Géodes : [www.geodes.santepubliquefrance.fr](http://www.geodes.santepubliquefrance.fr).
- Possibilité d'obtenir les fichiers Excel sur demande argumentée.

## RÉSUMÉ

Malgré une réglementation de plus en plus contraignante ces dernières années, réclamant notamment sa substitution et imposant son interdiction dans de nombreux secteurs, le formaldéhyde, substance classée cancérigène avéré chez l'homme (groupe 1) par le Centre international de recherche sur le cancer (Circ), reste encore utilisé. Il est donc important d'identifier les emplois où se situent les

expositions actuelles. Cet article propose un panorama détaillé des professions et secteurs d'activité concernés par une exposition au formaldéhyde en France en 2017. Pour ce faire, les données de population du recensement général de l'Insee ont été croisées avec la matrice « formaldéhyde » développée par Santé publique France, pour estimer les proportions et nombre de travailleurs exposés,

détaillés par sexe, secteur d'activité, profession et statut du travailleur (salarié / non salarié). En 2017 en France, 88 500 travailleurs étaient exposés au formaldéhyde, principalement dans l'agriculture, les activités funéraires et le bâtiment. Des différences d'exposition sont observées selon le sexe et le statut des travailleurs.

### Review of occupations and industries exposed to formaldehyde in 2017

Formaldehyde is classified as carcinogenic to humans (group 1) by the International Agency for Research on Cancer (IARC). Despite increasingly stringent regulations in recent years, in particular requiring its substitution and prohibiting its use in many industries, this chemical is still used. It is therefore important to identify the occupations where workers are still currently exposed.

This article presents a detailed review of the occupations and industries where workers were exposed to formaldehyde in France in 2017. To produce this review, the population data from the general census of Insee (French national institute for statistics and economic studies) were linked with the "formaldehyde" matrix developed by Santé publique France to estimate

the proportions and numbers of workers exposed, including details related to gender (sex), industry, occupation, and worker status (salaried/self-employed). In 2017 in France, 88 500 workers were exposed to formaldehyde, mainly working in agriculture, funerary services, and construction. Differences in exposure were observed depending on gender and status of workers.

Afin de documenter les expositions actuelles et passées au formaldéhyde en France, une matrice emplois – expositions (MEE) a été créée par Santé publique France, dans le cadre du projet MatGéné (Cf. Encadré 1). Les matrices emplois – expositions sont des outils fréquemment utilisés pour évaluer les expositions professionnelles dans de larges populations [7]. Les résultats du croisement de cette matrice avec des données de population ont déjà fait l'objet d'une publication en 2019, qui décrivait l'évolution de l'exposition professionnelle au formaldéhyde en France entre 1982 et 2015 [8]. Cet article mentionnait notamment que l'exposition au formaldéhyde avait fortement

baissé au cours du temps, avec 91 000 travailleurs exposés en 2015 contre 822 000 en 1982, soit une diminution du nombre de travailleurs exposés de près de 90 % en un peu plus de trente ans. Cet article vise à présenter l'exposition professionnelle au formaldéhyde dans la population des travailleurs en France en 2017, quel que soit leur statut (salarié / non salarié) et le secteur dans lequel ils exercent. Le nombre et les proportions de travailleurs exposés seront détaillés par sexe et par statut, par niveaux d'exposition et par secteur et profession les plus concernés, en vue de donner aux préventeurs des éléments pour orienter ou prioriser leurs actions.

Profession		Secteur d'activité		Indices d'exposition			
Code PCS2003	Libellé PCS2003	Code NAF2008	Libellé NAF2008	Période d'exposition	Probabilité d'exposition	Intensité d'exposition	Fréquence d'exposition
626c	opérateurs et ouvriers qualifiés des industries lourdes du bois et de la fabrication du papier-carton	16.21Z	Fabrication de placage et de panneaux de bois	1950-1970	]85-100] %	[0,7-0,9[ mg/m3	]85-100] %
626c	opérateurs et ouvriers qualifiés des industries lourdes du bois et de la fabrication du papier-carton	16.21Z	Fabrication de placage et de panneaux de bois	1971-1982	]85-100] %	[0,7-0,9[ mg/m3	]75-85] %
626c	opérateurs et ouvriers qualifiés des industries lourdes du bois et de la fabrication du papier-carton	16.21Z	Fabrication de placage et de panneaux de bois	1983-1993	]85-100] %	[0,5-0,7[ mg/m3	]75-85] %
626c	opérateurs et ouvriers qualifiés des industries lourdes du bois et de la fabrication du papier-carton	16.21Z	Fabrication de placage et de panneaux de bois	1994-2006	]85-100] %	[0,5-0,7[ mg/m3	]65-75] %
626c	opérateurs et ouvriers qualifiés des industries lourdes du bois et de la fabrication du papier-carton	16.21Z	Fabrication de placage et de panneaux de bois	2007-2018	]85-100] %	[0,5-0,7[ mg/m3	]55-65] %

↑ FIGURE 1

Exemple d'extraction de la MEE formaldéhyde sur le portail Exp-Pro.



ENCADRÉ 2

ZOOM SUR LE FORMALDÉHYDE ET SES PRINCIPALES UTILISATIONS

Le formaldéhyde (ou méthanal, H<sub>2</sub>C = O ; N° CAS : 50-00-0) est un composé organique de la famille des aldéhydes. Il est également appelé méthanal ou aldéhyde formique (voir fiche toxicologique de l'INRS n° 7 ; Cf. [www.inrs.fr/fichetox](http://www.inrs.fr/fichetox)).

Il se présente à l'état naturel sous forme d'un gaz incolore.

Le formol résulte de la dilution du formaldéhyde dans l'eau.

En milieu professionnel depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle, les utilisations du formaldéhyde ont pu être nombreuses :

- En tant que **biocide**, dans les produits antiseptiques et désinfectants :
  - dans le secteur médical (désinfection des locaux, des instruments...)
  - en hygiène vétérinaire (en cabinet ou dans des élevages agricoles, dans des pédiluves pour traiter les boîtes (élevage bovin ou ovin), dans les traitements antiparasitaires des poissons en pisciculture...)
  - en agroalimentaire (en sucrerie, dans la production d'additifs alimentaires : alginates) et en agriculture (désinfection des locaux et du matériel : élevages avicoles, bovins, porcins, maraîchages, champignonnières...)
  - dans les fluides de coupe pour le travail des métaux (protection des fluides aqueux).
- En tant que **fixateur**, dans les laboratoires d'anatomopathologie pour conserver la structure tissulaire des prélèvements.

- En tant que **conservateur**, pour s'opposer aux altérations d'origine chimique :

- dans le secteur de la thanatopraxie pour une conservation temporaire des corps ;
- en agriculture et dans l'alimentation animale (conservation des fourrages et dans les engrais, pour le tannage des tourteaux) ;
- dans les peintures utilisées dans le BTP (peintures et vernis pour le parquet).

- En tant que **liant** par l'utilisation de **résines formolées**, les résines aminoplastes (urée-formol, mélanine-formol...) ou phénoplastes (phénol-formol...) :

- dans la fabrication de panneaux de bois pour agglomérer les particules de bois entre elles ;
- dans l'ennoblissement textile, en particulier pour les traitements anti-froisse ;
- dans la fabrication de moules de fonderie en sable ;
- dans les préparations utilisées pour durcir les ongles.

Les sources d'exposition professionnelles peuvent aussi être secondaires. Le formaldéhyde se forme lors d'une réaction de combustion (exemples : combustion de carburant, cigarettes, biomasse ou plastique...) et par relargage dans l'air de produits appelés « libérateurs de formaldéhyde ».

**Méthode développée**

**La matrice emplois – expositions au formaldéhyde**

Les matrices sont des tableaux dont les lignes représentent des emplois (combinaison d'une profession et d'un secteur d'activité) et les colonnes représentent des indices d'exposition à une ou plusieurs nuisances rencontrées dans l'environnement de travail. Les indices d'exposition donnent une estimation quantitative ou qualitative de l'exposition des travailleurs pour chaque emploi. Ces évaluations peuvent être historisées.

Une MEE spécifique de l'exposition professionnelle au formaldéhyde a été développée pour évaluer tous les emplois en France entre 1950 et 2018. Elle prend en compte l'exposition professionnelle au formaldéhyde (Cf. Encadré 2), ainsi que l'exposition au formaldéhyde relargué lors de certaines combustions (exemples : fumée de cigarette, biomasse). Son élaboration a nécessité plusieurs étapes.

- **La recherche bibliographique** : une revue de la littérature scientifique, médicale et technique a permis de retracer les situations d'exposition et les connaissances disponibles sur le formaldéhyde pour la période d'étude : procédés de fabrication, voies d'exposition, évolution de la réglementation,

évolution et niveaux d'exposition, etc. Au total, 469 références ont été consultées et compilées dans une base bibliographique.

- **La base métrologique** : une base de données métrologique a été constituée à partir des 469 documents publiés issus de la recherche bibliographique. Vingt-deux variables<sup>2</sup> y ont été enregistrées pour 133 références documentant la période à partir de 1975. De plus, une demande d'extraction de la base de données Colchic réalisée auprès de l'INRS a permis d'intégrer les mesures enregistrées<sup>3</sup> pour la période allant de 1987 à 2011. La base de données comporte ainsi 2817 résultats de métrologie, issus de vingt pays.
- **La définition des emplois exposés** : la liste des emplois considérés exposés a été établie par expertise par deux hygiénistes industriels, spécialistes de l'élaboration de MEE, à partir de plusieurs versions de nomenclatures de professions (CITP<sup>4</sup> : 1968, PCS<sup>5</sup> : 1982 ou 2003) et de secteurs d'activité (NAF<sup>6</sup> : 1993, 2003 ou 2008).
- **Les périodes d'exposition** : la MEE évalue les expositions au formaldéhyde de 1950 à 2018. Différentes périodes ont été définies selon les secteurs d'activité en fonction des évolutions de la réglementation et des usages. Pour cette étude, seules les évaluations des



© Patrick Delapierre pour l'INRS/2020

Laboratoire d'anatomocytopathologie en milieu hospitalier.

périodes incluant l'année 2017 ont été utilisées. Ces périodes prennent en compte l'établissement de valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) de 1993, le classement en tant que produit cancérigène en 2006 et la réglementation « biocides » de 2012.

• **L'évaluation des expositions** : l'évaluation de l'exposition au formaldéhyde a été réalisée par expertise des hygiénistes industriels pour chaque emploi-période, en considérant les tâches réalisées dans les emplois pour chacun des indices d'exposition suivants :

1. **Probabilité** : elle représente la proportion de travailleurs au sein de l'emploi qui sont exposés au formaldéhyde. Elle est exprimée en pourcentages, selon les classes suivantes : [2-5], ]5-15], ]15-25], ]25-35], ]35-45], ]45-55], ]55-65], ]65-75], ]75-85], ]85-100].
2. **Fréquence** : elle représente la part du temps de travail que l'opérateur passe à effectuer les tâches exposantes. Elle est exprimée en pourcentages, selon les classes suivantes : [2-5], ]5-15], ]15-25], ]25-35], ]35-45], ]45-55], ]55-65], ]65-75], ]75-85], ]85-100].
3. **Intensité** : elle évalue l'intensité d'exposition, c'est-à-dire la concentration atmosphérique moyenne à laquelle est soumis le travailleur

pendant les tâches exposantes (expositions directes et indirectes), en fonction de la nature de ses tâches et de son environnement de travail. Elle est exprimée en  $\text{mg}/\text{m}^3$ , selon cinq classes : [0,02 -0,2[, [0,2-0,5[, [0,5-0,7[, [0,7-0,9[,  $\geq 0,9$ .

Un emploi apparaît dans la matrice s'il est considéré exposé, c'est-à-dire si l'exposition est évaluée au-dessus d'un niveau minimum défini pour chacun des trois indices : 2 % pour la probabilité, 2 % pour la fréquence et  $0,02 \text{ mg}/\text{m}^3$  pour l'intensité, correspondant à la concentration moyenne mesurée dans les logements et les écoles [9]7.

Le niveau d'exposition correspond au produit de l'intensité par la fréquence, en prenant les centres des classes.

#### Croisement de la MEE avec des données de population

La MEE (en version PCS2003 x NAF2008) a été croisée avec le recensement de la population française millésimé 2017 (RP) de l'Insee, qui inclut les enquêtes annuelles du recensement de 2015 à 2019 [10]. Ce dernier fournit le nombre de travailleurs pour chaque emploi (combinaison PCS2003 x NAF2008) par sexe, classe d'âge, département de



↓ TABLEAU 1

Nombre et proportion de travailleurs exposés au formaldéhyde dans les différentes professions (PCS 2003) en 2017 pour l'ensemble de la population et selon le sexe

AGRICULTURE	ENSEMBLE DE LA POPULATION			HOMMES		
	LIBELLÉ PCS	NOMBRE TOTAL DE TRAVAILLEURS (% HOMMES)	NOMBRE DE TRAVAILLEURS EXPOSÉS [IS]	PROPORTION DE TRAVAILLEURS EXPOSÉS (%) [IS]	NOMBRE DE TRAVAILLEURS EXPOSÉS [IS]	PROPORTION DE TRAVAILLEURS EXPOSÉS (%) [IS]
	Agriculteurs (PCS 11**, 12**, 13**)	380320 (74)	18891 [11773 - 20091]	5 [3,1 - 5,3]	13336 [8154 - 14208]	4,7 [2,9 - 5]
	Ouvriers agriculture, sylviculture (PCS = 691)	149030 (70)	9327 [5885 - 9832]	6,3 [3,9 - 6,6]	5683 [3458 - 5974]	5,4 [3,3 - 5,7]
	Ouvriers pêche, aquaculture (PCS = 692)	8360 (85)	430 [258 - 645]	5,1 [3,1 - 7,7]	314 [188 - 471]	4,4 [2,7 - 6,7]
	Contremaîtres agents de maîtrise - Agriculture, eaux et forêts, métiers de la mer (PCS = 480)	7120 (82)	213 [135 - 238]	3 [1,9 - 3,3]	137 [81 - 153]	2,3 [1,4 - 2,6]
	Ingénieurs et cadres techniques - Agriculture, eaux et forêts (PCS = 381)	3690 (79)	126 [111 - 134]	3,4 [3 - 3,6]	92 [80 - 97]	3,2 [2,7 - 3,4]
	Autres professions	97750 (57)	117 [90 - 148]	0,1 [0,1 - 0,2]	113 [88 - 142]	0,2 [0,2 - 0,3]
	Techniciens - Agriculture, eaux et forêts (PCS = 471)	10520 (78)	104 [93 - 111]	1 [0,9 - 1,1]	75 [67 - 80]	0,9 [0,8 - 1]

CONSTRUCTION	ENSEMBLE DE LA POPULATION			HOMMES		
	LIBELLÉ PCS	N TOTAL (% H)	N EXPOSÉS	P EXPOSÉS (%)	N EXPOSÉS	P EXPOSÉS (%)
	Artisans en bâtiment, travaux publics, parcs et jardins (PCS = 211)	335470 (97)	9456 [7565 - 11820]	2,8 [2,3 - 3,5]	9192 [7354 - 11490]	2,8 [2,3 - 3,5]
	OQ de type artisanal - Bâtiment (PCS = 632)	270110 (98)	6748 [5118 - 8168]	2,5 [1,9 - 3]	6685 [5068 - 8091]	2,5 [1,9 - 3]
	ONQ de type artisanal - Bâtiment (PCS = 681)	171560 (98)	1709 [1410 - 2083]	1 [0,8 - 1,2]	1679 [1384 - 2047]	1 [0,8 - 1,2]
	Autres professions	847630 (80)	10 [4 - 11]	0	10 [4 - 10]	0

INDUSTRIE	ENSEMBLE DE LA POPULATION			HOMMES		
	LIBELLÉ PCS	N TOTAL (% H)	N EXPOSÉS	P EXPOSÉS (%)	N EXPOSÉS	P EXPOSÉS (%)
	ONQ de type industriel - Industries de transformation (chimie, pharmacie, plasturgie, industrie agroalimentaire, transformation des métaux, verre, matériaux de construction ; PCS = 674)	149490 (63)	3899 [2987 - 4523]	2,6 [2 - 3]	3137 [2367 - 3640]	3,3 [2,5 - 3,8]
	OQ de type industriel - Industries de transformation (métallurgie, production verrière, matériaux de construction ; PCS = 626)	40330 (87)	2972 [2261 - 3344]	7,4 [5,6 - 8,3]	2474 [1851 - 2771]	7,1 [5,3 - 7,9]
	ONQ de type industriel - Autres industries (textile, habillement, cuir, bois, ameublement, papier-carton, impression, presse, édition ; PCS = 675)	44200 (60)	1944 [1345 - 2496]	4,4 [3 - 5,6]	1056 [809 - 1306]	4 [3,1 - 4,9]
	OQ de type industriel - Autres industries (textile, mégisserie, habillement, travail industriel du cuir, travail du bois, ameublement, papier-carton, impression ; PCS = 627)	60210 (72)	1322 [935 - 1767]	2,2 [1,6 - 2,9]	784 [599 - 996]	1,8 [1,4 - 2,3]
	OQ de type industriel - Industries agro-alimentaires, chimiques et dérivées (chimie, plasturgie, pharmacie, eau, énergie ; PCS = 625)	139660 (68)	997 [747 - 1217]	0,7 [0,5 - 0,9]	913 [685 - 1116]	1 [0,7 - 1,2]
	Artisans en ameublement, travail du bois, autres fabrications (PCS = 214)	38210 (67)	902 [767 - 1040]	2,4 [2 - 2,7]	693 [602 - 787]	2,7 [2,3 - 3,1]
	Artisans en textile, habillement, cuir (PCS = 213)	9680 (24)	822 [485 - 1190]	8,5 [5 - 12,3]	181 [105 - 251]	7,7 [4,4 - 10,6]
	ONQ de type industriel - Manutention, tri, emballage, expéditions, divers (PCS = 676)	80370 (71)	771 [631 - 940]	1 [0,8 - 1,2]	558 [468 - 667]	1 [0,8 - 1,2]

↓ (Suite du tableau en page 76)

FEMMES		
NOMBRE DE TRAVAILLEUSES EXPOSÉES [IS]	PROPORTION DE TRAVAILLEUSES EXPOSÉES (%) [IS]	SEX-RATIO PARI MI LES EXPOSÉS *
5555 [3619 - 5883]	5,6 [3,7 - 6]	0,8
3644 [2427 - 3858]	8,3 [5,5 - 8,7]	0,7
116 [69 - 174]	9,1 [5,4 - 13,6]	0,5
77 [53 - 85]	5,9 [4,1 - 6,5]	0,4
35 [31 - 37]	4,4 [4 - 4,7]	0,7
4 [2 - 5]	0	
30 [26 - 31]	1,3 [1,1 - 1,4]	

FEMMES		
N EXPOSÉES	EXPOSÉES (%)	SEX-RATIO *
264 [211 - 330]	2,3 [1,8 - 2,9]	1,2
63 [49 - 77]	1,5 [1,1 - 1,8]	1,7
31 [25 - 37]	0,9 [0,7 - 1]	1,2
0 [0 - 0]	0	

FEMMES		
N EXPOSÉES	EXPOSÉES (%)	SEX-RATIO *
762 [620 - 883]	1,4 [1,1 - 1,6]	2,4
498 [410 - 572]	9,4 [7,7 - 10,8]	0,8
888 [536 - 1190]	5 [3 - 6,7]	0,8
539 [336 - 771]	3,2 [2 - 4,5]	0,6
84 [62 - 102]	0,2 [0,1 - 0,2]	5,1
208 [165 - 253]	1,7 [1,3 - 2]	1,6
641 [380 - 939]	8,8 [5,2 - 12,8]	0,9
213 [164 - 272]	0,9 [0,7 - 1,2]	1,1

résidence, statut du travailleur (salarié, non salarié). Ce croisement a permis d'estimer le nombre et la part de travailleurs exposés au formaldéhyde par profession et secteur d'activité selon le sexe ou le statut du travailleur chez les actifs en emploi, âgés de 20 à 74 ans<sup>8</sup>. Au sein de chaque emploi, le nombre de travailleurs exposés est obtenu en multipliant la probabilité d'exposition fournie par la MEE par l'effectif de travailleurs de cet emploi dans le RP. La part de travailleurs exposés est ensuite obtenue en divisant le nombre total de travailleurs exposés au formaldéhyde par le nombre de travailleurs dans la population étudiée. Un intervalle de sensibilité (IS) a été calculé en prenant la borne inférieure et la borne supérieure des classes de probabilités d'exposition.

Un sex-ratio a été calculé en divisant la proportion d'exposés parmi les hommes par la proportion d'exposées parmi les femmes. Un sex-ratio supérieur à 1 dans un emploi donné indique une proportion d'exposés plus importante chez les hommes que chez les femmes.

Un statut-ratio a également été calculé par secteur d'activité en divisant la part de travailleurs exposés au formaldéhyde parmi les salariés par la part de travailleurs exposés parmi les non-salariés. De même, un statut-ratio supérieur à 1 indique une proportion d'exposés plus importante parmi les salariés que parmi les non-salariés.

### Résultats

L'exploitation du croisement de la MEE avec le recensement de la population montre qu'environ 88 500 travailleurs (59 000 hommes et 29 500 femmes) étaient encore exposés au formaldéhyde en France en 2017.

Les travailleurs exposés se répartissent relativement équitablement dans les différents groupes d'activité (Cf. Tableau 1) : 29 200 dans l'agriculture, 18 000 dans la construction, 18 000 dans l'industrie et 23 300 dans le tertiaire. Les exposés sont constitués de 49 800 salariés et de 38 700 non-salariés.

Les professions avec le plus grand nombre d'exposés (hommes et femmes confondus) sont les exploitants agricoles (18 900 travailleurs), les artisans et les ouvriers qualifiés du BTP dans la construction (respectivement avec 9 500 artisans et avec 6 750 ouvriers) et les ouvriers agricoles (avec 9 300 ouvriers ; Cf. Encadré 2).

La répartition des expositions dans ces professions diffère si on considère uniquement les femmes, qui se retrouvent principalement dans les métiers d'agricultrices (5 555 exposées), d'artisans des autres services (5 429 exposées, dont les manucures), d'ouvrières agricoles (3 644 exposées) et de techniciennes médicales (3 578 exposées ; Cf. Encadré 2).

← \* Sex-ratio parmi les exposés : proportion d'hommes exposés / proportion de femmes exposées (note de tableau).



INDUSTRIE	ENSEMBLE DE LA POPULATION			HOMMES		
	LIBELLÉ PCS	NOMBRE TOTAL DE TRAVAILLEURS (% HOMMES)	NOMBRE DE TRAVAILLEURS EXPOSÉS [IS]	PROPORTION DE TRAVAILLEURS EXPOSÉS (%) [IS]	NOMBRE DE TRAVAILLEURS EXPOSÉS [IS]	PROPORTION DE TRAVAILLEURS EXPOSÉS (%) [IS]
	OQ de type artisanal - Textile, habillement, cuir (PCS = 635)	11 530 (22)	649 [344 - 846]	5,6 [3 - 7,3]	114 [63 - 147]	4,4 [2,5 - 5,7]
	OQ de type industriel - Maintenance, entretien des équipements industriels, réglage, travaux de laboratoire (PCS = 628)	105 460 (63)	647 [567 - 745]	0,6 [0,5 - 0,7]	610 [539 - 698]	0,6 [0,5 - 0,7]
	Contremaîtres agents de maîtrise - Industries de transformation (agroalimentaire, chimie, métallurgie, matériaux lourds ; PCS = 484)	47 160 (83)	571 [501 - 659]	1,2 [1,1 - 1,4]	544 [480 - 626]	1,4 [1,2 - 1,6]
	OQ - Ouvriers qualifiés de la manutention, conducteurs de chariots élévateurs, caristes (PCS = 652)	51 460 (94)	486 [458 - 521]	0,9 [0,9 - 1]	465 [438 - 499]	1 [0,9 - 1]
	OQ de type artisanal - Bâtiment (PCS = 632)	16 210 (96)	457 [366 - 571]	2,8 [2,3 - 3,5]	449 [360 - 562]	2,9 [2,3 - 3,6]
	OQ de type artisanal - Divers (PCS = 637)	7 720 (63)	346 [272 - 430]	4,5 [3,5 - 5,6]	182 [142 - 225]	3,7 [2,9 - 4,6]
	ONQ de type artisanal - Autres (PCS = 685)	8 630 (34)	317 [172 - 404]	3,7 [2 - 4,7]	62 [39 - 80]	2,1 [1,3 - 2,7]
	Artisans en bâtiment, travaux publics, parcs et jardins (PCS = 211)	8 920 (95)	252 [201 - 314]	2,8 [2,3 - 3,5]	244 [195 - 305]	2,9 [2,3 - 3,6]
	OQ - Magasiniers (PCS = 653)	36 230 (75)	196 [145 - 256]	0,5 [0,4 - 0,7]	147 [112 - 188]	0,5 [0,4 - 0,7]
	Autres professions	2 271 810 (69)	196 [126 - 217]	0	180 [116 - 199]	0
	Contremaîtres agents de maîtrise - Autres industries (imprimerie, matériaux souples, ameublement et bois, énergie, eau ; PCS = 485)	42 800 (79)	174 [109 - 255]	0,4 [0,3 - 0,6]	102 [65 - 147]	0,3 [0,2 - 0,4]
	Contremaîtres agents de maîtrise - Entrepôt, magasinage, manutention (PCS = 487)	17 160 (74)	99 [77 - 126]	0,6 [0,4 - 0,7]	74 [60 - 90]	0,6 [0,5 - 0,7]
	Professions libérales de la santé (PCS = 311)	1 660 (57)	43 [26 - 65]	2,6 [1,6 - 3,9]	22 [13 - 33]	2,3 [1,4 - 3,5]

TERTIAIRE	ENSEMBLE DE LA POPULATION			HOMMES		
	LIBELLÉ PCS	N TOTAL (% H)	N EXPOSÉS	P EXPOSÉS (%)	N EXPOSÉS	P EXPOSÉS (%)
	Artisans autres services (PCS = 217)	164 680 (37)	5 547 [4 440 - 6 930]	3,4 [2,7 - 4,2]	118 [96 - 145]	0,2 [0,2 - 0,2]
	Techniciens médicaux, spécialistes de l'appareillage médical (PCS = 433)	191 020 (23)	4 841 [2 712 - 6 779]	2,5 [1,4 - 3,5]	1 263 [730 - 1 825]	2,9 [1,7 - 4,2]
	Personnels des services directs aux particuliers - Soins corporels (PCS = 562)	105 270 (9)	2 954 [2 363 - 3 692]	2,8 [2,2 - 3,5]	38 [31 - 48]	0,4 [0,3 - 0,5]
	OQ de type artisanal - Bâtiment (PCS = 632)	140 360 (89)	2 334 [1 866 - 2 917]	1,7 [1,3 - 2,1]	2 275 [1 819 - 2 843]	1,8 [1,5 - 2,3]
	Pompiers, agents de surveillance des espaces naturels et du patrimoine (PCS = 533)	43 370 (90)	1 814 [725 - 1 814]	4,2 [1,7 - 4,2]	1 726 [691 - 1 726]	4,4 [1,8 - 4,4]
	Professions libérales de la santé (PCS = 311)	266 330 (46)	1 785 [1 071 - 2 677]	0,7 [0,4 - 1]	848 [509 - 1 272]	0,7 [0,4 - 1]
	Personnels des services directs aux particuliers - Divers (PCS = 564)	71 500 (45)	1 508 [1 307 - 1 760]	2,1 [1,8 - 2,5]	1 025 [889 - 1 196]	3,2 [2,8 - 3,7]
	Autres prestataires de services (0 à 9 salariés) (PCS = 227)	168 800 (64)	1 005 [925 - 1 106]	0,6 [0,5 - 0,7]	742 [683 - 816]	0,7 [0,6 - 0,8]
	Autres professions	19 075 330 (45)	860 [513 - 1 282]	0	35 [21 - 51]	0
	Artisans en bâtiment, travaux publics, parcs et jardins (PCS = 211)	48 230 (94)	674 [539 - 842]	1,4 [1,1 - 1,7]	607 [486 - 759]	1,3 [1,1 - 1,7]
<b>TOTAL</b>		<b>25 745 350 (52 %)</b>	<b>88 512 [62 423 - 105 005]</b>	<b>0,3 [0,2 - 0,4]</b>	<b>58 984 [41 986 - 68 779]</b>	<b>0,4 [0,3 - 0,5]</b>

FEMMES		
NOMBRE DE TRAVAILLEUSES EXPOSÉES [IS]	PROPORTION DE TRAVAILLEUSES EXPOSÉES (%) [IS]	SEX-RATIO PARMIS LES EXPOSÉ-ES *
535 [281 - 699]	6 [3,1 - 7,8]	0,7
37 [28 - 47]	0,5 [0,4 - 0,7]	1,2
27 [21 - 34]	0,3 [0,3 - 0,4]	
21 [20 - 22]	0,6 [0,6 - 0,7]	
8 [6 - 10]	1,2 [1 - 1,5]	
164 [130 - 205]	5,8 [4,6 - 7,2]	0,6
254 [133 - 324]	4,5 [2,3 - 5,7]	0,5
7 [6 - 9]	1,8 [1,4 - 2,3]	
49 [33 - 68]	0,5 [0,4 - 0,8]	1,0
16 [10 - 18]	0	
73 [44 - 108]	0,8 [0,5 - 1,2]	0,4
25 [17 - 35]	0,6 [0,4 - 0,8]	
21 [13 - 32]	3 [1,8 - 4,5]	

FEMMES		
N EXPOSÉES	EXPOSÉES (%)	SEX-RATIO *
5 429 [4 345 - 6 785]	5,2 [4,2 - 6,5]	0,0
3 578 [1 982 - 4 954]	2,4 [1,3 - 3,4]	1,2
2 915 [2 332 - 3 644]	3,1 [2,4 - 3,8]	0,1
59 [47 - 73]	0,4 [0,3 - 0,5]	5,0
87 [35 - 87]	2 [0,8 - 2]	2,2
936 [562 - 1 405]	0,7 [0,4 - 1]	1,1
483 [418 - 563]	1,2 [1,1 - 1,4]	2,6
263 [242 - 289]	0,4 [0,4 - 0,5]	1,6
825 [492 - 1 230]	0	0,1
67 [53 - 83]	2,2 [1,7 - 2,7]	0,6
<b>29 529</b> <b>[20 437 - 36 226]</b>	<b>0,2</b> <b>[0,2 - 0,3]</b>	<b>1,9</b>

Par ailleurs, les professions ayant les proportions d'exposés les plus élevées (hommes et femmes confondus) sont les artisans en textile, habillement, cuir avec 8,5 % d'exposés, les ouvriers qualifiés de type industriel (métallurgie, production verrière, matériaux de construction) avec 7,4 % d'exposés, et les ouvriers agricoles avec 6,3 % d'exposés (Cf. Encadré 2).

Globalement, les emplois agricoles, très masculins, exposent un plus grand nombre d'hommes que de femmes. En revanche, les femmes qui exercent dans l'agriculture ont des proportions d'exposées plus élevées que celles des hommes (sex-ratio compris entre 0,4 et 0,8). On les retrouve principalement dans l'élevage de volailles (résultats non présentés). *A contrario*, dans les emplois de la construction, très masculins aussi, la proportion d'exposés au formaldéhyde parmi les hommes est plus élevée que celle constatée parmi les femmes (sex-ratio supérieur à 1). Les hommes dans la construction sont plus nombreux dans les secteurs ayant la probabilité d'exposition la plus élevée (travaux de charpente par exemple ; résultats non présentés).

Certains emplois montrent une proportion de femmes exposées largement plus importante que celle des hommes, principalement pour les professions du textile et de l'habillement cuir (PCS 675, 627, 213, 635), pour les agents de maîtrise de certaines industries (matériaux souples, ameublement et bois ; PCS 485) et pour les autres ouvriers artisanaux (PCS 637, PCS 685, dont les ouvriers divers du textile). Il est de même dans le tertiaire, pour les manucures (PCS 562 pour les salariés et PCS 217 pour les non-salariés).

En 2015, la proportion d'exposés chez les actifs en emploi non salariés était de 1,3 % alors qu'elle était de 0,2 % chez les actifs en emploi salariés [8]. Cette forte différence a incité les auteurs de la présente étude à regarder les différences entre salariés et non-salariés et par secteur d'activité. Les mêmes proportions sont retrouvées en 2017. Les salariés sont principalement exposés au formaldéhyde dans les secteurs de l'élevage animal (NAF 01.4), des autres services personnels (NAF 96.0, dont les activités de manucure et funéraires) et de la fabrication d'articles en bois (NAF 16.2) avec respectivement 5 300, 4 500 et 3 900 salariés exposés (Cf. Tableau 2 et Encadré 2).

Les non-salariés sont plus nombreux à être exposés dans les secteurs de l'élevage animal (NAF 01.4), dans les travaux de finition dans la construction (NAF 43.3, dont la menuiserie), et dans les autres services personnels (NAF 96.0) avec respectivement 15 200, 6 500 et 7 300 non-salariés exposés.

Il est à noter que les non salariés des travaux de finition (NAF 43.3) sont en proportion sept fois plus

← \* Sex-ratio parmi les exposés : proportion d'hommes exposés / proportion de femmes exposées (note de tableau).



exposés que les salariés du même secteur (0,7 % d'exposés chez les salariés et 5 % chez les non-salariés), tout comme les non salariés des autres services personnels (NAF 96.0) sont deux fois plus exposés que les salariés (2,4 % d'exposés chez les salariés et 4,8 % chez les non-salariés). Cette différence selon le statut s'explique par la répartition

des emplois occupés par les salariés et les non-salariés ; ainsi dans ces deux secteurs, les non salariés occupent des professions exposantes (charpentiers, menuisiers, manucures...) alors que les salariés occupent plutôt des emplois non exposés. À l'inverse, les salariés des secteurs des cultures permanentes (NAF 01.2), des travaux d'installation

↓ **TABLEAU 2**  
**Nombre et proportion de travailleurs exposés au formaldéhyde dans les différents secteurs d'activité (NAF2008) en 2017 pour l'ensemble de la population et par statut (salariés et non-salariés).**

SECTEUR D'ACTIVITÉ	ENSEMBLE DE LA POPULATION			SALARIÉS	
	NOMBRE TOTAL DE TRAVAILLEURS (% SALARIÉS)	NOMBRE DE TRAVAILLEURS EXPOSÉS [IS]	PROPORTION DE TRAVAILLEURS EXPOSÉS (%) [IS]	NOMBRE DE TRAVAILLEURS SALARIÉS EXPOSÉS [IS]	PROPORTION DE TRAVAILLEURS SALARIÉS EXPOSÉS (%) [IS]
Production animale (NAF = 01.4)	217370 (22)	20487 [14623 - 21939]	9,4 [6,7 - 10,1]	5314 [4399 - 5735]	11,3 [9,4 - 12,2]
Autres services personnels (NAF = 96.0)	324060 (57)	11038 [9053 - 13519]	3,4 [2,8 - 4,2]	4472 [3677 - 5464]	2,4 [2 - 2,9]
Travaux de finition (NAF = 43.3)	418880 (65)	9358 [7486 - 11698]	2,2 [1,8 - 2,8]	2025 [1619 - 2530]	0,7 [0,6 - 0,9]
Autres travaux de construction spécialisés (NAF = 43.9)	384300 (73)	5171 [4136 - 6464]	1,3 [1,1 - 1,7]	3456 [2764 - 4319]	1,2 [1 - 1,5]
Fabrication d'articles en bois, liège, vannerie et sparterie (NAF = 16.2)	44420 (89)	4604 [4047 - 5183]	10,4 [9,1 - 11,7]	3922 [3455 - 4419]	9,9 [8,8 - 11,2]
Cultures permanentes (NAF = 01.2)	134020 (59)	2944 [1188 - 2958]	2,2 [0,9 - 2,2]	2566 [1035 - 2579]	3,2 [1,3 - 3,3]
Culture et élevage associés (NAF = 01.5)	65510 (27)	2812 [1132 - 2817]	4,3 [1,7 - 4,3]	485 [195 - 486]	2,8 [1,1 - 2,8]
Travaux d'installation électrique, plomberie et autres travaux d'installation (NAF = 43.2)	437620 (76)	2672 [1898 - 3019]	0,6 [0,4 - 0,7]	2434 [1708 - 2722]	0,7 [0,5 - 0,8]
Activités vétérinaires (NAF = 75.0)	30240 (64)	2379 [1428 - 3569]	7,9 [4,7 - 11,8]	1367 [820 - 2051]	7,1 [4,2 - 10,6]
Fabrication de vêtements, autres qu'en fourrure (NAF = 14.1)	37110 (77)	1867 [1120 - 2800]	5 [3 - 7,5]	1300 [780 - 1950]	4,5 [2,7 - 6,8]
Cultures non permanentes (NAF = 01.1)	147750 (37)	1768 [740 - 1840]	1,2 [0,5 - 1,2]	1036 [440 - 1096]	1,9 [0,8 - 2]
Fabrication d'autres textiles (NAF = 13.9)	29900 (90)	1424 [855 - 2134]	4,8 [2,9 - 7,1]	1267 [761 - 1900]	4,7 [2,8 - 7]
Aquaculture (NAF = 03.2)	9830 (63)	764 [457 - 1143]	7,8 [4,6 - 11,6]	436 [260 - 651]	7 [4,2 - 10,4]
Fabrication d'articles de joaillerie, bijouterie et articles similaires (NAF = 32.1)	15000 (62)	640 [512 - 799]	4,3 [3,4 - 5,3]	325 [260 - 406]	3,5 [2,8 - 4,3]
Apprêt et tannage des cuirs ; préparation et teinture des fourrures ; fabrication d'articles de voyage, de maroquinerie et de sellerie (NAF = 15.1)	23960 (92)	609 [244 - 609]	2,5 [1 - 2,5]	543 [218 - 544]	2,5 [1 - 2,5]
Construction de bâtiments résidentiels et non résidentiels (NAF = 41.2)	122080 (87)	607 [485 - 759]	0,5 [0,4 - 0,6]	476 [380 - 594]	0,5 [0,4 - 0,6]
Ennoblement textile (NAF = 13.3)	3030 (87)	297 [237 - 373]	9,8 [7,8 - 12,3]	269 [214 - 337]	10,3 [8,2 - 12,9]
Activités de soutien à l'agriculture et traitement primaire des récoltes (NAF = 01.6)	32980 (69)	226 [117 - 290]	0,7 [0,4 - 0,9]	219 [113 - 279]	1 [0,5 - 1,2]
Fabrication de chaussures (NAF = 15.2)	5910 (95)	81 [32 - 81]	1,4 [0,5 - 1,4]	76 [30 - 76]	1,3 [0,5 - 1,3]
Autres secteurs d'activité	23261400 (91)	18764 [12633 - 23010]	0,1 [0,1 - 0,1]	17844 [11909 - 21847]	0,1 [0,1 - 0,1]
<b>TOTAL</b>	<b>25745350 (88 %)</b>	<b>88512 [62423 - 105005]</b>	<b>0,3 [0,2 - 0,4]</b>	<b>49831 [35039 - 59984]</b>	<b>0,2 [0,2 - 0,3]</b>

électrique, plomberie (NAF 43.2) et des cultures non permanentes (NAF 01.1) sont en proportion entre deux et quatre fois plus exposés que les non-salariés de ces mêmes secteurs (statut-ratio respectivement de 4,7 ; 3,2 et 2,4). De la même façon, dans ces secteurs les professions exposantes sont majoritairement occupées par des travailleurs salariés.

↙ \* Statut-ratio parmi les exposés :  
*proportion de salariés exposés / proportion de non-salariés exposés (note de tableau).*

↓ Pour réduire l'exposition aux vapeurs de formaldéhyde, le laboratoire a repensé son système de ventilation avec une enceinte ventilée. →

NON-SALARIÉS		
NOMBRE DE TRAVAILLEURS NON-SALARIÉS EXPOSÉS [IS]	PROPORTION DE TRAVAILLEURS NON-SALARIÉS EXPOSÉS (%) [IS]	STATUT-RATIO PARMIS LES EXPOSÉS*
15 173 [10224 - 16205]	8,9 [6 - 9,5]	1,3
6 567 [5376 - 8055]	4,8 [3,9 - 5,8]	0,5
7 334 [5867 - 9 167]	5 [4 - 6,2]	0,1
1 716 [1372 - 2 145]	1,7 [1,3 - 2,1]	0,7
682 [591 - 765]	13,7 [11,9 - 15,4]	0,7
378 [153 - 379]	0,7 [0,3 - 0,7]	4,7
2 327 [936 - 2 331]	4,8 [1,9 - 4,8]	0,6
238 [190 - 297]	0,2 [0,2 - 0,3]	3,2
1 012 [607 - 1 518]	9,3 [5,6 - 14]	0,8
567 [340 - 850]	6,8 [4,1 - 10,1]	0,7
732 [299 - 744]	0,8 [0,3 - 0,8]	2,4
156 [94 - 234]	5,4 [3,2 - 8,1]	0,9
328 [197 - 492]	9,1 [5,5 - 13,7]	0,8
315 [252 - 393]	5,6 [4,5 - 7]	0,6
66 [26 - 66]	3,6 [1,5 - 3,6]	0,7
132 [105 - 165]	0,8 [0,6 - 1]	0,6
28 [23 - 35]	6,9 [5,6 - 8,7]	
7 [4 - 11]	0,1 [0 - 0,1]	
5 [2 - 5]	1,7 [0,7 - 1,7]	
920 [724 - 1 164]	0 [0 - 0,1]	2,0
<b>38 682</b> <b>[27 384 - 45 021]</b>	<b>1,3</b> <b>[0,9 - 1,5]</b>	<b>0,2</b>



© Grégoire Maisonneuve pour l'INRS/2013

Concernant les niveaux d'exposition, la grande majorité des travailleurs exposés se situent dans le niveau d'exposition le plus faible, qui correspond à moins de 25 % de la VLEP-8h (Cf. Tableau 3). Cependant, les thanatopracteurs salariés (PCS 564) sont à l'inverse fortement exposés (niveau correspondant à 125 % de la VLEP 8h). Les thanatopracteurs indépendants (PCS 227 : autres prestataires de services de 0 à 9 salariés) sont représentés uniquement dans le niveau correspondant à 50 % de la VLEP-8h. Cette différence de niveau d'exposition pour les thanatopracteurs selon leur statut s'explique par l'évaluation plus faible de la fréquence d'exposition pour les thanatopracteurs indépendants (40 % dans la MEE) par rapport à leurs homologues salariés (60 % dans la MEE), en raison de la part de leur temps de travail dédié à la gestion de leur entreprise, temps pendant lequel ils ne réalisent pas de tâches exposantes.

Enfin, les artisans en ameublement, travail du bois, autres fabrications se répartissent à part égale dans les niveaux les plus faibles (25 % ou 50 % de la VLEP-8h).

### Discussion – Conclusions

Cette étude indique qu'environ 88 500 travailleurs sont exposés au formaldéhyde en France en 2017 ; ce sont principalement des exploitants et ouvriers agricoles et des artisans et ouvriers qualifiés du BTP. Elle a permis de mettre en évidence des différences d'exposition entre salariés et non salariés et entre hommes et femmes. Les niveaux d'exposition sont globalement très faibles, à part pour les thanatopracteurs.

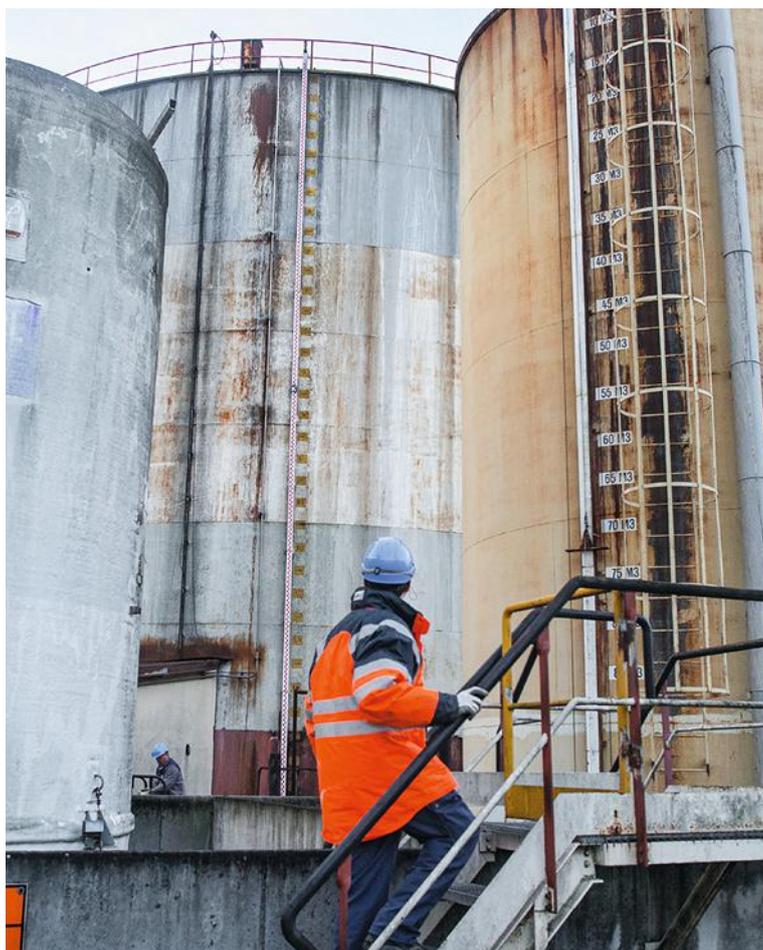
Ces résultats ont été comparés à ceux de l'enquête Sumer (Surveillance médicale des expositions des salariés aux risques professionnels) de 2017 [11], menées par la Direction de l'animation de la recherche, des études et des statistiques (Dares) du

↓ TABLEAU 3  
Répartition des travailleurs exposés au formaldéhyde par profession selon les classes de niveaux.

PROFESSIONS	N EXPOSÉS	RÉPARTITION DES TRAVAILLEURS EXPOSÉS PAR NIVEAU D'EXPOSITION
Agriculteurs (PCS 11**, 12**, 13**)	18 891	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
Artisans en bâtiment, travaux publics, parcs et jardins (PCS = 211)	10 429	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
OQ de type artisanal - Bâtiment (PCS = 632)	9 587	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
Ouvriers agriculture, sylviculture (PCS = 691)	9 327	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
Artisans autres services (PCS = 217)	5 547	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
Techniciens médicaux, spécialistes de l'appareillage médical (PCS = 433)	4 841	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
ONQ de type industriel - Industries de transformation (chimie, pharmacie, plasturgie, industrie agro-alimentaire, transformation des métaux, verre, matériaux de construction – PCS = 674)	3 899	99 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup> ; 1 % exposés à un niveau [0,2-0,5] mg/m <sup>3</sup>
OQ de type industriel - Industries de transformation (métallurgie, production verrière, matériaux de construction – PCS = 626)	2 972	98 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup> ; 2 % exposés à un niveau [0,2-0,5] mg/m <sup>3</sup>
Personnels des services directs aux particuliers - Soins corporels (PCS = 562)	2 954	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
ONQ de type industriel - Autres industries (textile, habillement, cuir, bois, ameublement, papier-carton, impression, presse, édition – PCS = 675)	1 944	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
Pompiers, agents de surveillance des espaces naturels et du patrimoine (PCS = 533)	1 860	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
Professions libérales de la santé (PCS = 311)	1 843	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
ONQ de type artisanal - Bâtiment (PCS = 681)	1 709	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
Personnels des services directs aux particuliers- Divers (PCS = 564)	1 508	100 % exposés à un niveau [0,7-0,9] mg/m <sup>3</sup>
OQ de type industriel - Autres industries (textile, mégisserie, habillement, travail industriel du cuir, travail du bois, ameublement, papier-carton, impression – PCS = 627)	1 322	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>

PROFESSIONS	N EXPOSÉS	RÉPARTITION DES TRAVAILLEURS EXPOSÉS PAR NIVEAU D'EXPOSITION
Autres prestataires de services (0 à 9 salariés – PCS = 227)	1 005	100 % exposés à un niveau [0,2-0,5[ mg/m <sup>3</sup>
OQ de type industriel - Industries agroalimentaires, chimiques et dérivées (chimie, plasturgie, pharmacie, eau, énergie – PCS = 625)	997	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
Artisans en ameublement, travail du bois, autres fabrications (PCS = 214)	902	48 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup> ; 52 % exposés à un niveau [0,2-0,5[ mg/m <sup>3</sup>
Aides soignants et professions assimilées de la fonction publique ou du secteur privé (PCS = 526)	859	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
Artisans en textile, habillement, cuir (PCS = 213)	822	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
ONQ de type industriel - Manutention, tri, emballage, expéditions, divers (PCS = 676)	771	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
OQ de type industriel - Maintenance, entretien des équipements industriels, réglage, travaux de laboratoire (PCS = 628)	651	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
OQ de type artisanal - Textile, habillement, cuir (PCS = 635)	649	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
Contremaîtres agents de maîtrise - Industries de transformation (agroalimentaire, chimie, métallurgie, matériaux lourds – PCS = 484)	571	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
OQ - Ouvriers qualifiés de la manutention, conducteurs de chariots élévateurs, caristes (PCS = 652)	486	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
Ouvriers pêche, aquaculture (PCS = 692)	430	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
OQ de type artisanal - Divers (PCS = 637)	346	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
ONQ de type artisanal - Autres (PCS = 685)	317	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
Contremaîtres agents de maîtrise - Agriculture, eaux et forêts, métiers de la mer (PCS = 480)	213	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
OQ - Magasiniers (PCS = 653)	196	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
Contremaîtres agents de maîtrise - Autres industries (imprimerie, matériaux souples, ameublement et bois, énergie, eau – PCS = 485)	174	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
Ingénieurs et cadres techniques - Agriculture, eaux et forêts (PCS = 381)	126	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
Techniciens - Agriculture, eaux et forêts (PCS = 471)	104	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
Contremaîtres agents de maîtrise - Entrepôt, magasinage, manutention (PCS = 487)	99	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
Contremaîtres agents de maîtrise - Maintenance, entretien, travaux neufs (PCS = 486)	84	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
Techniciens - Industries de transformation (agroalimentaire, chimie, métallurgie et matériaux lourds – PCS = 475)	42	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
Ingénieurs et cadres techniques - Industries de transformation (agroalimentaire, chimie, métallurgie et matériaux lourds – PCS = 385)	20	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
OQ de type industriel - Travail des métaux (PCS = 623)	8	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
Ingénieurs et cadres techniques - Fonctions connexes de la production : achats industriels, logistique, méthodes, contrôle-qualité, maintenance (hors informatique), environnement (PCS = 387)	7	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>
ONQ de type artisanal - Nettoyement, assainissement, traitement des déchets (PCS = 684)	1	100 % exposés à un niveau < 0,2 mg/m <sup>3</sup>





© Fabrice Dimier pour l'INRS/2014

Dans une sucrerie, on utilise (de façon réduite, suite à des actions préventives et de substitution) du formol en cas d'infection bactérienne lors des phases de diffusion et d'épuration.

ministère chargé du Travail. Cette enquête montrait une proportion de travailleurs salariés exposés au formaldéhyde de 0,7 % (185 900 travailleurs salariés) en 2017. Notre étude, pour la même année, met en évidence une population beaucoup plus faible de salariés exposés (49 800 salariés, 0,2 % des salariés). Les écarts entre ces deux estimations peuvent en partie s'expliquer par des différences de protocole entre les deux études (Sumer *versus* MatGéné) : méthodes d'évaluation employée (expertise individuelle des médecins du travail *versus* expertise de l'emploi dans la MEE), définition de la période d'exposition (dernière semaine travaillée *versus* exposition moyennée sur l'année), définition de l'exposition (expositions liées à l'utilisation de résines formolées non prises en compte *versus* expositions intégrant les résines), prise en compte de l'interdiction d'utiliser le formaldéhyde suite à la réglementation biocides de 2012 (évaluation des expositions pour les activités soumises à autorisation *versus* la réglementation biocide a été appliquée à toutes les activités concernées sans exception) et enfin, par la population d'étude (échantillon de 26 500 salariés *vs* recensement de 23 millions de salariés). L'INRS a également décrit récemment l'exposition professionnelle en France au formaldéhyde [12]. Les niveaux d'exposition ont été étudiés à partir

des données issues de la base Colchic recueillies entre 2010 et 2019. Cet article met en évidence une exposition importante chez les thanatopracteurs, avec un dépassement de la VLEP-8h dans 19 % des cas (25 % des cas si on compare à la future VLEP) et chez les techniciens médicaux réalisant des tâches d'anatomopathologie. Les activités rattachées au bois ressortent également avec des niveaux d'exposition très élevés (38 % de dépassement de la VLEP-8h en vigueur jusqu'en 2020). La présente étude met en évidence des expositions fortes dans les mêmes secteurs (thanatopraxie et travail du bois). En revanche, la forte exposition des techniciens médicaux réalisant des tâches d'anatomopathologie n'est pas retrouvée dans les résultats de l'étude, car l'évaluation tient compte de l'ensemble des tâches réalisées par les techniciens médicaux. Les évaluations par MEE fournissent une estimation moyenne de l'exposition par emploi. Ce sont des outils très utiles pour évaluer les expositions sur de larges populations, comme celle du recensement français de l'Insee, qui comporte plus de 26 millions de travailleurs.

Les MEE sont des outils adaptés pour évaluer les expositions sur de larges populations (ici par exemple, le RP) où le recours à l'évaluation individuelle est impossible, mais cette méthode d'évaluation comporte certaines limites. La MEE est notamment dépendante des nomenclatures avec lesquelles elle est construite. En effet, les codes des nomenclatures regroupent parfois des professions ou des activités hétérogènes dont l'exposition est potentiellement différente, obligeant à définir une exposition moyenne pour un même code. Par ailleurs, certaines activités ou professions dans lesquelles le formaldéhyde est utilisé n'ont pas pu être retenues dans la MEE, car les codes correspondant à ces activités ou professions n'étaient pas assez spécifiques et regroupaient une large majorité d'autres activités ou professions non exposantes au formaldéhyde. Par exemple, la fabrication du formol est incluse dans le secteur « Fabrication de produits inorganiques de base », qui comprend une multitude d'autres productions où le formaldéhyde est absent. Pour les mêmes raisons, les utilisations du formaldéhyde dans les peintures, ou la fabrication d'alginate par exemple, sont absentes de la MEE. De la même façon, l'évaluation moyennée par emploi ne reflète pas toutes les variabilités que l'on observe sur le terrain (saisonnalités, taille des entreprises, équipements industriels, politique de sécurité-environnement mise en place, etc.). Enfin, l'élaboration de la matrice est dépendante de l'expertise des hygiénistes industriels.

Finalement, grâce à la MEE utilisée et au croisement avec les données du recensement de population de l'Insee, ces résultats fournissent un large panorama des situations d'exposition professionnelle encore

d'actualité en 2017 et aident au repérage des travailleurs exposés, y compris dans des secteurs d'activité ou professions moins connus pour leur utilisation du formaldéhyde. Ils permettent également de pointer les différences observées entre les hommes et les femmes, ainsi qu'entre les salariés et les non-salariés, qui constituent une population d'intérêt, compte tenu de l'absence de suivi par la médecine du travail. Cette étude permet le repérage des populations à risque pour initier des campagnes de prévention ciblées et ainsi les protéger des effets délétères du formaldéhyde sur leur santé. Le suivi des populations exposées au cours de leur carrière professionnelle (expositions actuelles et passées) et la mise en place de futures exploitations de cette MEE permettront de quantifier la part de pathologies attribuable à l'exposition professionnelle au formaldéhyde. ●

1. La directive (UE) n° 2019/983 a fixé la VLEP du formaldéhyde à 0,3 ppm, soit 0,37 mg/m<sup>3</sup> pour la VLEP-8h ; et 0,6 ppm, soit 0,74 mg/m<sup>3</sup> pour la VLEP-15 min. Ces dispositions doivent être transposées en droit national au plus tard le 11 juillet 2021. Cette directive prévoit une période transitoire allant jusqu'au 11 juillet 2024, pendant laquelle la VLEP-8h de 0,5 ppm (soit 0,62 mg/m<sup>3</sup>) sera conservée spécifiquement dans les secteurs des soins de santé et de la thanatopraxie. Sans attendre sa transposition, les VLEP publiées dans cette directive peuvent être prises dès à présent comme nouvelles valeurs de référence pour évaluer le niveau d'exposition au formaldéhyde dans l'air, l'objectif de prévention étant de réduire l'exposition au niveau le plus bas possible. En savoir plus : [www.inrs.fr/risques/formaldehyde/reglementation.html](http://www.inrs.fr/risques/formaldehyde/reglementation.html).

2. Référence, Produit mesuré, Produit utilisé, Grande famille de produit (résine, formol 30 %, formol 10 % ...), Type d'utilisation (directe ou indirecte), Conditions d'utilisation, Activité + Code NAF, Profession + Code CITP, Tâche, Année, Mode d'analyse, Type prélèvement (ambiance ou individuel), Médiane, Min. (mg/m<sup>3</sup>), Max. (mg/m<sup>3</sup>), Moyenne arithmétique et géométrique (mg/m<sup>3</sup>), Nombre de mesures, Durée du prélèvement, Pays.

3. Variables renseignées pour les mesures à court, moyen et long terme, mesures d'ambiance (à moyen et long terme) : moyenne et nombre de mesures, étendue, médiane et % de mesures supérieures à la VLEP-CT (court terme = 15 minutes) ou VLEP-8h, par code ROME, par tâche et par produit (Caproex).

4. Classification internationale type des professions, selon le Bureau international du travail (BIT).

5. Nomenclature des professions et catégories socioprofessionnelles (PCS) de l'Insee.

6. Nomenclature d'activités et de produits française (NAF) de l'Insee.

7. Cette référence de 2004 concerne la première campagne nationale des logements (CNL) et constitue encore actuellement la seule référence disponible pour documenter les concentrations en polluants à l'intérieur des bâtiments. Une nouvelle campagne « CNL2 » a débuté en 2020 et devrait donc fournir des données actualisées. De plus, une synthèse bibliographique internationale sur la qualité de l'air dans les bureaux, réalisée en 2006 ([www.oqai.fr/media/download/230/3\\_BUREAUX\\_QAI.pdf](http://www.oqai.fr/media/download/230/3_BUREAUX_QAI.pdf)), a pu répertorier quelques études aboutissant à des mesures de formaldéhyde dans l'air comprises entre 30 µg/m<sup>3</sup> et 500 µg/m<sup>3</sup> (à Paris en 2003) et allant même jusqu'à 0,37 mg/m<sup>3</sup>.

8. Les données du recensement indiquent qu'une partie de la population est encore en activité après 70 ans (70000 entre 70 et 74 ans). Les professions les plus représentées dans cette classe d'âge sont les professions libérales et les commerçants.

## BIBLIOGRAPHIE

[1] INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC/IARC) – *Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol*. Lyon, 2006. Accessible sur : <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/>

[2] IARC/IARC – *Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Chemical agents and related occupations*. Lyon, 2012. Accessible sur : <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/>

[3] DÉCRET N° 2020-1546 DU 9 DÉCEMBRE 2020 fixant des valeurs limites d'exposition professionnelle contraignantes pour certains agents chimiques. *Journal officiel*, 10 décembre 2020, texte n° 25.

[4] RÈGLEMENT CE N° 528/2012 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL DU 22 MAI 2012 concernant la mise à disposition sur le marché et l'utilisation de produits biocides. Accessible sur : <https://eur-lex.europa.eu>.

[5] RÈGLEMENT CE N° 1272/2008 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 16 décembre 2008 modifié, relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges. Accessible sur : <https://eur-lex.europa.eu>.

[6] BRASSEUR G., DUVAL C., VAUDOUX D. – Dossier : Le formaldéhyde. *Travail et Sécurité*, février 2015, 758, pp. 15-29. Accessible sur : [www.travail-et-securite.fr](http://www.travail-et-securite.fr).

[7] EL YAMANI M., FRERY N., PILORGET C. – Évaluation des expositions professionnelles de la population des travailleurs en France : des outils et des méthodes. *Bulletin Épidémiologique Hebdomadaire*, 2018, 12-13, pp. 216-220. Accessible sur : [www.santepubliquefrance.fr](http://www.santepubliquefrance.fr).

[8] DELABRE L., GARRAS L., HOUOT M., PILORGET C. – Prévalences d'exposition professionnelle au formaldéhyde en France en 2015 et évolution depuis 1982. Résultats obtenus à partir de la matrice emplois-expositions du programme Matgéné. *Bulletin Épidémiologique Hebdomadaire*, 2019, 33, pp. 679-686. Accessible sur : [www.santepubliquefrance.fr](http://www.santepubliquefrance.fr).

[9] DEL GRATTA F., DURIF M., FAGAULT Y. ET AL. – *Exposition par inhalation au formaldéhyde dans l'air*. Sources, mesures et concentrations. Ineris, 2004.

[10] INSEE – *Présentation du recensement de la population*. Accessible sur : [www.insee.fr](http://www.insee.fr) (consulté le 31/05/2021).

[11] MATINET B., ROSANKIS E., LÉONARD M. – *Les expositions aux risques professionnels : Les produits chimiques : enquête Sumer 2010*. Synthèse Stat', Direction de l'animation de la recherche et des études statistiques (Dares), juillet 2020, n° 32. Accessible sur : [https://dares.travail-emploi.gouv.fr/sites/default/files/pdf/dares\\_expositions\\_risques\\_professionnels\\_produits\\_chimiques-2.pdf](https://dares.travail-emploi.gouv.fr/sites/default/files/pdf/dares_expositions_risques_professionnels_produits_chimiques-2.pdf).

[12] SAUVÉ J.F., MATER G. – Portrait de l'exposition professionnelle aux substances chimiques visées par la mise à jour des VLEP réglementaires contraignantes. *Hygiène & sécurité du travail*, mars 2021, 262, pp. 70-75. Accessible sur : [www.hst.fr](http://www.hst.fr).

## Étude de cas

# AMIANTE ET POUSSIÈRES INHALABLES : RISQUES D'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS DES FILIÈRES DE TRAITEMENT DES DÉCHETS DE CHANTIER

ANITA ROMERO-HARIOT  
INRS,  
département Expertise et conseil technique

SOPHIE MARTIN  
Cramif,  
laboratoire de Toxicologie industrielle

MARC CHAROY  
Cramif,  
coordonnateur Amiante

→ **LA PROBLÉMATIQUE :** Les déchets du bâtiment doivent être orientés vers des filières de gestion dédiées pour optimiser leur valorisation dans le cadre de l'économie circulaire [1] et pour protéger l'environnement. Toutefois, non repérés ou mal triés à la source, ces déchets peuvent contenir de l'amiante, polluant non accepté dans les installations non autorisées. Par ailleurs, le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) estime que la moitié du gisement des déchets amiantés est non capté (soit plus de 300 000 tonnes par an) [2], ces déchets peuvent en conséquence faire l'objet de dépôts sauvages ou être introduits à l'insu des exploitants dans les installations non autorisées. La présence fortuite de déchets amiantés dans les filières de recyclage de déchets du BTP peut conduire à l'inhalation de fibres d'amiante par les agents de la collecte, du traitement, et les utilisateurs des matières premières secondaires issues de ces déchets, et à l'apparition différée dans le temps de maladies graves.

En Île-de-France, sur les cinq dernières années, quatorze travailleurs du secteur de la gestion des déchets ont fait l'objet d'une reconnaissance en maladie professionnelle liée à l'amiante, au titre des tableaux numéros 30 et 30 bis du Régime général de la Sécurité sociale (Cf. Tableau 1). De surcroît, les contrôles du respect des valeurs limites d'exposition professionnelles sur 8 heures (VLEP-8h), réalisés en 2019 par les entreprises du secteur de la gestion des déchets<sup>1</sup>, extraits de la base Scol@<sup>2</sup>, ont montré des dépassements de la VLEP-8h pour trois agents chimiques, se traduisant par :

- 8,1 % des mesures supérieures à la VLEP-8h pour les poussières inhalables (VLEP-8h = 10 mg/m<sup>3</sup>) ;
- 15,8 % des mesures supérieures à la VLEP-8h pour le chrome hexavalent (VLEP-8h = 1 µg/m<sup>3</sup>) ;

- 2,9 % des mesures supérieures à la VLEP-8h pour le quartz (VLEP-8h fraction alvéolaire = 0,1 mg/m<sup>3</sup>).

### → LA RÉPONSE DE LA CRAMIF ET DE L'INRS :

Une campagne de mesurages des poussières inhalables et de l'amiante a été menée de 2018 à 2020, sur plusieurs types d'installations de gestion des déchets de chantier situés en Île-de-France, dans le cadre de la convention signée entre la Fédération nationale des activités de la dépollution et de l'environnement (Fnade) et la filière dédiée aux déchets du BTP de la Fédération professionnelle des entreprises du recyclage (Federec-BTP), la Caisse d'assurance maladie d'Île-de-France (Cramif) et l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS)<sup>3</sup>.

Cet article fait le point sur les résultats de la campagne, avec pour objectifs :

- d'informer les donneurs d'ordres des travaux de bâtiment, les entreprises de travaux et coordonnateurs en matière de sécurité et de protection de la santé (CSPS), ainsi que les professionnels du secteur de la gestion des déchets, sur les risques d'émission et d'inhalation des poussières inhalables et des fibres d'amiante ;
- de les inciter à mettre en œuvre des mesures organisationnelles et de prévention collective et individuelle pour réduire l'exposition des travailleurs de ce secteur.

### Choix des sites

Les déchets contenant de l'amiante peuvent transiter de façon « tracée » (autorisée) ou fortuite (non autorisée au titre de la réglementation sur les installations classées pour l'environnement - ICPE) dans les sites chargés de mettre en œuvre la gestion des déchets du BTP. Ainsi, dans le cadre de

CODE NAF	LIBELLÉ	MALADIES PROFESSIONNELLES « AMIANTE » RECONNUES AU TITRE DES TABLEAUX N <sup>OS</sup> 30 ET 30 BIS DU RÉGIME GÉNÉRAL DE LA SÉCURITÉ SOCIALE
3900Z	Dépollution et autres services de gestion des déchets	4
3832Z	Récupération de déchets triés	4
3811Z	Collecte des déchets non dangereux	3
3821Z	Traitement et élimination des déchets non dangereux	1
4677Z	Commerce de gros (commerce interentreprises) de déchets et débris	2
<b>Total</b>		<b>14</b>

← **TABLEAU 1**  
Sinistralité « amiante » dans le secteur des déchets en Île-de-France, sur la période 2016-2020 (Source : Cramif).

la convention entre les professionnels du secteur des déchets (Fnade et Federec-BTP) et les acteurs de la prévention (Cramif et INRS), cinq types de sites ont été sélectionnés pour réaliser une campagne visant à caractériser l'exposition des travailleurs aux poussières inhalables et aux fibres d'amiante :

- les déchèteries destinées aux particuliers et aux professionnels ;
- les centres de transit, tri, regroupement des déchets non dangereux du BTP ;
- les plateformes de distribution des matériaux disposant d'un lieu de collecte des déchets ;
- les installations de stockage des déchets non dangereux (ISDND) ;
- les installations de stockage des déchets dangereux (ISDD).

L'objectif était d'effectuer les prélèvements sur trois installations distinctes par type de site. Au total, neuf sites représentatifs de leur type en matière d'activité se sont portés candidats et ont pu être investigués en Île-de-France, la campagne étant circonscrite à cette région. Les prélèvements ont été réalisés sur trois sites autorisés à réceptionner des déchets d'amiante et six sites non autorisés à en recevoir (Cf. *Tableau 2*).

### Démarche

La faible probabilité d'être témoin d'une situation accidentelle lors du déchargement de déchets amiantés dans les installations autorisées à les recevoir et le caractère aléatoire des apports fortuits dans les installations non autorisées ont conduit à adopter une démarche de caractérisation des expositions à partir de plusieurs types de prélèvements : individuel, ambiance de travail (à hauteur des voies respiratoires) et environnemental (en limite de site). Ils avaient pour but :

- d'estimer le risque chimique lié à l'inhalation de poussières inhalables et de fibres d'amiante ;
- d'identifier les phases opérationnelles les plus exposantes en établissant des profils d'exposition aux poussières inhalables en temps réel.

En effet, les poussières inhalables issues des déchets du BTP sur ces sites sont susceptibles de contenir des fibres d'amiante mais également d'autres agents chimiques cancérigènes (plomb, silice cristalline...), pouvant entraîner l'apparition de pathologies graves chez les personnes exposées [1]. Il apparaissait donc pertinent de suivre ce paramètre comme traceur d'exposition, d'autant que l'Anses a publié en 2019 un avis d'expertise proposant d'abaisser la VLEP-8h des poussières

Types de sites	NOMBRE DE SITES INVESTIGUÉS	
	Autorisés à réceptionner des déchets d'amiante	Non autorisés à réceptionner des déchets d'amiante
Déchèterie destinée aux particuliers et aux professionnels	–	2
Plateforme de distribution de matériaux	–	3
Centre de transit, tri, regroupement des déchets du BTP	–	1
Installation de stockage des déchets non dangereux	1	–
Installation de stockage de déchets dangereux	2	–

← **TABLEAU 2**  
Détail de la répartition des sites ayant fait l'objet de prélèvements selon leur type.



TYPE DE POUSSIÈRES	MÉTHODE D'ANALYSE	TYPE DE PRÉLÈVEMENT		
		INDIVIDUEL	AMBIANCE AU POSTE DE TRAVAIL	ENVIRONNEMENTAL EN LIMITE DE SITE
Poussières inhalables « conventionnel »	Gravimétrie	Fiche Métropol M-274* : Aérosols en fraction inhalable	Fiche Métropol M-274* : Aérosols en fraction inhalable	Fiche Métropol M-274* : Aérosols en fraction inhalable
Profil d'exposition aux poussières inhalables « mesures en temps réel »	Intégration en temps réel	Opacimètre portatif MicroDust Pro CEL-712 associé à une pompe de prélèvement	Opacimètre portatif MicroDust Pro CEL-712 associé à une pompe de prélèvement	–
Fibres d'amiante	Microscopie électronique à transmission analytique (META) selon la norme NF X 43-050**	NF X 43-269**	NF X 43-269**	NF X 43-050**

↑ TABLEAU 3 Types de prélèvement et d'analyse selon la nature des polluants recherchés (amiante, poussières inhalables) et l'objectif du mesurage (individuel, ambiance au poste de travail, environnemental en limite de site).

\*Fiche Métropol M-274 de l'INRS accessible sur : [www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html](http://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html). \*\*Norme accessible sur : [www.boutique-afnor.org](http://www.boutique-afnor.org) (site payant).

TYPE D'INSTALLATION	DESRIPTIF DU MATÉRIAU SUSPECT	RÉSULTAT « AMIANTE » DE L'ANALYSE DU MATÉRIAU	NATURE DES FIBRES OBSERVÉES	NOMBRE D'ÉCHANTILLONS POSITIFS « AMIANTE » SUR LE NOMBRE D'ÉCHANTILLONS PRÉLEVÉS PAR TYPE D'INSTALLATION
Déchèterie destinée aux particuliers et aux professionnels	Plaque rigide fibreuse brisée dans l'alvéole « gravats purs »	Positif	Chrysotile	1 sur 1
Plateforme de distribution de matériaux	Poussières fibreuses de couleur grise (mitron)	Positif	Chrysotile	2 sur 3
	Plaque rigide fibreuse de couleur grise (conduit du mitron)	Positif	Chrysotile Actinolite Crocidolite	
	Matériau souple fibreux de couleur noire	Négatif	–	
Centre de transit, tri, regroupement des déchets non dangereux du BTP	Plaque de couleur crème (épaisseur 10 mm)	Positif	Chrysotile	7 sur 11
	Plaque rigide fibreuse (5 mm d'épaisseur)	Positif	Chrysotile Amosite	
	Revêtement souple	Négatif	–	
	Bloc de béton	Négatif	Fibres minérales artificielles	
	Revêtement souple de couleur grise	Positif	Chrysotile	
	Revêtement souple de couleur grise	Négatif	–	
	Plaque rigide de couleur grise	Négatif	–	
	Revêtement souple de couleur noire	Positif	Chrysotile	
	Plaque rigide fibreuse de couleur grise	Positif	Chrysotile	
	Plaque rigide de couleur grise	Positif	Chrysotile	
Plaque rigide (épaisseur 5 mm)	Positif	Chrysotile		
<b>Total</b>	–	–	–	<b>10 sur 15</b>

↑ TABLEAU 4 Résultats des analyses de matériaux suspectés contenir de l'amiante dans les installations non autorisées à accepter des déchets amiantés.

sans effet spécifique<sup>4</sup> de 10 mg/m<sup>3</sup> à 4 mg/m<sup>3</sup> pour les poussières inhalables [3].

En outre, sur les sites « non autorisés », les matériaux suspectés de contenir de l'amiante, identifiés dans les alvéoles ou sur les tapis de tri, ont fait l'objet d'un prélèvement et d'une analyse afin de rechercher la présence d'amiante (Cf. Résultats du Tableau 4).

Le laboratoire de Toxicologie industrielle de la Cramif a réalisé tous les prélèvements, ainsi que les analyses des poussières inhalables conventionnelles et les mesures de concentration de poussières inhalables en temps réel. Un laboratoire de l'INRS<sup>5</sup> a effectué les analyses de fibres d'amiante dans l'air et dans les matériaux.

Chaque site volontaire a fait l'objet de deux visites :

- une visite préalable permettant d'expliquer la démarche de la campagne à l'exploitant et au personnel ;
- une visite pour la réalisation des prélèvements sur une journée d'activité.

Lorsque des résultats ont montré des anomalies (dépassement des valeurs de référence en santé au travail notamment) et que des pratiques inadaptées des opérateurs avaient été observées pendant les prélèvements, une troisième réunion était planifiée avec l'exploitant et le responsable sécurité pour présenter ces résultats et rechercher des solutions de prévention prenant en compte les particularités des sites et des postes de travail.

Les prélèvements atmosphériques avaient pour objectif d'évaluer les expositions :

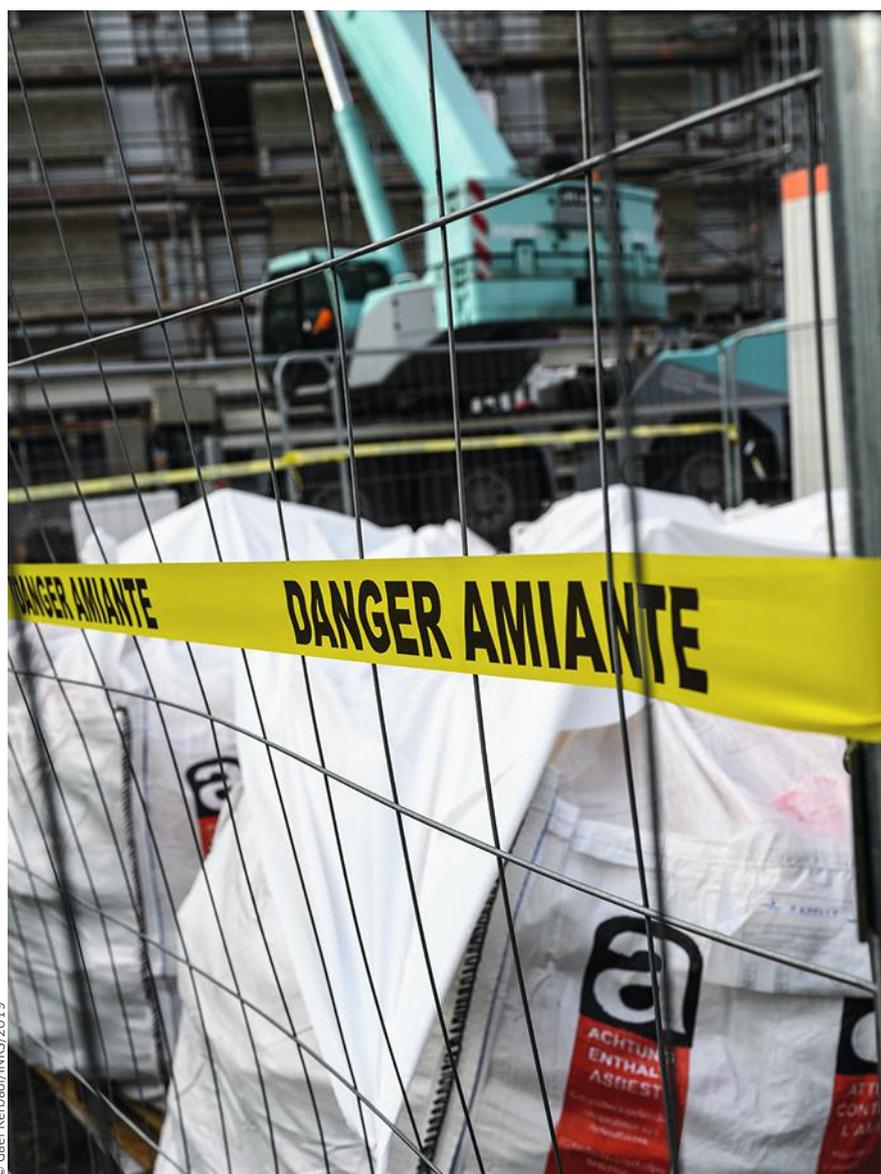
- aux poussières inhalables par prélèvement conventionnel, en ambiance et sur opérateur ;
- aux poussières inhalables sur opérateur, avec un appareil à lecture directe, permettant d'identifier les phases de travail les plus exposantes ;
- aux fibres d'amiante, par prélèvement d'ambiance au poste de travail et sur opérateur.

La programmation des prélèvements devait être compatible avec les conditions météorologiques (absence de vent fort et d'épisodes pluvieux) pour qu'ils puissent être menés et les résultats exploités. Les méthodes de prélèvement par type (individuel, ambiance au poste de travail, environnemental en limite de site) et les polluants analysés (amiante, poussières inhalables) de la campagne sont présentés dans le Tableau 3.

## Résultats

### Prélèvement de matériaux

De l'amiante a été trouvé dans dix des quinze échantillons de matériaux suspectés d'en contenir, prélevés sur les trois types d'installation non autorisés à accepter les déchets en contenant (67 % d'échantillons positifs au total). Quatre natures de fibres d'amiante ont été observées : le chrysotile, la crocidolite, l'actinolite et l'amosite.



© Gaël Kerbaol/INRS/2019

Le Tableau 4 présente le nombre d'échantillons prélevés par type de site non autorisé à accepter des déchets d'amiante, les proportions de ces matériaux s'étant révélés positifs, ainsi que la nature des fibres observées.

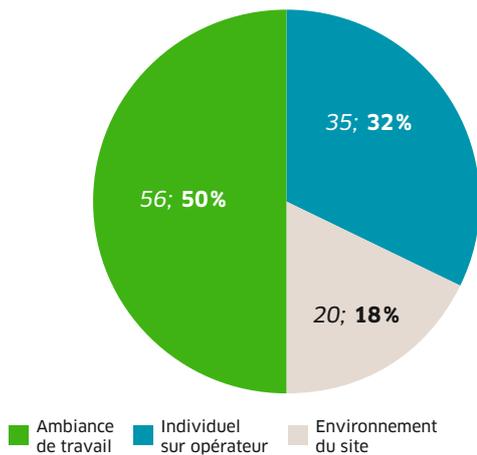
Stockage de déchets amiantés.

### Prélèvements atmosphériques

Le nombre de sites prélevés, leur diversité, ainsi que celle des situations de travail investiguées n'ont pas permis l'acquisition d'un nombre suffisant de résultats en vue d'un traitement statistique des données individualisé, par type de site et par tâche, et n'ont pas permis non plus la généralisation des tendances observées individuellement. Néanmoins, des constats peuvent être formulés par rapport à certaines situations de travail présentant des expositions caractérisées.

Au total, cent onze prélèvements atmosphériques ont été réalisés sur les neuf sites. La moitié





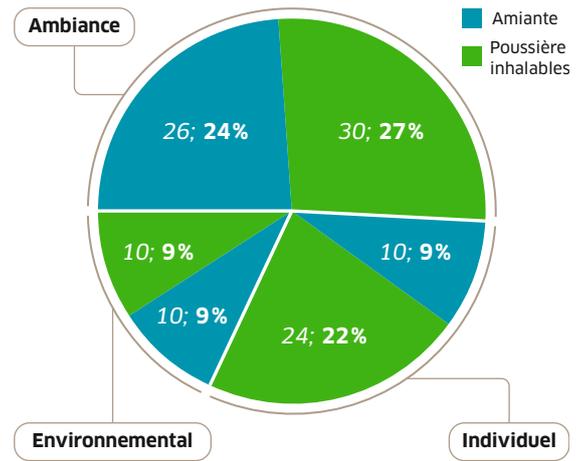
↑ FIGURE 1 Nombre et répartition en % des prélèvements atmosphériques réalisés lors de la campagne sur les neuf sites selon leur type (individuel sur opérateur, ambiance de travail, environnement du site).

correspond à des prélèvements d'ambiance au poste de travail, 32 % sont des prélèvements individuels et 18 % des prélèvements environnementaux en limite de site (Cf. Figure 1).

Un seul prélèvement n'était pas exploitable, conduisant à l'exploitation de 110 résultats au total, dont 34 prélèvements individuels (10 : amiante, 24 : poussières inhalables ; Cf. Figure 2). Les Tableaux 5, 6 et 7 présentent les résultats globaux (nombre, étendue des valeurs, moyenne et médiane) des polluants de type amiante et poussières inhalables en analyse conventionnelle. Les Tableaux 5 et 6 (mesures d'ambiance et mesures individuelles) présentent de plus la valeur du 95<sup>e</sup> centile de la distribution des données pour chaque polluant, cette valeur étant conventionnellement prise comme référence en hygiène du travail pour définir les moyens de prévention à mettre en œuvre afin de prévenir les expositions des salariés. Le Tableau 6 indique également les VLEP-8 h réglementaires et le pourcentage du dépassement de ces valeurs sur l'ensemble des résultats de prélèvements individuels exploités, tous sites confondus. Les résultats des mesurages individuels peuvent en effet, à titre d'information, être comparés aux VLEP car les prélèvements ont été réalisés pendant toute la durée du poste de travail journalier, prenant en compte l'ensemble des différentes phases opérationnelles. Par ailleurs, seize acquisitions de profils d'exposition en temps réel de la concentration en poussières inhalables ont été obtenues (individuel et en ambiance de travail).

→ Mesures d'ambiance (tous sites confondus)

Les mesures d'ambiance ont été réalisées, selon les différents types de sites (Cf. Tableau 5) :



↑ FIGURE 2 Nombre de résultats exploités et pourcentage par type de paramètre analysé.

- en milieu extérieur : au niveau des alvéoles, des casiers, des bennes de déchargement des déchets, du pont-basculé, de la passerelle de prélèvement, des rampes d'accès aux alvéoles ;
- en milieu intérieur : au niveau de la cabine de tri, dans la cabine des engins, dans le sas d'accueil des chauffeurs, dans le bureau d'accueil.

La concentration en fibres d'amiante dans l'air ambiant la plus élevée (6,1 f/L) a été mesurée sur un site non autorisé à accepter des déchets d'amiante, en milieu extérieur lors du déchargement des déchets dans une benne à gravats, équipé d'un dispositif d'arrosage qui fonctionnait par intermittence le jour du prélèvement. Sur ce site, l'analyse d'un prélèvement de matériau suspect livré fortuitement a confirmé la présence d'amiante.

→ Mesures individuelles (tous sites confondus)

Les mesures individuelles ont été réalisées sur des opérateurs occupant différentes fonctions ou tâches (Cf. Tableau 6) :

- en milieu extérieur : gardien de déchèterie à l'accueil ou sur la zone de dépôt ;
- en milieu intérieur : agent de tri, contrôleur, conducteur d'engin (considéré en milieu intérieur dans sa cabine).

Aucun dépassement « amiante » n'est observé sur les installations autorisées à recevoir des déchets en contenant. Il convient de préciser que sur ces sites, les déchets amiantés identifiés comme tels arrivent obligatoirement conditionnés en double emballage étanche et font l'objet d'une gestion spécifique, notamment le contrôle visuel de l'intégrité de leur emballage, puis ils sont stockés dans des casiers dédiés. Les engins œuvrant au déchargement et à la mise en place des colis dans les

POLLUANT	NOMBRE DE MESURES EXPLOITÉES	VALEUR MINIMUM	VALEUR MAXIMUM	VALEUR MOYENNE	VALEUR MÉDIANE	VALEUR DU 95 <sup>e</sup> CENTILE
Amiante (en fibres par litre = f/L)	26	0,9	6,1	3,01	2,92	4,85
Poussières inhalables (en mg/m <sup>3</sup> )	30	0,04	7	0,87	0,18	3,66

↑ TABLEAU 5 Résultat de l'exploitation statistique des mesures d'ambiance en fibres d'amiante et poussières inhalables (tous sites confondus).

POLLUANT	NB MESURES EXPLOITÉES	VLEP -8H	% DE DÉPASSEMENT DE LA VLEP-8H	VALEUR MIN.	VALEUR MAX.	VALEUR MOYENNE	VALEUR MÉDIANE	VALEUR DU 95 <sup>e</sup> CENTILE
Amiante (en fibres par litre = f/L)	10	10	20 %	2,4	14,8	5,7	4,21	13,14
Poussières inhalables (en mg/m <sup>3</sup> )	24	10	8,3 %	0,053	13,7	3,45	0,54	11,43

↑ TABLEAU 6 Résultat de l'exploitation statistique des mesures individuelles en fibres d'amiante et poussières inhalables (tous sites confondus).

POLLUANT	NOMBRE DE MESURES EXPLOITÉES	VALEUR MINIMUM	VALEUR MAXIMUM	VALEUR MOYENNE	VALEUR MÉDIANE
Amiante (en f/L)	10	0,80	4,60	2,61	2,75
Poussières inhalables (en mg/m <sup>3</sup> )	10	0,03	0,31	0,10	0,09

↑ TABLEAU 7 Résultat de l'exploitation statistique des mesures environnementales en fibres d'amiante et poussières inhalables tous sites confondus.  
Nota : À titre de comparaison, pour l'amiante, la valeur de gestion en santé publique dans les immeubles bâtis est de 5 f/L.

casiers sont équipés de dispositifs de pressurisation de leur cabine. Le personnel doit être formé en « sous-section 4<sup>6</sup> ». L'existence d'un mode opératoire « sous-section 4 » obligatoire n'a pas été constatée sur tous les sites.

Deux dépassements de la valeur de référence de 10 f/L pour l'amiante ont été mesurés pour des opérateurs travaillant au contact des déchets en milieu intérieur, avec un maximum de 14,8 f/L. Deux dépassements de la valeur de 10 mg/m<sup>3</sup> pour les poussières inhalables sont également mesurés sur des opérateurs réalisant les mêmes tâches, en milieu intérieur, avec un maximum de 13,7 mg/m<sup>3</sup>. Ces dépassements ont été mesurés sur un type de site non autorisé à recevoir des déchets d'amiante. Le pourcentage de dépassement de la valeur de référence des poussières inhalables (8,3 %) corrobore celui observé en 2019 pour l'ensemble de la profession dans la base Scol@ (8,1 %).

#### → Profils d'exposition aux poussières inhalables – appareil à lecture directe

Les profils d'exposition aux poussières inhalables obtenus à partir d'un appareil à lecture directe (Cf. Tableau 3) placé au niveau des voies respiratoires des opérateurs permettent d'identifier et de quantifier les phases opérationnelles les plus

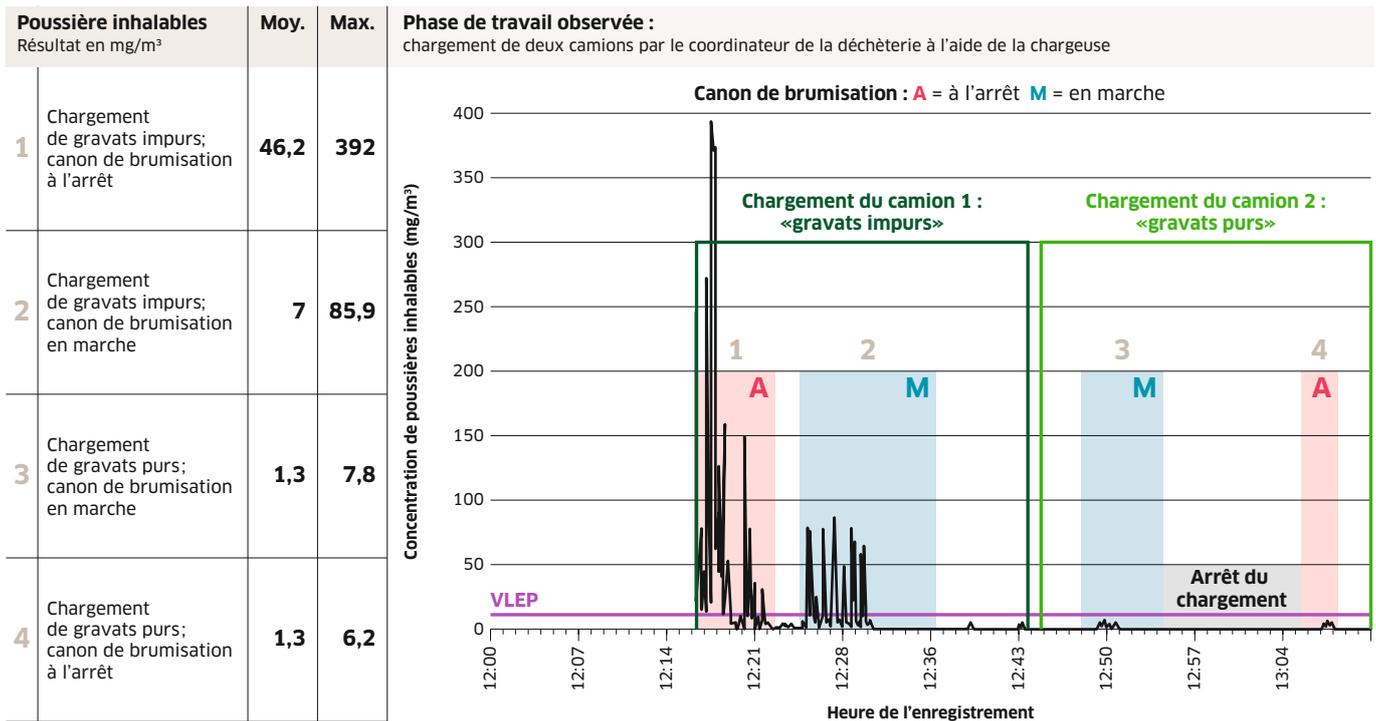
exposantes. Sur ces phases, l'intégration des données permet de calculer la valeur moyenne de l'exposition. Un exemple de profil d'exposition (Cf. Figure 3) a été réalisé lors d'opérations de chargement de gravats « impurs » et de gravats « purs » (Cf. Figures 4 et 5) dans des bennes à l'aide d'une chargeuse.

Le profil d'exposition aux poussières inhalables (Figure 3) a permis d'observer :

- Gravats « impurs » (Figure 4) :
  - sur la durée de la phase de chargement, une valeur moyenne d'exposition de 46,2 mg/m<sup>3</sup> (pic à 392 mg/m<sup>3</sup>) lorsque cette opération est réalisée sans brumisation (dysfonctionnement du dispositif) ;
  - une valeur moyenne d'exposition sur la durée de la phase de chargement à 7 mg/m<sup>3</sup> (pic à 85,9 mg/m<sup>3</sup>) lorsque cette opération est réalisée avec brumisation.
- Gravats « purs » (Figure 5) :
  - des valeurs moyennes équivalentes sur la durée de la phase du chargement (1,3 mg/m<sup>3</sup>) avec ou sans brumisation et des pics du même ordre de grandeur (7,8 et 6,2 et mg/m<sup>3</sup>).

En l'absence de brumisation, les opérations de chargement des gravats « impurs » génèrent un taux d'empoussièrement moyen élevé :





↑ FIGURE 3 Exemple de profil d'exposition aux poussières inhalables obtenu à partir d'un appareil à lecture directe réalisé en ambiance de travail à hauteur des voies respiratoires à côté de l'alvéole « gravats impurs ».

il est 4,6 fois supérieur à la valeur de référence de 10 mg/m<sup>3</sup> pour les poussières inhalables en milieu de travail. Des pics d'exposition près de 40 fois supérieurs à la VLEP-8 h sont observés pour ces gravats « impurs ».

Lors du chargement des gravats « purs », le niveau d'empoussièremment moyen mesuré est moindre que celui observé pour les gravats « impurs ». Toutefois, il convient de préciser que les gravats « purs » avaient un aspect terreux et humide. De plus, le dispositif de prélèvement était plus éloi-

gné de l'alvéole de gravats « purs » (Cf. Figure 6) que de l'alvéole gravats « impurs », contribuant à la dilution des empoussièremments.

Le dispositif de brumisation en fonctionnement contribue à abaisser d'un facteur 6 la concentration moyenne en poussières inhalables lors du chargement des gravats « impurs », maintenant ce niveau sous la VLEP. Le dispositif d'arrosage ne fait pas preuve de son efficacité pour les gravats « purs », car il est trop éloigné de l'alvéole et le panache d'arrosage n'atteint pas les déchets

↓ FIGURE 4 (À gauche) Tas de gravats « impurs ».

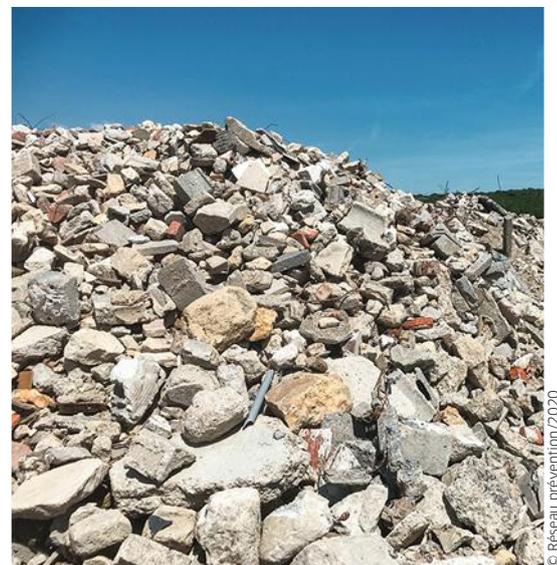
↓ FIGURES 5 (Au milieu et à droite) Tas de gravats « purs » (terreux au milieu, bétons à droite).



© Réseau prévention/2020



© Réseau prévention/2020



© Réseau prévention/2020

(Cf. Figures 6 et 7) : les résultats sont similaires avec ou sans brumisation pour ces déchets lors du chargement.

Chaque profil acquis a l'avantage de s'appuyer sur des mesures concrètes d'exposition et d'établir ainsi une base de travail entre les acteurs de la prévention et les exploitants pour définir les moyens de prévention adaptés à chaque situation, tout en facilitant la communication auprès du personnel.

## → Mesures environnementales (tous sites confondus)

Les résultats des mesures environnementales des concentrations d'amiante et de poussières inhalables (Cf. Tableau 7) ne mettent pas en évidence de transfert de contamination en dehors des limites du site aux différents points mesurés (accueil, parking, pont-basculé, limite de site). Ils ne mettent pas non plus en évidence une contamination qui pourrait provenir d'une activité en dehors du site.

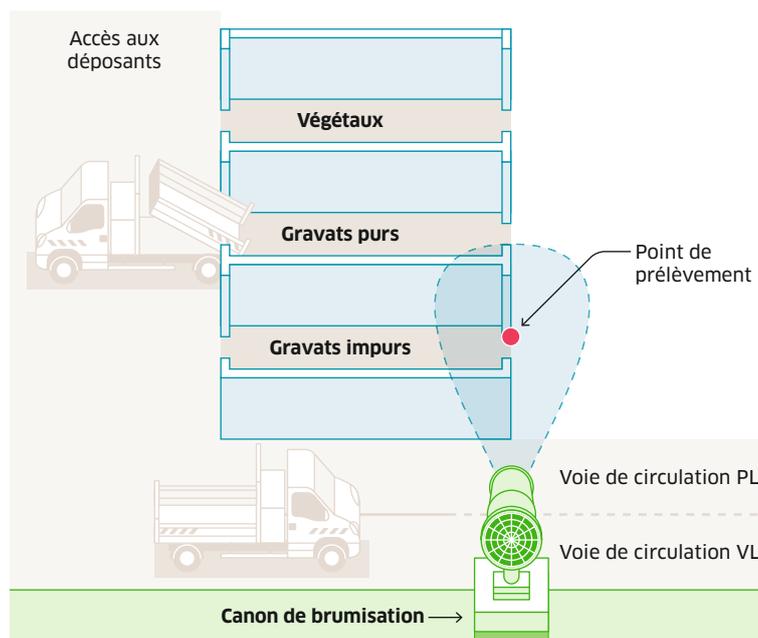
## Mesures de prévention

Pour tous les sites acceptant des déchets du BTP, qu'ils soient ou non autorisés à recevoir des déchets d'amiante, il est conseillé aux points de livraison et de manipulation en milieu intérieur et extérieur :

- d'installer des dispositifs de captage et de rabattage des poussières aux points sensibles (points de déversement des déchets, zone de tri manuel) ;
- de renouveler l'air avec un apport d'air neuf et sain dans les enceintes fermées et filtrer l'air avant rejet en extérieur (cabine de tri) ;
- d'équiper les cabines des engins de reprise des déchets avec des dispositifs de filtration de l'air et pressurisation de la cabine, maintenir portes et fenêtres fermées pendant la conduite.

Pour les sites non autorisés à recevoir des déchets d'amiante, les valeurs des 95<sup>es</sup> centiles issus des prélèvements individuels (amiante et poussières inhalables) sont supérieures aux VLEP-8 h (Cf. Tableau 6). Pour les éléments non détectés lors du contrôle visuel à l'arrivée sur le site, mais repérés après le déchargement, il conviendrait en complément de mettre en œuvre les mesures de prévention suivantes :

- isoler les éléments suspectés contenir de l'amiante pour éviter l'émission de fibres d'amiante dans les cabines lors du tri mécanisé ou manuel ;
- conditionner ces déchets dans des emballages dédiés aux déchets d'amiante et les faire éliminer dans une installation autorisée à accepter les déchets d'amiante ;
- enregistrer l'anomalie et effectuer un signalement auprès du déposant, lui rappeler les



↑ FIGURE 6 Schéma d'implantation du dispositif d'abattage des poussières et panache d'arrosage effectif, correspondant au profil d'exposition commenté (Cf. Figure 3 ; P = point de prélèvement).

consignes sur la nature des déchets acceptés et interdits ;

- prévoir, dans le mode opératoire « sous-section 4 », le port des équipements de protection individuelle dédiés lors des interventions : gants, combinaison de type 5, appareil de protection respiratoire doté de filtres ou cartouches P3, le cas échéant protection respiratoire à ventilation assistée de type TM3P. Attention, le type de protection respiratoire choisi doit être soumis à l'avis du médecin du travail en ce qui concerne le niveau de protection, la durée de port continu et journalière, et les temps de pause.

↓ FIGURE 7 Exemple de dispositif de brumisation placé au niveau d'une alvéole de gravats pour abattre les poussières lors du déchargement et de la reprise des déchets.



© Réseau prévention/2020





© Gael Kerbaol/INRS/2016

Emballage de déchets amiantés.

Les fédérations professionnelles Fnade, Federec-BTP et Seddre<sup>®</sup>, avec la participation de la FNBM<sup>®</sup>, de plusieurs donneurs d'ordres d'établissements publics de coopération intercommunale (EPCI), de l'association Amorce<sup>10</sup>, et la contribution de la Cramif et de l'INRS, ont édité des guides de bonnes pratiques selon la nature des installations [4]. Ils décrivent notamment les mesures de protection collective et individuelle permettant de gérer les situations accidentelles en présence d'amiante. Ces guides rappellent également les niveaux de formation requis selon les fonctions occupées par le personnel sur ces sites.

### Conclusion

Sur les sites autorisés à recevoir des déchets d'amiante, la campagne a permis de constater que la gestion mise en place pour ces déchets n'expose pas les travailleurs à des concentrations supérieures aux VLEP en absence de situation accidentelle. L'étude confirme que les sites non autorisés à réceptionner des déchets d'amiante sont sujets à des apports fortuits. Ces apports ont pour origine potentielle un défaut :

- de repérage de l'amiante avant travaux par les donneurs d'ordres et une méconnaissance des matériaux amiantés par les entreprises de travaux et les particuliers ;
- de (re)connaissance des matériaux amiantés lors du repérage avant travaux ;
- d'exutoire autorisé à réceptionner les déchets amiantés à proximité du lieu des travaux conduisant à des pratiques inadaptées des entreprises et des particuliers pour les éliminer. Par exemple dans le Val-d'Oise, un seul des deux sites autorisés permet aux particuliers de venir déposer des déchets contenant de l'amiante.

Non détectés lors de la livraison, ces déchets peuvent entrer dans les filières de traitement et sont à l'origine d'expositions aux fibres d'amiante caractérisées au cours de cette campagne, lors du

### POUR EN SAVOIR +

- INRS, ED 6028 – *Exposition à l'amiante lors du traitement des déchets. Guide de prévention.*
- INRS, ED 6262 – *Interventions d'entretien et de maintenance susceptibles d'émettre des fibres d'amiante. Guide de prévention.*
- Dépliant INRS, ED 6171 – *Commander des mesures d'amiante dans les matériaux et dans l'air à des organismes accrédités. Conseils aux employeurs.*

Documents accessibles sur :

[www.inrs.fr/risques/amiante/publications-liens-utiles.html](http://www.inrs.fr/risques/amiante/publications-liens-utiles.html).

(dé)chargement dans les casiers ou dans les bennes, puis lors de leur reprise et de leur tri. Le recyclage de gravats « purs » peut potentiellement générer des risques d'inhalation de fibres d'amiante.

Les dispositifs de brumisation au niveau des casiers et bennes à gravats permettent de réduire les expositions aux poussières. Les sites devraient systématiquement en être équipés. Le cas échéant, les donneurs d'ordres devraient prévoir ces dispositifs dans leurs marchés pour faciliter leur installation.

L'étude des concentrations, par mesures conventionnelles aux poussières inhalables, des profils d'exposition à ces poussières et des concentrations en fibres d'amiante n'a pas montré de corrélation entre les concentrations d'exposition de ces deux polluants.

Les poussières inhalables peuvent contenir des agents chimiques cancérigènes responsables de maladies graves. Des dispositifs de captage ou d'abattage devraient équiper tous les postes de travail générateurs de concentrations élevées dans l'atmosphère des lieux de travail.

Sur les sites non autorisés à recevoir les déchets d'amiante, les expositions des travailleurs aux poussières susceptibles de contenir ces fibres ne doivent pas être négligées. Le personnel devrait bénéficier d'une formation lui permettant d'identifier visuellement les matériaux suspects, connaître et savoir mettre en œuvre en routine les consignes de gestion des situations accidentelles propres à chaque type de site. L'obligation des repérages de l'amiante avant travaux à la charge des donneurs d'ordres et la mise en place de campagnes d'information auprès des déposants devraient à terme contribuer à réduire le risque d'apport fortuit de déchets d'amiante. Ces mesures devraient s'accompagner de l'organisation, au niveau national, d'un maillage suffisant et bien réparti de points d'apport et d'installations autorisées à recevoir les déchets d'amiante. Il serait souhaitable que chaque établissement public de coopération intercommunale mette en place un lieu de collecte acceptant les déchets d'amiante des particuliers. ●

1. Exploitation réalisée à partir des agents chimiques dangereux présentant au moins dix valeurs renseignées dans la base SCOL@ sur la période 2019 pour les codes Naf : 3900Z, 3811Z, 3821Z, et 3832Z (Cf. Tableau 1), et dont le traitement statistique a montré des dépassements de la VLEP-8h.

2. La base de données Scol@ a été développée à partir de 2007 par l'INRS, à la demande de la Direction générale du travail (DGT), pour enregistrer les données d'expositions professionnelles recueillies par les organismes accrédités, dans le cadre de la réglementation française.

3. Convention relative à la mise en œuvre d'une politique de prévention relative aux risques d'exposition à l'amiante dans les centres de collecte, tri et de stockage des déchets signée le 10 janvier 2018 par la Fnade, la Cramif et l'INRS. Un avenant, signé le 23 juillet 2019, a associé Federec-BTP.

4. L'Anses préconise également de diminuer la VLEP-8h de 5 mg/m<sup>3</sup> à 0,9 mg/m<sup>3</sup> pour les poussières alvéolaires [3].

5. Laboratoire d'analyse inorganique et de caractérisation des aérosols (LAICA), département Métrologie des polluants.

6. Voir : [www.inrs.fr/risques/amiante/reglementation.html](http://www.inrs.fr/risques/amiante/reglementation.html).

7. Sur la journée, la valeur moyenne était de 1,3 mg/m<sup>3</sup> et l'étendue des valeurs = [0,2 mg/m<sup>3</sup> – 392 mg/m<sup>3</sup>].

8. Seddre : Syndicat des entreprises de déconstruction, dépollution et recyclage.

9. FNBM : Fédération de négoce du bois et des matériaux de construction.

10. Créé en 1987, Amorce constitue le premier réseau français d'information, de partage d'expériences et d'accompagnement des collectivités et acteurs locaux en matière de transition énergétique, de gestion territoriale des déchets et de gestion durable de l'eau.

En savoir plus : <http://amorce.asso.fr/l-association>.

## Remerciements

Les auteurs remercient les exploitants et personnels des sites ayant accepté de participer à la campagne, ainsi que Insiya Rogez (Fnade) et Noémie Laurent (Federec-BTP). Sont également remerciés les contributeurs du réseau Assurance maladie – Risques professionnels aux travaux de la convention : Séverine Barlier, Sylvain Pouget, Laurent Poulain, le Laboratoire de toxicologie industrielle de la Cramif, ainsi que Céline Eypert-Blaison (INRS) pour ses conseils et sa relecture attentive.

## BIBLIOGRAPHIE

[1] ÉCONOMIE CIRCULAIRE : DÉCHETS DU BTP ET RISQUES CHIMIQUES. In : Dossier « Intégrer la prévention des risques professionnels dans la gestion des déchets ».

Hygiène et sécurité du travail, 2019, 257, DO 27, pp. 45-55. Accessible sur : [www.hst.fr](http://www.hst.fr).

[2] RECUEIL DES DONNÉES CHIFFRÉES SUR LES GISEMENTS DE DÉCHETS D'AMIANTE AU REGARD DES FILIÈRES DE TRAITEMENT POSSIBLES. BRGM, RP 66047-FR, février 2017. Accessible sur : <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-66047-FR.pdf>.

[3] VALEURS LIMITES D'EXPOSITION PROFESSIONNELLES. LES POUSSIÈRES DITES « SANS EFFET SPÉCIFIQUE » (EFFETS SANITAIRES). Avis de l'Anses / Rapport d'expertise collective, novembre 2019. Accessible sur : [www.anses.fr](http://www.anses.fr).

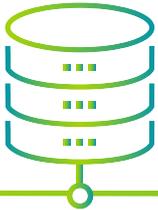
[4] GUIDES DE BONNES PRATIQUES DE LA PROFESSION :

- Centres de tri, transit, regroupement des déchets non dangereux du BTP : gestion des apports accidentels de déchets amiantés – Bonnes pratiques (2020).
- Déchèteries et points de collecte des déchets du BTP : gestion des apports accidentels de déchets amiantés – Bonnes pratiques (2020).
- Déchets amiantés autorisés en installation de stockage de déchets dangereux et en installation de stockage de déchets non dangereux – Bonnes pratiques (2018).
- Déchets amiantés acceptés en déchèterie – Bonnes pratiques (2018).

Guides accessibles sur les sites de la Fnade et de Federec-BTP :

<https://www.fnade.org/fr/kiosque-agenda/publications>.

<https://federec.com/fr/federec-actualites-detail/messages/publication-guides-bonnes-pratiques-gestion-du-risque-amiante-dechets-du-btp/>.



## 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 AUX CHLORAMINES DANS LES PISCINES ET LES STATIONS THERMALES EN FRANCE DE 2011 À 2020

Afin d'évaluer les niveaux de concentrations de trichlorure d'azote dans les piscines et stations thermales en France, cet article dresse un portrait des mesures d'ambiance et des mesures individuelles, concernant cette substance, enregistrées dans la base Colchic entre 2011 et 2020.

BARBARA SAVARY,  
GAUTIER MATER  
INRS,  
département  
Métrologie  
des polluants

### Contexte

La France compte aujourd'hui plus de seize mille établissements publics ou privés (piscines municipales, hôtels, camping, etc.) accueillant du public et équipés d'une piscine réglementée [1]. Pour limiter la prolifération microbienne et maintenir une bonne qualité sanitaire des eaux de baignade, celles-ci sont régulièrement traitées avec des produits chimiques contenant des composés chlorés ou bromés, devant être agréés par le ministère chargé de la Santé, ou par des procédés employant de l'ozone ou des UV par exemple. Cette désinfection est essentielle pour protéger les utilisateurs contre le risque de maladies microbiennes dans les piscines. Depuis le 1<sup>er</sup> mars 2021, l'Anses

est chargée de l'autorisation d'utilisation des produits de traitement [1]. La désinfection de l'eau génère plus de 400 substances chimiques, dont les trihalométhanes, les bromates et les chloramines, et en particulier le trichlorure d'azote (ou trichloramine  $\text{NCl}_3$ ) [1]. Ce dernier, très volatil, est le résultat d'une suite de réactions chimiques complexes entre les produits chlorés utilisés pour la désinfection et les composés organiques azotés présents dans l'eau et d'origine humaine (sueur, salive, urine, produits cosmétiques...) [2] et notamment, à partir de la réaction entre l'ammoniac et l'hypochlorite  $\text{ClO}^-$  :

$$\begin{array}{lcl} \text{NH}_3 + \text{ClO}^- & \rightarrow & \text{NH}_2\text{Cl} + \text{OH}^- \\ \text{NH}_2\text{Cl} + \text{ClO}^- & \rightarrow & \text{NHCl}_2 + \text{OH}^- \\ \text{NHCl}_2 + \text{ClO}^- & \rightarrow & \text{NCl}_3 + \text{OH}^- \end{array}$$

*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.*

Des études ont mis en évidence que plus le pH est élevé, plus la formation de  $\text{NCl}_3$  est faible. Selon Schmalz *et al.* (cités par Carter et Joll [3]), le pH de l'eau de baignade influence la formation de  $\text{NCl}_3$  dans les eaux dont les concentrations les plus élevées sont observées pour des pH de l'ordre de 6,5. Hansen *et al.* [4] confirment qu'un pH supérieur à 6,8 limite la formation de  $\text{NCl}_3$ .

Plus la concentration de ces substances volatiles dans l'eau des piscines et des stations thermales est élevée, plus leur concentration dans l'air au-dessus de la piscine le sera également. D'autre part, la vaporisation de la trichloramine est favorisée par une température de l'eau élevée, que l'on retrouve dans les centres aquatiques ludiques d'intérieur ou encore, par l'agitation de l'eau dans les bassins [5].

Selon une étude de Zwiener et Schmalz de 2015 (citée par Carter et Joll en 2017 [3]), la concentration atmosphérique en  $\text{NCl}_3$  est passée de 0,11  $\text{mg}/\text{m}^3$ , en l'absence de nageur, à 0,36  $\text{mg}/\text{m}^3$  après la venue d'écoliers dans une piscine. Le même constat a été fait lors d'une compétition de natation, pendant laquelle la concentration en  $\text{NCl}_3$  dans l'air a doublé le premier jour de compétition, et n'a cessé d'augmenter les jours suivants [3]. Cette production de  $\text{NCl}_3$  est due à la réaction de la sueur des sportifs avec le chlore utilisé pour la désinfection. La qualité de la ventilation des locaux joue un rôle important dans l'accumulation de  $\text{NCl}_3$  dans l'air des piscines [6]. Selon Gérardin *et al.* [7], il est possible de prédire la concentration de  $\text{NCl}_3$  produites dans les eaux de piscine à partir du taux de chloration, des paramètres physicochimiques tels que la température, le pH de l'eau et le taux de fréquentation du lieu, en suivant un modèle basé sur les mécanismes réactionnels, les propriétés physico-chimiques, les équilibres thermodynamiques et les mécanismes de transfert de la phase liquide vers la phase gazeuse. La validation de ce modèle a permis aux auteurs de prédire les émissions de  $\text{NCl}_3$  au cours du temps. Ils ont également pu conclure sur le rôle important du pH sur la formation de ces composés. En effet ils ont observé une augmentation de 40 % de la concentration en  $\text{NCl}_3$  lorsque le pH diminuait de 7,25 à 7 [7].

L'exposition à ce composé volatil potentiellement dangereux pour la santé présente un risque non seulement pour les nageurs réguliers, mais surtout pour les travailleurs dans les piscines. En effet, la présence de trichloramine dans l'atmosphère peut engendrer, en fonction de sa concentration, des irritations oculaires, cutanées et respiratoires. Ce composé volatil peut également être à l'origine de rhinites et d'asthmes, reconnus comme maladies professionnelles dans le tableau n° 66 du Régime général de la Sécurité sociale<sup>1</sup>. On observe des syndromes respiratoires et d'irritations oculaires parmi le personnel des centres aquatiques [8], avec



© Serge Morillon/INRS/2016

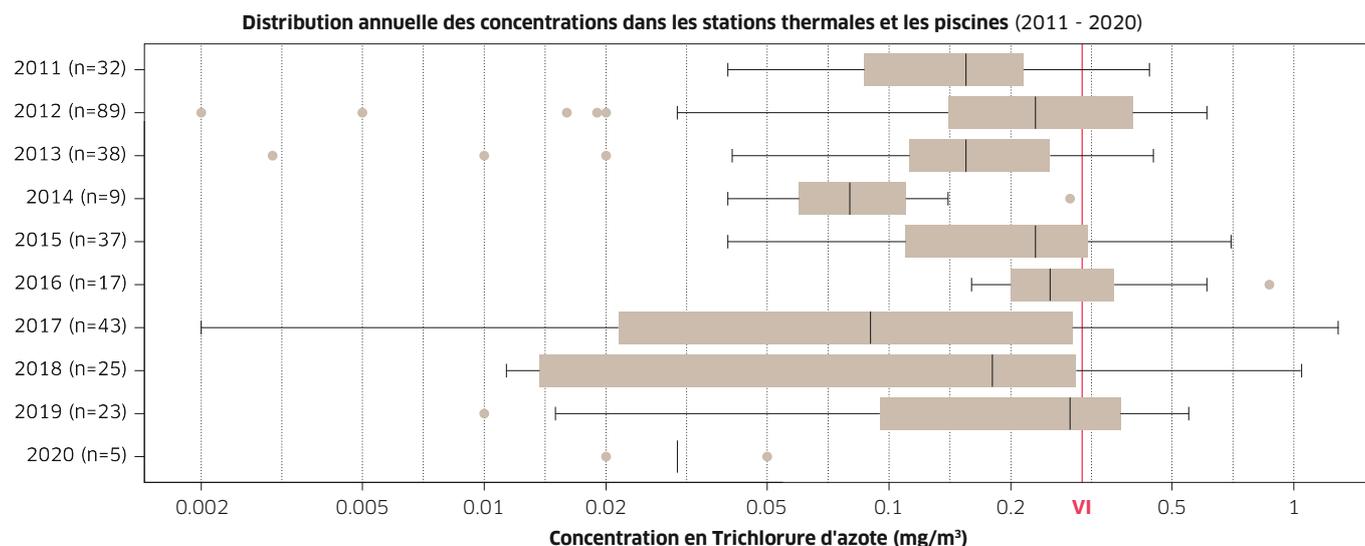
une relation dose - effet, selon une étude de Massin *et al.*, menée en 1998 [9], entre la concentration atmosphérique en  $\text{NCl}_3$  et la fréquence des pathologies observées parmi le personnel des centres aquatiques : maîtres-nageurs, surveillants de baignades, personnel de maintenance et d'entretien.

En 1994, l'INRS préconise une « valeur d'inconfort » (VI) en dessous de laquelle les salariés des établissements, ainsi que les baigneurs, ne doivent pas ressentir de symptômes liés à la présence de la trichloramine, égale à 0,5  $\text{mg}/\text{m}^3$  [10], valeur reprise par l'Organisation mondiale de la santé [11]. Depuis, l'Anses, dans un avis de juin 2010, préconise une VI de 0,3  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Cette valeur est également proposée par Parrat *et al.* [12]. En Suède, Westerlund *et al.* conseillent en 2015 une valeur limite d'exposition de 0,25  $\text{mg}/\text{m}^3$  pour des prélèvements individuels [13]. Selon une revue de la littérature, réalisée par Wastensson et Eriksson en 2020, une *Occupational exposure limit* (OEL) basée sur les effets pour la santé pourrait être proposée ; elle serait de 0,2  $\text{mg}/\text{m}^3$  pour des prélèvements d'ambiance dans les piscines [14].

Afin d'évaluer les niveaux de concentration au trichlorure d'azote dans les stations thermales et les piscines, cet article dresse un portrait des mesures enregistrées dans la base de données Colchic, entre 2011 et 2020. Les données exploitées concernent les mesures d'ambiance et individuelles, prélevées pendant une durée comprise entre 60 et 480 minutes et en référence à la VI recommandée par l'Anses de 0,3  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Dans le but de faciliter la comparaison des distributions des niveaux d'exposition entre différents métiers, des indices d'exposition (IE) ont été calculés. Les IE représentent le ratio entre la concentration mesurée et la valeur d'inconfort VI. Par exemple, une mesure ayant une concentration supérieure

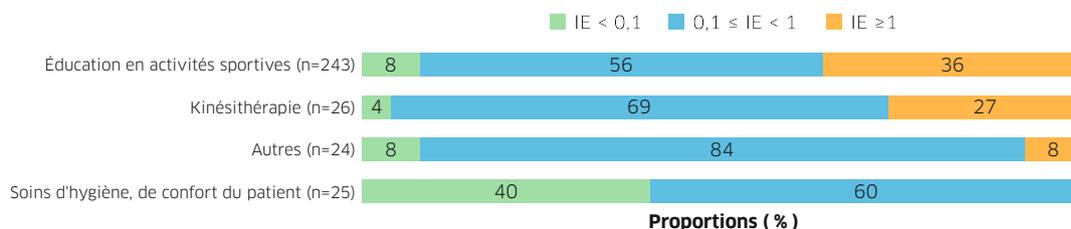
Prélèvement de l'eau en piscine pour déterminer le taux de chlore.





↑ FIGURE 1 Distribution annuelle des niveaux de concentration en trichlorure d'azote, entre 2011 et 2020.

→ FIGURE 2 Distribution des niveaux de concentration en trichlorure d'azote par métiers, entre 2011 et 2020.



à la VI aurait un IE supérieur à 1. 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 318 mesures a été relevé dans Colchic entre 2011 et 2020, dans les stations thermales et les piscines. Le nombre de mesures annuelles varie de 5 (en 2020) à 89 (en 2012), avec une médiane de 29 mesures. La majorité des prélèvements ont été réalisés en ambiance de travail (93 %) et les 7 % restant en individuel, c'est-à-dire au niveau des voies respiratoires du travailleur. Les prélèvements et les analyses ont été effectués en suivant la méthode décrite dans la fiche MétroPol M-104<sup>2</sup> de l'INRS. Globalement, 30 % des concentrations mesurées dépassent la valeur d'inconfort VI.

Avec respectivement 46 % et 43 % de dépassement de la VI, les années 2012 et 2019 enregistrent les plus fortes concentrations mesurées en trichlorure d'azote (cf. Figure 1).

La Figure 2 présente la distribution des IE par métier. Celui présentant la plus grande proportion de dépassement de la valeur d'inconfort est l'éducateur en activités sportives, dans les piscines municipales et les centres aquatiques, avec 36 % de dépassements. Ce métier regroupe à la fois les surveillant(e)s de baignade, les

maîtres-nageurs(es) – sauveteurs(es) et les éducateurs(trices) d'activités physiques. Les kinésithérapeutes, qui comptent plus d'un dépassement sur quatre, ont une activité rattachée aux centres de balnéothérapie et à l'hydrothérapie.

### Discussion - Conclusion

Selon les principes généraux de prévention<sup>3</sup>, l'employeur doit supprimer ou réduire les risques chimiques pour préserver la santé et la sécurité des salariés. Pour limiter l'exposition des travailleurs et des baigneurs, il est recommandé de ventiler les locaux, en assurant un renouvellement d'air suffisant, d'adapter le taux de recyclage de l'air en fonction de la gêne du personnel, et de limiter le fonctionnement des jeux d'eau dans les bassins, ou de les alterner [15]. Le pH de l'eau, la concentration en chlore et la température de l'eau sont des facteurs importants dans la production et la vaporisation de NCl<sub>3</sub> [5, 7]. L'ajustement de ces paramètres permet de limiter l'exposition à ce polluant des utilisateurs et des professionnels dans l'atmosphère des piscines. Bien entendu, il est important de dissocier les piscines et les stations thermales en intérieur de celles en extérieur qui, de par leur ventilation naturelle, limitent les expositions par inhalation aux trichloramines. Dans son avis du 10 juin 2010, l'Anses recommande de classer les piscines dans la catégorie

« Bâtiment à pollution spécifique », ce qui impose un renouvellement d'air de 60 m<sup>3</sup>/h par personne présente fixé par l'article R. 4222-6 du Code du travail [16].

Pour limiter la génération de trichloramines dans l'eau par réaction chimique, il est important de sensibiliser les baigneurs aux règles d'hygiène, avant et pendant la baignade : douche obligatoire avant la baignade, passage par le pédiluve, port du bonnet de bain... [16].

Deux études récentes ont mis en évidence une corrélation entre la concentration en NCl<sub>3</sub> et celle du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) présent dans l'air des piscines [17, 18]. Nitter et Svendsen [18] proposent de suivre en continu la concentration en CO<sub>2</sub>, utilisée comme traceur, pour ajuster au mieux le renouvellement de l'air dans les piscines, à défaut d'utiliser un analyseur en continu de NCl<sub>3</sub>. L'INRS met à disposition différents outils permettant d'évaluer ce risque et de le réduire :

- un outil d'aide à la décision, pour la mise en place de mesures de prévention de la formation de la trichloramine, dans les halls des établissements aquatiques : « Aquaprev<sup>4</sup> ». Il permet d'aider les professionnels à prédire les concentrations en NCl<sub>3</sub> en fonction de la configuration des installations, de la fréquentation des lieux (nombre de

nageurs), des paramètres de l'eau et du traitement d'air en place dans l'établissement ;

- le dispositif « Prophète<sup>5</sup> » (Procédé photocatalytique d'élimination et de traitement des effluents), pour l'amélioration de la qualité de l'air, en extrayant par la technique de strippage et décomposant par photocatalyse la trichloramine de l'eau des piscines ;
- un dispositif de prélèvement : « Triklorame<sup>6</sup> ». Ce kit de mesure de la trichloramine dans l'air permet de réaliser un suivi régulier, par le personnel des établissements, de cette substance, et de prendre rapidement les mesures nécessaires pour maintenir sa concentration en deçà de la valeur limite recommandée. ●

1. Tableau n° 66 des maladies professionnelles du Régime général. Accessible sur : [www.inrs.fr/publications/bdd/mp.html](http://www.inrs.fr/publications/bdd/mp.html). Voir aussi : Documents pour le médecin du travail, 2003, 94, TK 15, p. 224.

2. Voir : [www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL\\_104](http://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_104).

3. Voir : [www.inrs.fr/demarche/principes-generaux/introduction.html](http://www.inrs.fr/demarche/principes-generaux/introduction.html).

4. Accessible sur : [www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil55](http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil55).

5. Accessible sur : [www.inrs.fr/services/innovation/equipement/prophete.html](http://www.inrs.fr/services/innovation/equipement/prophete.html).

6. Accessible sur : [www.inrs.fr/services/innovation/evaluation-diagnostic/triklorame.html](http://www.inrs.fr/services/innovation/evaluation-diagnostic/triklorame.html).

## BIBLIOGRAPHIE

[1] ANSES – Risques sanitaires des piscines à usages collectifs. Accessible sur : [www.anses.fr/fr/content/risques-sanitaires-des-piscines-%C3%AO-usages-collectifs](http://www.anses.fr/fr/content/risques-sanitaires-des-piscines-%C3%AO-usages-collectifs) (consulté le 30 juin 2021).

[2] GÉRARDIN F. – Trichloramine : de l'émergence d'un risque aux solutions de prévention. *Hygiène & sécurité du travail*, 2016, 245, pp. 58-65. Accessible sur : [www.hst.fr](http://www.hst.fr).

[3] CARTER R.A.A., JOLL C.A. – Occurrence and formation of disinfection by-products in the swimming pool environment: a critical review. *Journal of environmental science*, 2017, 58, pp. 19-50.

[4] HANSEN K.M.S., ALBRECHTSEN H.J., ANDERSEN H.R. – Optimal pH in chlorinated swimming pools – balancing formation of by-products. *Journal of water and health*, 2013, 11(3), pp. 465-472.

[5] HERY M., HECHT G., GERBER J.M. ET AL. – Exposure to chloramines in the atmosphere of indoor swimming pools. *Annals of occupational hygiene*, 1995, 39, pp. 427-439.

[6] LÉVESQUES B., VEZINA L., GAUVIN D., LEROUX P. – Investigation of air quality problems in an indoor swimming pool: a case study. *Annals of occupational hygiene*, 2015, 59(8), pp. 1086-1089.

[7] GÉRARDIN F., CLOTEAUX A., MIDOUX N. –

Modeling of variations in nitrogen trichloride concentration over time in swimming pool water. *Process safety and environmental protection*, 2015, 94, pp. 452-462.

[8] LÖFSTED H., WESTERLUND J., GRAFF P. ET AL. – Respiratory and ocular symptoms among employees at Swedish indoor swimming pools. *Journal of occupational and environmental medicine*, 2016, 58(12), pp. 1190-1195.

[9] MASSIN N., BOHADANA A., WILD P. ET AL. – Respiratory symptoms and bronchial responsiveness in lifeguards exposed to nitrogen trichloride in indoor swimming pool. *Occupational and environmental medicine*, 1998, 55, pp. 258-263.

[10] GAGNAIRE F., AZIM S., BONNET P. ET AL. – Comparison of the sensory irritation response in mice to chlorine and nitrogen trichloride. *Journal of applied toxicology*, 1994, 14, pp. 405-409.

[11] OMS / WORLD HEALTH ORGANIZATION – Guidelines for safe recreational water environments – Volume 2: Swimming pools and similar environments, 2006.

[12] PARRAT J., DONZÉ G., ISELI C. ET AL. – Assessment of occupational and public exposure to trichloramine in Swiss indoor swimming pools: a proposal of an occupational exposure limit. *Annals of occupational hygiene*, 2012, 56(3), pp. 264-277.

[13] WESTERLUND J., GRAFF P., BRYNGELSSON I.L. ET AL. – Occupational exposure to trichloramine and trihalomethanes in Swedish indoor swimming pools: evaluation for personal and stationary monitoring. *Annals of occupational hygiene*, 2015, 59(8), pp. 1074-1084.

[14] WASTENSSON G., ERIKSSON K. – Inorganic chloramines: a critical review of the toxicological and epidemiological evidence as a basis for occupational exposure limit setting. *Critical review in toxicology*, 2020, 50(3), pp. 219-271.

[15] INRS – Trichloramine dans les piscines et les centres aquatiques. 2019, ED 6280. Accessible sur : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr).

[16] ANSES – Évaluation des risques sanitaires liés aux piscines – Partie I : les piscines réglementées, 2010. Accessible sur : [www.anses.fr](http://www.anses.fr).

[17] WU T., FÖLDES T., LEE L.T., ET AL. – Real-Time Measurements of gas-phase Trichloramine (NCl<sub>3</sub>) in an indoor aquatic center. *Environmental science and technology*, 2021, 55, pp. 8097-8107.

[18] NITTER T.B., SVENDSEN K.H. – Covariation amongst pool management, trichloramine exposure and asthma for swimmers in Norway. *Science of the total environment*, 2020, 723. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138070.



# Agenda & services

## Congrès

Bruit en open space : prévention.  
Quels acteurs ? Quelles solutions ?

P.99

Agenda/Congrès

P.104

## Participez à la recherche

L'INRS a besoin de vous

P.106

## Formation

Formations à la santé  
et la sécurité au travail 2022

P.108

Agenda/Formations

P.110

## Sélection bibliographique

À lire, à voir

P.112

## Congrès

# BRUIT EN OPEN SPACE : PRÉVENTION. QUELS ACTEURS ? QUELLES SOLUTIONS ?

10 novembre 2020

Compte-rendu de la « Journée technique » organisée à distance par l'INRS.

---

JACQUES  
CHATILLON,  
PATRICK  
CHEVRET  
INRS,  
département  
Ingénierie des  
équipements  
de travail

---

Alors que le bruit est la première nuisance citée par les nombreux salariés travaillant en open space, cet événement avait pour objectif de présenter les outils et la démarche qui permettent aux préventeurs de réduire les situations bruyantes. Les espaces ouverts dans le tertiaire sont en effet censés faciliter la communication et la collaboration. Cependant, l'aménagement acoustique, souvent négligé à la conception, conduit à de la gêne pour l'accomplissement de l'activité, de la fatigue pour les salariés et de la perte de performance pour l'entreprise. Pour corriger ces situations dégradées, les acteurs de terrain sont souvent démunis. Cette journée, qui a réuni 1 355 participants à distance (préventeurs, services de santé au travail, chefs d'entreprise, organismes de contrôle...), avait pour objectif d'apporter les réponses aux questions qu'ils se posent.

---

**NOISE IN OPEN SPACE OFFICES: PREVENTION. WHO IS INVOLVED? WHAT ARE THE SOLUTIONS? –** *Noise is the primary hazard mentioned by many of those working in open space offices. This event aimed to present the tools and approaches available that would allow OSH professionals to reduce noisy situations. Open spaces in the service industry are supposed to facilitate communication and collaboration. However, noise reduction is often neglected during design, and noise can hinder accomplishment of tasks, as well as cause worker fatigue and reduced company performance. Stakeholders in the field are often at a loss as to how to correct these degraded situations. A total of 1,355 participants (OSH professionals, occupational health departments, company directors, auditing bodies, etc.) attended this online event, which aimed to provide answers to their questions.*

**P**our l'ouverture de la journée, le président du conseil d'administration de l'INRS, **Renaud Buronfosse**, a rappelé les enjeux de la prévention du bruit en open-space. Malgré le contexte sanitaire, trois raisons majeures ont été citées pour maintenir cet événement. D'abord, le grand nombre d'inscrits à la journée, reflétant le nombre considérable de salariés impactés par le bruit dans ces espaces de travail. Ensuite, malgré le développement récent et souvent forcé du télétravail, les mutations des open spaces engagées montrent que cette organisation du travail n'est pas sur le déclin. La troisième raison est que l'INRS propose une

démarche complète de réduction de la nuisance sonore, couplant les interventions d'ergonomes et d'acousticiens, et qu'il est essentiel de la partager avec les préventeurs, souvent démunis face au risque bruit, afin de préserver la santé des salariés du secteur tertiaire.

**Jacques Chatillon**, acousticien et chef du département Ingénierie des équipements de travail (INRS), a ensuite planté le décor de la journée. Il a d'abord rappelé combien cette modalité de travail s'est répandue depuis 20 ans en France, avec la tertiarisation de la société et le développement des services, en raison de la flexibilité de cette organisation. Entre 2 et 5 millions de salariés (selon la définition que





Open space  
équipé d'isolant  
phonique.

© Gael Kerbaol/INRS/2021

l'on donne à l'open space) travaillent aujourd'hui dans ces espaces, représentant 500 000 bâtiments et 250 millions de m<sup>2</sup>, avec une prévalence des « petits » immeubles, spécificité française. Tous les secteurs d'activités susceptibles de le faire installent aujourd'hui des salariés en open space : les centres d'appels téléphoniques, les secteurs bancaires ou assurantiels, les *start-up*, technocentres (conception de produits) ou agences créatives (publicité, communication...), en passant par les services du e-commerce, de conseils ou d'après-vente. L'organisation est sans cesse renouvelée, avec le développement actuel des espaces de *coworking* (plusieurs salariés d'entreprises différentes, pouvant travailler dans un même espace), de *flex-office* (une seule entreprise, pas d'emplacement attribué pour le salarié), d'espaces de type « *activity-based design* » (un seul espace, plusieurs zones, chacune réunissant une activité). Les salariés des open spaces se plaignent essentiellement du bruit ; pourtant, les niveaux mesurés ne sont jamais des niveaux d'alerte de la réglementation, pouvant conduire à des surdités, contrairement aux ambiances sonores de l'industrie ou du BTP. C'est plutôt l'intrusion non contrôlable, dans la sphère personnelle d'un salarié effectuant une tâche intellectuelle, d'un bruit non désiré, souvent intelligible mais non informatif, qui entraîne déconcentration, gêne, interruptions, puis, par une mobilisation des ressources supplémentaires pour compenser une baisse de performance, fatigue et risque de stress. Comment

améliorer la situation ? Comment contrôler le niveau de bruit ? Jacques Chatillon conclut en donnant les grandes lignes de la démarche, développée par les autres intervenants. Cette démarche, qui repose sur les diagnostics d'acousticiens et d'ergonomes, vise à adapter l'ambiance sonore à l'activité, en s'appuyant sur le ressenti des salariés.

**Yoan Le Muet**, directeur marketing (Saint-Gobain Plafonds France et président de la commission Afnor S30D), et **Patrick Chevret**, acousticien et responsable du laboratoire d'acoustique (INRS), ont ensuite expliqué pourquoi et comment ils avaient travaillé, avec un groupe de normalisation français, pour élaborer la norme NF S 31-199 « *Acoustique – Performances acoustiques des espaces ouverts de bureaux* » et comment cette norme avait conduit à une démarche complète de prévention du risque bruit en open space. L'originalité de ce document normatif (qui succède à d'autres normes ou recommandations plus anciennes, et s'articule avec des normes internationales) est de guider les différents acteurs lors de la conception ou de l'amélioration d'un bureau ouvert par étapes successives, et de manière participative, en incluant les salariés, et en s'appuyant sur une analyse de l'activité. La norme propose d'abord de segmenter l'espace ouvert, en considérant trois niveaux d'analyse des besoins : au poste de travail (un seul salarié), dans un secteur limité (une équipe), et enfin sur tout l'espace. Il s'agit alors de définir les enjeux acoustiques pour chaque

niveau : discrétion au poste (un seul salarié), limitation de la propagation de poste à poste (une équipe), réduction du niveau sonore global (tout l'espace). Pour cela, différents indicateurs acoustiques sont utilisés, dont les valeurs cibles seront différentes selon l'activité effectuée par le salarié. La démarche d'amélioration peut s'effectuer en quatre temps. D'abord, observation et constats, par des non-spécialistes, des grands défauts de l'acoustique des locaux suivis d'une analyse de l'activité, par des ergonomes ou psychologues du travail, pour cerner les besoins réels en termes de communication à l'intérieur d'une équipe, de discrétion acoustique ou de concentration. Dans un troisième temps, les salariés sont associés à la démarche, au moyen d'un questionnaire (Gabo) qui leur est proposé et qui permet d'objectiver leur ressenti vis-à-vis du bruit. Le quatrième temps est une affaire de spécialistes, acousticiens, qui peuvent mesurer les indicateurs acoustiques cités et, ainsi, donner des conseils d'aménagement du local.

Le questionnaire Gabo (pour « gêne acoustique dans les bureaux ouverts »), annexé à la norme mais d'usage libre et disponible sur le site Internet de l'INRS, a ensuite été détaillé par **Marjorie Pierrette**, responsable d'études en ergonomie et psychologie du travail (INRS). Cet outil d'évaluation du ressenti des salariés vis-à-vis du bruit a été élaboré en partenariat entre l'INRS et l'INSA<sup>1</sup> de Lyon dans le cadre d'un projet financé par l'Anses<sup>2</sup> en 2014. Dans une démarche d'amélioration de la qualité acoustique, tous les salariés d'un open space sont encouragés à le remplir, l'anonymat étant la règle. Le questionnaire est composé de quatre parties. La première permet de mesurer la satisfaction globale vis-à-vis de l'espace de travail, en renseignant sur les sentiments du salarié au travers des dimensions de contrôle (privacité) et de confort (fonctionnalité). La deuxième partie éclaire sur le ressenti de l'ambiance sonore au poste de travail, les sources de bruit les plus gênantes. La troisième partie traite de la relation du salarié vis-à-vis du bruit, étendue à la sphère personnelle (bruit de voisinage, bruits durant le sommeil...). La dernière partie traite du ressenti du salarié sur sa propre santé. Afin de situer un open space particulier au regard de ces dimensions, les résultats sont à comparer avec des tendances moyennes nationales résultant d'une campagne menée dans vingt-huit open spaces, auprès de plus de mille salariés. Cette campagne nationale avait d'ailleurs permis de souligner que les conversations intelligibles étaient les plus gênantes et que la gêne due au bruit n'était pas le fait des seules personnes assez sensibles à cette nuisance.

Pour montrer tout l'intérêt de placer le salarié au centre de la démarche et comment le faire, **Nathalie Judon**, responsable d'études en ergonomie et psychologie du travail (INRS), a précisé que l'implication de tous, en amont des interventions,

était un préalable crucial. Les acteurs à impliquer dans une démarche de prévention sont nombreux et chacun a son rôle à jouer : chefs d'entreprise, élus, préventeurs, managers, salariés. Expliquer, rendre visibles les objectifs et faire comprendre la démarche dans sa globalité est la première étape. Garantir la confidentialité et l'anonymat des questionnaires est indispensable et doit être explicite. Des entretiens individuels peuvent aussi être menés pour mieux comprendre les besoins de certains salariés demandeurs. La restitution des résultats et leur mise en discussion dans les collectifs sont ensuite essentielles pour faire adhérer à une démarche de progrès. Les améliorations acoustiques sont à co-construire avec l'entreprise pour être réalistes (budgets, changements secondaires sur le poste de travail, tel l'éclairage par exemple).

Des acousticiens sont ensuite intervenus pour détailler les indicateurs cités dans la norme et leur influence sur la qualité sonore de l'open space. D'abord, **Thomas Toulemonde**, ingénieur (bureau d'études ACOUSTB), a expliqué les différents indicateurs acoustiques de la norme NF S 31-199. Il a rappelé que les grandeurs physiques liées à ces indicateurs pouvaient être prédites (calculées) ou mesurées, afin de donner des préconisations pour la conception ou l'amélioration d'un open space, d'une part, ou de constater, à la réception, l'atteinte des valeurs cibles attendues, d'autre part. Le niveau moyen de bruit global, noté  $L_{Aeq}$ , se mesure durant des périodes assez longues dans différents endroits du bureau ouvert, et sous réserve que le taux d'occupation soit habituel. Le temps de réverbération se mesure dans un local vide de ses occupants ; c'est une caractéristique du local qui traduit sa capacité à absorber le bruit. Ces deux indicateurs correspondent donc à la zone étendue à tout l'open space. Deux indicateurs plus locaux sont également intéressants à mesurer : l'isolement entre deux postes adjacents, noté  $D_n$ , et la décroissance spatiale du son sur une ligne brisée traversant plusieurs postes de travail, notée  $D_{25}$ .

Ensuite, **Lucas Lenne**, ingénieur doctorant au laboratoire d'acoustique (INRS), a montré l'intérêt des simulations numériques lors de l'élaboration des normes mais aussi en phase de conception ou de redéfinition d'un espace de bureaux ouvert (traitement acoustique des murs et du plafond, cloisonnettes entre postes, surfaces vitrées, etc.). La présentation a permis de montrer l'influence des classes acoustiques des matériaux, des surfaces absorbantes, de la hauteur des cloisonnettes, etc. Prenant comme exemple un centre d'appels téléphoniques puis un bureau ouvert collaboratif, l'intervenant a montré, avec les outils de calcul qu'il utilise, la complexité des phénomènes physiques mis en jeu. Ses travaux permettent donc de hiérarchiser les actions à entreprendre par l'acousticien.



Pour terminer, quatre intervenants ont détaillé des exemples de changements réussis dans différents open spaces et les solutions commercialisées qui permettent de réaliser des améliorations. Tout d'abord, **Michaël Hernandez**, acousticien (SNCF), a présenté les spécificités des espaces de vente de la SNCF. Ces lieux sont bruyants car ils accueillent du public. Le questionnaire Gabo a été déployé en interne et les résultats, couplés à l'analyse du travail et aux mesures acoustiques, ont permis d'améliorer les situations de plusieurs espaces, jusqu'à élaborer une charte d'aménagement et d'acoustique pour guider les différents acteurs sur tout le territoire national, en fonction des contraintes propres et des budgets. Ensuite, **Aline Perny**, ergonomiste (ALSMT : Association lorraine de santé en milieu de travail), a présenté la démarche mise en place par le service de santé au travail. Le constat sur ces dernières années est que, malheureusement, les demandes des entreprises concernant le bruit en open space se manifestent souvent alors que la gêne est déjà avérée. L'objectif de l'ALSMT est de proposer une démarche proactive auprès de ses adhérents, afin d'agir dès la conception des locaux de travail. L'intervenante a présenté un exemple de réalisation de cette démarche, dans une association d'aide à des personnes en difficulté, qui comprenait trois équipes exerçant des tâches distinctes, avec des besoins acoustiques assez différents (besoin de silence pour l'une, nécessité de communiquer pour les autres). Accompagnée d'une psychologue du travail, pour faciliter le dialogue entre les différents acteurs, elle a réussi à ce que soit défini un projet de réaménagement des locaux de l'association convenant à tous et limitant considérablement la gêne due au bruit, sans faire appel à une expertise acoustique extérieure.

**Laurent Brocolini**, responsable d'études au laboratoire d'acoustique (INRS), a montré un exemple de démarche réussie dans l'open space de la centrale de réservation d'Euro-Disney. Engagée depuis quelques années, avec l'aide de la Cramif (Caisse régionale d'assurance maladie d'Ile-de-France), l'amélioration de l'acoustique du plateau réunissant 125 salariés a été conduite en suivant la démarche complète de l'INRS, présentée lors de cette e-conférence. La qualification acoustique des locaux, puis le déploiement

de différents questionnaires (dont Gabo), ont permis de différencier les besoins des trois équipes du plateau, certaines s'exprimant dans de nombreuses langues étrangères (clients internationaux). Les préconisations en termes d'aménagement ont pu être très précises, comme l'aménagement d'îlots de postes de travail, leur séparation acoustique, l'installation de cloisonnettes de plus de 1,40 mètre entre les postes de travail appartenant au même îlot.

Pour finir, un panorama des solutions commercialisées actuellement pour réduire la gêne sonore a été détaillé par **Thomas Bonzom**, contrôleur de sécurité au Centre de mesures physiques (Cramif). Il a montré que des solutions nombreuses et variées étaient disponibles pour les entreprises, et que certaines alliaient esthétique et efficacité. Sa présentation a permis de passer en revue différentes problématiques et de renseigner sur les solutions les plus adaptées. Il faut en effet différencier, pour réduire la gêne sonore, les solutions qui permettent un abaissement global des niveaux sonores sur tout le plateau de celles qui isolent deux postes adjacents entre eux ou des îlots regroupant les salariés d'une même équipe. Il faut penser aussi, et les solutions existent, à l'isolation des espaces communs (salles de réunion, mini-meeting, circulation ou café) et à celle des machines (photocopieuse, imprimante).

**Louis Laurent**, directeur des Études et recherche (INRS), a conclu en rappelant que l'aménagement des bureaux ouverts reste un sujet en mutation permanente du fait de l'évolution des organisations, de l'apparition d'innovations techniques et d'événements extérieurs, comme la pandémie de Covid-19. Il a souligné que le bruit est une préoccupation importante, comme l'atteste la forte participation à cette journée, mais que d'autres facteurs, comme la qualité de l'air intérieur ou l'ambiance thermique, sont également à prendre en compte pour améliorer le confort des salariés dans les open spaces.

Il a récapitulé les principaux messages qui se dégagent des présentations de la journée. Traiter le bruit demande une approche pluridisciplinaire, qui passe par l'acoustique, l'analyse de l'activité, la prise en compte du vécu des salariés. En témoignent des présentations sur la simulation acoustique des locaux, la mise en œuvre de techniques pour diminuer le bruit, les analyses d'activité sur des cas réels, et le questionnaire Gabo, outil permettant de décrire la perception des occupants du bureau. Il a souligné l'importance d'une démarche participative qui implique tous les acteurs, et terminé en mentionnant l'éventail des solutions disponibles tant du point de vue organisationnel que technique, qui permettent des améliorations, d'autant plus performantes que la question est traitée en amont. ●

1. Institut national des sciences appliquées.

2. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Voir : [www.anses.fr](http://www.anses.fr)

---

## POUR EN SAVOIR +

- Les présentations de la journée technique sont disponibles sur : [www.inrs.fr/footer/actes-evenements/journee-technique-bruit-en-open-space.html](http://www.inrs.fr/footer/actes-evenements/journee-technique-bruit-en-open-space.html).
- Dossiers, articles et publications « Bruit au travail » sur : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) ; [www.hst.fr](http://www.hst.fr) ; [www.travail-et-securite.fr](http://www.travail-et-securite.fr).
- Outil : questionnaire Gabo accessible sur : [www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil62](http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil62).



# 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 novembre 2021

28.29.30  
juin  
2022

Inscription : [www.inrs-procedesenmutation2022.fr](http://www.inrs-procedesenmutation2022.fr)  
Contact : [procedesenmutation2022@inrs.fr](mailto:procedesenmutation2022@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.



**12 AU 15 OCTOBRE 2021, LYON**

Salon 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 :

[www.pollutec.com/fr-fr.html](http://www.pollutec.com/fr-fr.html)



**21 OCTOBRE 2021, 11 HEURES**

Rendez-vous de *Travail & Sécurité* –  
Rayonnements ionisants : un risque invisible

La rédaction du magazine *Travail & Sécurité* organise une table ronde en ligne consacrée aux rayonnements ionisants, un risque invisible mais bien réel.

Qu'est-ce que la radioactivité ? Quels sont les risques pour la santé ? Dans quels secteurs d'activité peut-on être exposé aux rayonnements ionisants ? Quelle prévention mettre en place et de quelles ressources les entreprises peuvent-elles

disposer ? Des experts répondront aux principales questions posées et des entreprises viendront apporter leur témoignage.

Renseignements - Inscriptions :

[www.inrs-rendezvous-ts.fr/](http://www.inrs-rendezvous-ts.fr/)



**9 NOVEMBRE 2021, 11 HEURES**

Webinaire – Travail et pratiques addictives :  
comprendre et prévenir les risques

Des études épidémiologiques ont montré que les consommations d'alcool et de drogues peuvent avoir un lien avec certaines conditions de travail. De même, les pratiques addictives présentent un impact sur la santé et la sécurité des salariés. Il est nécessaire que les acteurs de l'entreprise mettent en œuvre de actions de prévention sur les facteurs favorisant les consommations de substances psychoactives. Cette conférence en ligne, proposée par l'INRS, s'adresse en premier lieu aux acteurs de prévention en entreprise (décideurs, HSE, IPRP, instances représentatives du personnel...), mais aussi aux employeurs, services de santé au travail, salariés, et a pour objectifs :

- de préciser les liens entre travail et consommation de substances psychoactives ;
- d'expliquer les différents risques associés et proposer des pistes de prévention pour agir ;
- de présenter les obligations réglementaires et quelques exemples de jurisprudences dans le domaine.

Renseignements - Inscriptions :

[www.inrs.fr/footer/agenda/webinaire-pratiques-addictives.html](http://www.inrs.fr/footer/agenda/webinaire-pratiques-addictives.html)

## 25 NOVEMBRE 2021, 11 HEURES

### Webinaire – Perturbateurs endocriniens : connaître et prévenir les risques

Les perturbateurs endocriniens sont des substances ou des mélanges chimiques capables de modifier le fonctionnement du système hormonal.

Ils sont susceptibles de provoquer des effets nocifs, tant chez les individus exposés que sur leur descendance. Si l'incertitude demeure quant à l'impact des perturbateurs endocriniens sur la santé humaine, la prudence s'impose. Il convient de mettre en place une démarche de prévention visant à supprimer les risques ou, à défaut, à limiter l'exposition des travailleurs, et particulièrement celle des femmes enceintes ou en âge de procréer, à un niveau aussi bas que possible.

Ce webinaire organisé par l'INRS est destiné à tous ceux qui, connaissant bien la prévention des risques chimiques, souhaitent s'informer sur la prévention des risques liés aux perturbateurs endocriniens en milieu de travail et, en particulier, aux chargés de prévention et responsables HSE, aux employeurs, médecins du travail et IPRP.

Il abordera les aspects suivants :

- généralités (définition, effets sur la santé, secteurs concernés et sources d'exposition) ;
- cadre réglementaire ;
- évaluation des risques (notamment les listes et bases disponibles pour repérer et identifier les perturbateurs endocriniens en entreprise) ;
- mesures de prévention adaptées ;
- rôle des différents acteurs.

#### Renseignements – Inscriptions :

[www.inrs.fr/footer/agenda/webinaire-perturbateurs-endocriniens.html](http://www.inrs.fr/footer/agenda/webinaire-perturbateurs-endocriniens.html)

## 7 DÉCEMBRE 2021, 11 HEURES

### Webinaire – Les maladies professionnelles

Ce webinaire de l'INRS s'adresse particulièrement aux médecins traitants et aux médecins du travail, ainsi qu'aux intervenants des services de santé au travail (infirmiers, ergonomes, psychologues du travail...). Il répondra aux questions suivantes :

- qu'est-ce qu'une maladie professionnelle ?
- quelles sont les démarches à effectuer ?
- en quoi consiste un tableau de maladie professionnelle ?
- quelles sont les conséquences d'une reconnaissance ?
- quel est le rôle de chacun ?

#### Renseignements – Inscriptions :

[www.inrs.fr/footer/agenda/webinaire-maladies-professionnelles.html](http://www.inrs.fr/footer/agenda/webinaire-maladies-professionnelles.html)



## 14 DÉCEMBRE 2021, 10H30

### Restitution prospective : le travail après la pandémie de Covid-19. Quelles évolutions des organisations ? Quels enjeux de santé et sécurité ?

Face à la pandémie de Covid-19, les entreprises et organisations ont dû adapter leur fonctionnement.

Si personne n'est en mesure de prédire avec exactitude les évolutions de cette crise et ses impacts, les entreprises sont amenées à réfléchir aux transformations qu'elle engendrera afin de s'y préparer.

Pour alimenter ces réflexions, un groupe de travail, animé par l'association Futuribles International et l'INRS, a réfléchi, dans une approche prospective, aux évolutions possibles des organisations de travail dans les cinq années à venir. L'INRS a approfondi cette réflexion sur les enjeux de santé et sécurité au travail associés. Travail à distance, relocalisations industrielles, automatisation, délocalisation de certains services, évolution des conditions d'emploi... Autant de transformations du travail qui peuvent avoir des conséquences en matière de risques professionnels et de prévention.

L'INRS organise, exclusivement sur Internet, le 14 décembre 2021 à 10h30, une restitution et un débat sur ces travaux de prospective.

#### Renseignements – Inscriptions :

[www.inrs.fr/footer/agenda/prospective-covid-5](http://www.inrs.fr/footer/agenda/prospective-covid-5)

#### POUR EN SAVOIR

• L'agenda complet des rencontres recensées par l'INRS est accessible sur : [www.inrs.fr/footer/agenda.html](http://www.inrs.fr/footer/agenda.html).



che • Participez à la recherche • Participez à la recherche • Participez à la recherche • Participez à la recherche

## Participez à la recherche

# EXPOSITION PROFESSIONNELLE AUX SILICES AMORPHES NANOSTRUCTURÉES (SAS): BIOMARQUEURS D'EFFETS PRÉCOCES

## Votre entreprise...

- **produit ou utilise des SAS dans les secteurs de la chimie, cosmétique, pharmacie, des industries alimentaires, du papier et carton, de la fabrication de produits en caoutchouc et en plastique, d'encre et peintures, vernis, colorants, pigments, colles ?**



### L'INRS a besoin de vous

**pour analyser les relations entre les niveaux d'exposition professionnelle aux SAS mesurés au poste de travail et des biomarqueurs d'effets précoces mesurés dans des matrices biologiques, afin d'explorer des mécanismes physiopathologiques de toxicité.**

## Quels sont les objectifs de cette étude ?

Les silices amorphes synthétiques (SAS) sont des substances à l'état nanoparticulaire dont les caractéristiques physicochimiques permettent une multitude d'applications industrielles. L'exposition professionnelle aux SAS pourrait concerner de nombreuses personnes, puisqu'elles représentent la deuxième classe de substances nanoparticulaires produites et importées en France et pourraient induire des effets sur la santé des travailleurs. Les études expérimentales ont montré une toxicité à court terme, mais les effets chroniques des SAS ont été peu étudiés, les données épidémiologiques sont rares et les mesures d'exposition en situation de travail manquent, ce qui ne permet pas une extrapolation chez l'homme. Cette étude propose de :

- caractériser l'exposition atmosphérique aux SAS lors d'une campagne de mesurage dans l'entreprise ;

- mesurer les biomarqueurs d'effets précoces dans des matrices biologiques (condensat d'air exhalé CAE) pour explorer les mécanismes physiopathologiques de toxicité aiguë (stress oxydant/nitrosant pulmonaire et systémique) et chronique (activités antioxydantes, inflammation systémique exprimée au niveau cardiovasculaire, effets épigénétiques) et déterminer leurs relations avec l'exposition aux SAS ;
- analyser la relation entre l'exposition aux SAS et la fraction exhalée du monoxyde d'azote (FENO) comme marqueur de l'inflammation bronchopulmonaire ;
- tester la faisabilité du dosage de la silice nanométrique dans le CAE (condensat d'air exhalé) et, le cas échéant, étudier les relations entre ces mesures et les niveaux d'exposition atmosphérique aux SAS.

## Comment se déroulera l'étude ?

L'évaluation de l'exposition aux SAS aux postes de travail se fera au moyen de prélèvements atmosphériques individuels et d'ambiance, sur une période de trois jours consécutifs.

Les salariés volontaires répondront à un questionnaire sur leur mode de vie, leurs antécédents médicaux et leur carrière professionnelle. Des recueils d'urines, de condensat d'air exhalé et des mesures de monoxyde d'azote exhalé seront effectués, ainsi qu'une unique prise de sang.

L'ensemble des prélèvements sera assuré par une équipe multidisciplinaire de l'INRS.

Les résultats de l'évaluation de l'exposition aux SAS seront restitués à chaque entreprise et serviront, le cas échéant, à adapter les mesures de prévention.

## VOUS SOUHAITEZ PARTICIPER ?

Contactez Anca Radauceanu  
ou Michel Grzebyk ou Bénédicte Adet,  
département Épidémiologie en entreprise  
03 83 50 98 09 • [anca.radauceanu@inrs.fr](mailto:anca.radauceanu@inrs.fr)  
03 83 50 87 96 • [michel.grzebyk@inrs.fr](mailto:michel.grzebyk@inrs.fr)  
03 83 50 21 38 • [benedicte.adet@inrs.fr](mailto:benedicte.adet@inrs.fr)  
INRS, Centre de Lorraine,  
1 rue du Morvan, CS 60027  
54519 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex

# RÉFÉRENCES EN SANTÉ AU TRAVAIL



## ACTUALITÉS

### INFOS À RETENIR

→ Expositions aux technologies de réalité virtuelle et/ou augmentée. Avis de l'ANSES, juin 2021

### NOUVEAUTÉS DE L'INRS

→ Affiches, brochures, dépliants, documents en ligne...

### PARTICIPEZ À LA RECHERCHE

→ Exposition professionnelle aux silices amorphes nanostructurées : biomarqueurs d'effets précoces

## CONNAISSANCES ET RÉFÉRENCES

### GRAND ANGLE

→ Le trouble de stress post-traumatique en santé au travail

### VU DU TERRAIN

→ Retour d'expérience d'une psychologue du travail dans un Centre hospitalier universitaire pendant l'épidémie de Covid-19  
→ Déploiement d'un exosquelette robotisé : retour d'expérience par l'entreprise Colas

### SUIVI POUR VOUS

→ Robots collaboratifs : démarche de prévention pour une intégration réussie. Conférence en ligne, 22 juin 2021

### MISE AU POINT

→ Exposition professionnelle aux mycotoxines : effets sur la santé

## OUTILS REPÈRES

### VOS QUESTIONS/NOS RÉPONSES

→ Exposition accidentelle au risque laser : quelle formation pour les sauveteurs secouristes du travail ?  
→ Personnels de cabinet dentaire de ville : quel suivi de l'état de santé vis-à-vis du risque rayonnements ionisants ?

### RADIOPROTECTION : SECTEUR MÉDICAL

→ Radiologie dentaire endobuccale

## À VOTRE SERVICE

AGENDA 2021-2022  
FORMATIONS DE L'INRS

**Abonnez-vous d'un simple clic : [www.rst-sante-travail.fr](http://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

## Formation

# FORMATIONS À LA SANTÉ ET LA SÉCURITÉ AU TRAVAIL 2022

Le nouveau catalogue des formations de l'INRS propose aux entreprises du Régime général de la Sécurité sociale et aux acteurs de la prévention en entreprise une offre de formation dédiée à la prévention des risques professionnels. L'offre 2022 propose notamment de nouvelles formations à distance.

*TRAINING IN OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY 2022 – For companies adhering to the French General Social Security Scheme and stakeholders in occupational prevention, the new INRS training catalogue offers a range of training options dedicated to the prevention of occupational risks. The 2022 catalogue includes new on-line training sessions.*

NICOLAS FAUVEL,  
GÉRARD MOUTCHE  
INRS,  
Département  
Formation

Conformément à ses orientations stratégiques, l'INRS contribue à intégrer la santé et la sécurité au travail (S&ST) dans les compétences professionnelles de tous les acteurs de l'entreprise, en proposant notamment une offre de formation dédiée à la prévention des risques professionnels. Vecteur privilégié pour le développement des connaissances et des compétences, la formation représente un moyen d'action incontournable pour la mise en œuvre de démarches de prévention dans les entreprises.

L'INRS propose dans son catalogue 2022 des formations relatives à la santé au travail, depuis les fondamentaux de la prévention jusqu'aux bonnes pratiques, par types de risques ou par secteurs d'activités, en passant par les démarches, méthodes et outils nécessaires à la mise en œuvre d'actions de prévention.

Destinées aux entreprises du régime général de la Sécurité sociale et aux acteurs de la prévention en entreprise, les formations de l'INRS s'adressent à différents publics :

- les formateurs d'organismes de formation et d'entreprise, en tant que relais ;
- les services de santé au travail (médecins, infirmiers et autres fonctions) ;
- les spécialistes de la prévention en entreprise ;
- les responsables des ressources humaines et les managers.

### Nouveau format

Après avoir expérimenté le format pédagogique distanciel pour continuer de former ces publics durant

la crise sanitaire, l'INRS propose, dans sa nouvelle offre, certaines formations, auparavant en présentiel, avec ce nouveau format. Elles seront organisées en plusieurs visioconférences, appelées « classes virtuelles », animées par des intervenants experts et coordonnées par un responsable pédagogique. Ces classes virtuelles contiennent des activités d'apprentissage variées : aux exposés des intervenants qui transmettent les apports notionnels fondamentaux, peuvent s'ajouter des travaux de groupe sur des études de cas ou encore des échanges de pratiques professionnelles. Les classes virtuelles sont également enrichies par des contenus complémentaires (supports de formation, quizz, autres ressources, etc.) accessibles aux apprenants durant la formation.

Il faut distinguer le format distanciel des formations dites accompagnées à distance (FAD) – qui existent depuis plusieurs années dans l'offre de formation de l'INRS – et reposent essentiellement sur des apports de contenus dont l'apprenant fait l'acquisition à son rythme, à partir d'une plateforme de formation dédiée, avec l'accompagnement ponctuel d'un tuteur pédagogique<sup>1</sup>.

Les formations proposées dans un format distanciel concernent plusieurs thèmes :

- « Mettre en œuvre une démarche de prévention à l'aide de l'évaluation de l'exposition aux agents chimiques dangereux » (Réf. CC1504). Cette formation destinée aux ingénieurs, techniciens, fonctionnels « sécurité et santé au travail » et aux hygiénistes industriels a pour objectif de fournir les connaissances et les compétences pour assurer le suivi de sa campagne de prélèvements d'atmosphère.



## Formations 2022

### Santé et sécurité au travail

© INRS

- La formation « Mesurer la concentration en fibres d'amiante sur les lieux de travail » (Réf. CJ0701) concerne les responsables techniques et les responsables qualité des organismes accrédités pour l'établissement de la stratégie d'échantillonnage, la réalisation des prélèvements et l'analyse d'amiante sur les lieux de travail. Cette formation permet de mettre en œuvre les moyens organisationnels, techniques et humains en vue de répondre aux exigences réglementaires et normatives relatives au contrôle des niveaux d'empoussièrement en fibres d'amiante sur les lieux de travail.
- « Participer à une démarche de prévention des risques psychosociaux » (Réf. N12002) fournit aux acteurs des services de santé au travail, et plus généralement aux préventeurs, des connaissances sur les causes, effets, et conséquences des risques psychosociaux (RPS) sur la santé, en présentant également la démarche de prévention adaptée.
- « Prévenir les risques liés aux pratiques addictives en milieu professionnel » (Réf. RU1101) a pour cible les préventeurs et les acteurs des services de santé au travail en donnant les notions nécessaires à la compréhension des pratiques addictives et la démarche de prévention associée.
- Enfin, « Médecins du travail et radioprotection » (Réf. BB1331) permet d'intégrer les nouveautés réglementaires en radioprotection dans le suivi des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.

### Catalogue thématique

L'offre de formation 2022 intègre également les thématiques récurrentes de la prévention des risques professionnels prioritaires ou émergents : les expositions aux risques chimiques (en particulier cancérigènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction : CMR), aux nanomatériaux, la prévention des risques psychosociaux, les risques multifactoriels, etc.

Le catalogue « Santé et sécurité au travail 2022 » rassemble les informations essentielles sur l'offre de formations de l'INRS en précisant également les lieux et les dates de formation. La description complète et les modalités d'inscription des stages sont disponibles sur le site Internet de l'INRS. ●

1. Le parcours animateur prévention repose sur ce format : [www.inrs.fr/services/formation/distance.html](http://www.inrs.fr/services/formation/distance.html).

### COMMENT SE PROCURER LE CATALOGUE ?

Le catalogue « Formations en santé et sécurité au travail 2022 » de l'INRS est disponible sous format électronique sur le site Internet de l'INRS, rubrique Formations et stages : <https://www.inrs.fr/services/formation.html>.

Il est également possible de se le procurer en format papier, sur demande auprès de l'INRS, à l'adresse suivante : [service.diffusion@inrs.fr](mailto:service.diffusion@inrs.fr)

# 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 nuisances sonores en milieu industriel (J@ 0508)

*Une session mixte (distanciel et présentiel) :  
du 4/10/2021 au 25/11/2021*

### → PUBLIC

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

### → OBJECTIFS

Préconiser les solutions de prévention (collectives et individuelles) des nuisances sonores en milieu industriel.

#### Objectifs pédagogiques :

- Intégrer les connaissances de base permettant d'évaluer les risques encourus par les salariés exposés au bruit.
- Conseiller sur le choix des moyens de prévention adaptés.
- Participer à leur mise en œuvre et au suivi de leur utilisation.

### → CONTENU

- Notions essentielles en acoustique : généralités et définitions, grandeurs physiques et unités de mesure.
- Effets sur la santé : éléments d'anatomie et de physiopathologie, effets du bruit.
- Contexte réglementaire.
- Démarche de prévention : méthodologie d'évaluation du risque en entreprise (principes, approches et stratégies), protection collective, protection individuelle.

### → RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

**Durée :** 28 heures

**Lieu :** Distanciel et 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](mailto:secretariat.forp@inrs.fr)

Coût : 883 € nets (exonération de TVA).

## Évaluer et prévenir les nuisances sonores en open space (J@0540)

*Une session mixte (distanciel et présentiel) :  
du 18/10/2021 au 19/10/2021 à distance  
et du 14/12/2021 au 16/12/2021 en présentiel*

### → PUBLIC

Acteurs des services de santé au travail (médecins, infirmiers et intervenants en prévention des risques professionnels), fonctionnels « sécurité et santé au travail », ingénieurs et techniciens de bureaux d'études et méthodes, ingénieurs-conseils et contrôleurs de sécurité des services prévention des Caisses de santé au travail (Carsat, Cramif et CGSS).

### → OBJECTIFS

Améliorer l'ambiance sonore dans les *open space*.

#### Objectifs pédagogiques :

- Évaluer la gêne auditive dans les *open space*.
- Proposer des solutions de prévention.

### → CONTENU

- Spécificités des *open space* : définition, contexte réglementaire, règles générales d'acoustique.
- Méthodologie d'évaluation de la gêne auditive en *open space* : analyse de l'activité, qualifier un local *open space*.
- Mesures de prévention.

### → RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

**Durée :** 24 heures

**Lieu :** Distanciel et 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](mailto:secretariat.forp@inrs.fr)

Coût : 742 € net (exonération de TVA).

## Analyser des situations de travail suite à des atteintes à la santé dues aux risques psychosociaux (JA 1731)

Une session : du 6/12/2021 au 10/12/2021

### →PUBLIC

Agents des services Prévention des Caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (Carsat), de la Caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France (Cramif) et des Caisses générales de Sécurité sociale (CGSS), membres d'une instance représentative du personnel (Commission santé sécurité et conditions de travail, représentants de proximité et délégués du personnel...), préventeurs d'entreprise, médecins du travail, intervenants en prévention des risques professionnels, infirmiers du travail, appelés à mettre en œuvre concrètement une analyse *a posteriori* d'événements graves dus aux risques psychosociaux (RPS : tentative de suicide, suicide, conflit, agression, pathologie professionnelle).

### →OBJECTIFS

Se positionner selon sa place sociale dans une démarche concrète d'analyse *a posteriori* d'événements graves dus aux RPS (tentative de suicide, suicide, conflit, agression, pathologie professionnelle).

#### Objectifs pédagogiques :

- Construire (ou participer à la construction d') un dispositif de prévention réunissant les conditions sociales favorables et le choix des méthodes adaptées pour intervenir sur une situation de travail ayant généré des atteintes à la santé dues aux RPS, en fonction de sa place au sein d'une entreprise ou d'une institution.

### →CONTENU

- Les conditions sociales et les principes d'action pour intervenir dans une analyse de situation de travail consécutive à une atteinte à la santé RPS.
- Présentation de démarches d'enquêtes adaptées à des événements (conflits, actes de violence interne et externe, tentatives de suicide, suicides...) dus aux RPS.

### →RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

**Durée :** 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](mailto:secretariat.forl@inrs.fr)

Coût : 1 154 € net (exonération de TVA).

## Évaluer et prévenir les risques lors d'une intervention en espace confiné ou espace clos (JA 2032)

Une session : du 6/12/2021 au 10/12/2021

### →PUBLIC

IPRP, préventeurs d'entreprise, agents des services Prévention des Caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (Carsat), Caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France (Cramif) et Caisses générales de Sécurité sociale (CGSS).

### →OBJECTIFS

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

#### Objectifs pédagogiques :

- Mettre en œuvre une démarche de prévention adaptée aux espaces confinés ou aux espaces clos.
- Analyser, identifier et évaluer les risques liés à ces espaces.
- Maîtriser et mettre en œuvre les mesures essentielles de prévention des risques professionnels pour intervenir dans ces espaces.

### →CONTENU

- Identification d'un espace confiné ou clos.
- Identification des différents risques professionnels.
- Règlementation en vigueur.
- Démarche de prévention : évaluer les risques et mettre en œuvre des moyens de prévention et de protection.
- Principales mesures de prévention : détection, ventilation, accès : entrée / progression / évacuation...

### →RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

**Durée :** 4 jours

**Lieu :** Vandœuvre-Lès-Nancy

**Responsable pédagogique :** Diane MAGOT

**Secrétariat, renseignements, inscriptions :**

INRS, Département Formation

Rue du Morvan, CS 60027

54519 Vandœuvre-Lès-Nancy Cedex

E-mail : [secretariat.forl@inrs.fr](mailto:secretariat.forl@inrs.fr)

Coût : 1 154 € net (exonération de TVA).

---

## POUR EN SAVOIR +

- Retrouvez toute l'offre de formation de l'INRS sur : [www.inrs.fr/services/formation.html](http://www.inrs.fr/services/formation.html).

## Sélection bibliographique

# À LIRE, À VOIR

Les publications de l'INRS sont consultables et téléchargeables sur : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) / Rubriques « Publications et outils / Brochures et dépliants » (papier/Web) et « Vidéos / Films et animations ».



### Les valeurs limites d'exposition professionnelle

INRS, 2021, coll. Moyens de prévention, ED 6443 (nouveau).

Les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) sont des outils réglementaires pour la prévention du risque chimique par inhalation. Ce document présente le système français des VLEP avec les principales notions et explications permettant leur bonne utilisation. Il complète le tableau des VLEP françaises proposé par l'INRS (outil en ligne n° 65), qui est remis à jour lors de chaque évolution de celles-ci.

Cette nouvelle édition annule et remplace l'ancienne (ED 984).



### La démarche ALM : accompagner la mobilité. Guide de choix : acquisition de chariots ou d'aides à la manutention de personnes

INRS, 2021, Dépliants, ED 6414 et ED 6415 (nouveau).

Le milieu de l'aide et du soin est un secteur très accidentogène, où la manutention de personnes est à l'origine des deux tiers des accidents du travail et de l'essentiel des maladies professionnelles.

La démarche ALM a pour objectif de prévenir l'exposition aux risques de troubles musculosquelettiques (TMS) et de chutes, liés au portage des patients.

Le guide propose une démarche et des conseils pour choisir, acquérir ou louer un équipement en intégrant non seulement les exigences techniques et les usages attendus, mais aussi la santé et la sécurité des utilisateurs professionnels.



### Base de données : techniques de réduction du bruit en entreprise

INRS, 2021, coll. Bases de données (Web uniquement : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) ; nouveau).

Cette base de données présente des exemples de solutions concrètes ayant permis de réduire l'exposition au bruit des salariés.

Chaque fiche correspond à une application industrielle mise en œuvre dans le cadre des actions suivies par les centres de mesures physiques des services Prévention des Carsat (Caisses d'assurance retraite et de santé au travail) et de la Cramif (Caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France).



### Outil : agir suite à un accident de travail

INRS, 2021, coll. Outils en ligne, Outil n° 82 (Web uniquement : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) ; nouveau).

Lorsqu'un accident de travail est survenu, il est indispensable d'en identifier les causes et de mettre en place des actions correctives pour éviter qu'il ne se répète. Pour aider les entreprises, l'INRS et l'Assurance maladie – Risques professionnels proposent un nouvel outil en ligne : Agir suite à un accident de travail.



## Masques et prévention de la transmission de la Covid-19. Principaux usages

INRS, 2021, ED 6392, plaquette, 3 p. (mise à jour).

Ce document rassemble et synthétise les principaux usages des masques proposés dans le cadre de la prévention de la transmission de la Covid-19. Pour chaque masque, sont indiqués certaines caractéristiques de filtration, les marquages, ainsi que les masques pouvant être utilisés en remplacement.



## Les légionelloses en milieu de travail

INRS, 2021, coll. Fiche Agent biologique, ED 4417, 8 p. (nouveau).

Cette fiche présente les effets des légionelles (bactéries) sur la santé, les installations les plus à risque ainsi que les mesures réglementaires de prévention (en matière de conception, maintenance, entretien et surveillance) à mettre en place pour chaque type d'installation.



## Deux outils en ligne et trois dépliants : Hôtellerie, restauration traditionnelle, restauration rapide

INRS, 2021, coll. TPE-PME, ED 6399, 6410 et 6436 (dépliants), outils n°s 80 et 81 (nouveau).

Élaborés par l'INRS et l'Assurance maladie – Risques professionnels, les outils en ligne permettent aux entreprises des secteurs de la restauration traditionnelle, de l'hôtellerie et de la restauration rapide de réaliser leur évaluation des risques et d'éditer un plan d'action. Pour chaque risque identifié, une liste de mesures de prévention est proposée. Les dépliants de sensibilisation, destinés aux TPE-PME, présentent les principaux risques professionnels dans les secteurs concernés. Ils rappellent également les principales situations à l'origine d'accidents du travail et les solutions de prévention adaptées.



## Machines

INRS, 2021, coll. Dossier Web (Web uniquement ; nouveau).

À chacune des étapes du cycle de vie d'une machine (conception, acquisition, utilisation, maintenance, prêt...), les concepteurs et utilisateurs ont un rôle clé à jouer pour prévenir les risques professionnels. Quatre nouveaux dossiers font le point sur les règles applicables aux machines, les rôles des différents acteurs impliqués et les actions à mettre en œuvre pour préserver la santé et la sécurité des travailleurs.



## Polyexpositions

INRS, 2021, coll. Dossier Web (Web uniquement ; nouveau).

Dans la plupart des situations de travail, les salariés peuvent être exposés en même temps à des nuisances multiples. La prise en compte des polyexpositions permet une évaluation des risques plus réaliste et la mise en place d'actions de prévention plus efficaces. Ce dossier apporte quelques clés pour mieux comprendre et mieux prévenir les polyexpositions.



## Meopa

INRS, 2021, coll. Dossier Web (Web uniquement ; nouveau).

Le Meopa est un médicament soumis à prescription médicale, administré par inhalation, pour soulager la douleur des patients ou les aider à gérer leur anxiété lors d'actes de soins de courte durée. Ce dossier fait le point sur les dangers de ce mélange et les mesures de prévention à adopter pour le personnel soignant.



# Veille & prospective

## **Prospective**

Industrie du futur : points de vigilance  
vis-à-vis de l'application des  
principes généraux de prévention

P.115

# INDUSTRIE DU FUTUR : POINTS DE VIGILANCE VIS-À-VIS DE L'APPLICATION DES PRINCIPES GÉNÉRAUX DE PRÉVENTION

---

JACQUES  
MARSOT,  
JEAN-  
CHRISTOPHE  
BLAISE  
INRS,  
département  
Ingénierie des  
équipements  
de travail

---

LAURENT  
CLAUDON,  
BENJAMIN  
PATY  
INRS,  
département  
Homme au  
travail

---

JEAN-PIERRE  
LECLERC  
INRS,  
département  
Ingénierie  
des procédés

---

PATRICK  
LAINE  
INRS,  
département  
Expertise  
et conseil  
technique

---

CÉDRIC  
DUVAL  
INRS,  
département  
Information et  
communication

---

L'industrie du futur, portée notamment par l'intégration du numérique et des nouvelles technologies, modifie les systèmes de production et les organisations du travail ; cela ne peut pas être sans conséquence, en matière de santé et de sécurité au travail. Cet article propose une analyse des effets de cette transformation sur l'application des principes généraux de prévention (PGP) des risques professionnels, en s'intéressant à trois axes d'évolution : l'utilisation croissante des technologies de production avancées, la généralisation des technologies numériques au niveau des postes de travail, et l'accroissement de la flexibilité des systèmes de production.

---

**TOMORROW'S INDUSTRY: DUE DILIGENCE FOR THE APPLICATION OF THE GENERAL PRINCIPLES OF PREVENTION** – *Tomorrow's industry, characterised in particular by digitalisation and the introduction of new technologies, will have modified production systems and patterns of work organisation; this evolution cannot but have consequences in terms of occupational health and safety. This article proposes an analysis of the impact of this transformation on the application of the general principles of occupational risk prevention, investigating three directions for progression: increasing use of advanced production technologies, digitalisation of workstations, and greater flexibility of production systems.*

---

L'industrie du futur, ou « industrie 4.0 » (Cf. *Pour en savoir plus*) marque une rupture dans l'évolution du secteur industriel. Reposant sur l'intégration des nouvelles technologies, notamment numériques, dans l'ensemble de la chaîne de production, elle vise à associer contrôle, flexibilité, sécurité et productivité, pour améliorer la compétitivité des entreprises. Ainsi, les modes de production, l'activité des salariés, l'organisation de travail, les relations clients-fournisseurs et le modèle économique de ces entreprises vont être transformés.

Qu'en est-il de l'applicabilité de la démarche de prévention des risques professionnels ? Sera-t-elle aussi bouleversée par ces évolutions technologiques, organisationnelles et économiques ? Afin d'apporter des éléments de réponse à cette

question, cet article se propose d'analyser l'impact de ces transformations sur l'application des principes généraux de prévention (PGP ; Cf. *Encadré*) qui encadrent la santé et la sécurité au travail (S&ST), tant au niveau national (art. L. 4121-2 du Code du travail) qu'europpéen (Directive cadre n° 89/391/CEE)<sup>1</sup>. L'application et l'articulation de façon cohérente des neuf principes généraux de prévention doivent en effet permettre aux entreprises de faire face à tous les types de situations de travail, y compris les plus inédites, du point de vue de la prévention des risques professionnels. Les principales interrogations posées par l'industrie du futur en matière de S&ST des travailleurs peuvent se décliner selon trois axes de transformation des systèmes de production :

- l'utilisation croissante des technologies de production avancées ;



ENCADRÉ

**LES NEUF PRINCIPES GÉNÉRAUX DE PRÉVENTION (PGP)**

**1. Éviter les risques**

Supprimer dans la mesure du possible les dangers ou les risques associés. C'est par exemple la suppression d'un besoin d'intervention en hauteur afin de supprimer le risque de chute.

**2. Évaluer les risques**

Évaluer les risques qui n'ont pas pu être supprimés afin de prioriser les actions de prévention à mettre en place. Cette évaluation se base sur l'estimation de la gravité du dommage potentiel et de sa probabilité d'occurrence.

**3. Combattre les risques à la source**

Intégrer la prévention le plus en amont possible, notamment dès la conception des lieux de travail, des équipements ou des modes opératoires.

**4. Adapter le travail à l'homme**

Adapter les organisations,

les process, les modes opératoires, les postes de travail, etc., aux caractéristiques des salariés (morphologie, force, résistance, compétences, expérience, etc.).

**5. Tenir compte de l'évolution de la technique**

Mettre en place des moyens de prévention répondant aux évolutions techniques et organisationnelles. Cela nécessite la mise en place d'une veille régulière.

**6. Remplacer ce qui est dangereux par ce qui l'est moins**

Prioriser les mesures qui suppriment ou réduisent de façon intrinsèque les dangers par rapport aux mesures qui protègent de ces dangers.

**7. Planifier la prévention**

Intégrer dans un ensemble cohérent l'ensemble des facteurs pouvant

conduire à des accidents ou des maladies professionnelles

**8. Donner la priorité aux mesures de protection collective**

Hiérarchiser les mesures de protection : après les mesures intrinsèques (6<sup>e</sup> principe), il s'agit ici de prioriser la protection collective par rapport aux mesures de protection individuelles.

**9. Donner les instructions appropriées aux salariés**

Donner aux salariés les informations nécessaires à l'exécution de leurs tâches dans des conditions de sécurité optimales. Il s'agit notamment de leur fournir tous les éléments nécessaires à la bonne compréhension des risques encourus et ainsi de les associer à la démarche de prévention.

- la numérisation (digitalisation) des postes de travail ;
- l'accroissement continu de la flexibilité des systèmes de production.

Ces trois axes soulèvent potentiellement des questions sur l'application de chacun des neuf PGP. Toutefois, afin d'éviter des répétitions qui seraient inévitablement apparues du fait de la complémentarité entre ces axes, ainsi qu'entre les PGP, nous avons choisi de nous focaliser sur les PGP les plus impactés par chacun de ces trois axes.

Ces axes peuvent par ailleurs soulever des questions plus spécifiques, comme celles liées au respect de règles de conception (directive « Machines » n° 2006/42/CE pour les imprimantes 3D ou les robots collaboratifs ; règlement n° 2016/425<sup>2</sup> pour les EPI intelligents), qui ne sont pas abordées dans cet article.

**Impacts des nouvelles technologies de production sur l'application des PGP**

L'industrie du futur repose sur une combinaison de technologies dites « avancées », qui ont comme point commun de permettre l'amélioration de la flexibilité de l'ensemble de la chaîne de production. C'est par exemple le cas de la robotique collaborative, des exosquelettes, de la fabrication additive.

L'intégration de nouvelles technologies de production n'est en soi pas un phénomène nouveau et

ne remet pas en cause la pertinence des PGP. Au contraire, intégrer de nouvelles technologies, c'est tenir compte de l'état de la technique afin d'éviter ou de réduire les risques, à condition de s'assurer que ces nouvelles technologies sont conformes aux règles de conception qui leur sont applicables.

Cependant, ce qui caractérise l'industrie du futur vis-à-vis des nouvelles technologies, c'est l'intégration de systèmes de traitement de l'information destinés à les rendre « intelligentes ». C'est cette complexité croissante, combinée à une accélération de la mise sur le marché de ces technologies, qui peut questionner l'application adéquate de certains PGP. Il faut en effet prendre le temps d'analyser les risques nouveaux, accentués, ou plus difficilement maîtrisables du fait de ces nouvelles technologies. Il peut ainsi être difficile de tenir compte de l'évolution de la technique dans ce contexte d'accélération.

Pour illustrer cette problématique, prenons l'exemple de l'évolution constatée dans le domaine de la robotique.

Les robots industriels ont été initialement développés pour la réalisation d'opérations basiques, répétitives nécessitant des forces importantes (palettisation, manipulation de pièces lourdes, insertion en force...) ou encore dangereuses (soudage, collage, manipulations de pièces chaudes, de produits toxiques...). Conformément au principe de prévention qui consiste à combattre le risque à la source,

l'application des règles de conception conduisait, en phase de production, à isoler les robots industriels dans une enceinte grillagée.

Avec les progrès dans le pilotage des mouvements de ces robots, du fait de l'essor des techniques numériques, leur domaine d'application s'est élargi, notamment avec le développement d'applications dites « collaboratives ». L'objectif est alors d'associer le savoir-faire et le pouvoir décisionnel de l'être humain avec la puissance, l'endurance et la capacité de répétabilité des tâches du robot. La suppression totale ou partielle des barrières physiques entre l'homme et le robot qui en découle remet en cause la stratégie de protection précédemment évoquée, et nécessite une connaissance fine des interactions entre l'humain et le système technique pour mettre en œuvre des solutions de prévention adéquates.

L'une des nouvelles stratégies de prévention proposées consiste à contrôler en temps réel la distance entre le robot (et la pièce ou l'outil qu'il manipule) et l'opérateur, de façon à éviter tout risque de collision. Sans parler du fait que cette stratégie ne préserve pas des risques liés à l'éjection de la pièce maintenue par le robot par exemple, ces dispositifs de contrôle, généralement basés sur l'utilisation de systèmes de vision 3D, en sont encore au stade de tests préindustriels, alors que les robots sont déjà opérationnels dans les ateliers [1].

Une autre stratégie proposée consiste à limiter la puissance et la force du robot, de façon à réduire l'intensité, et donc la gravité des impacts potentiels sur l'homme. Il s'agit là d'une réelle rupture dans la stratégie de prévention, puisque l'on ne cherche plus à éviter le risque mais à en réduire les effets, en les limitant à des niveaux non dangereux. L'acceptation du contact homme – robot pourrait alors conduire à recourir à des équipements de protection individuelle (au lieu d'une protection collective comme

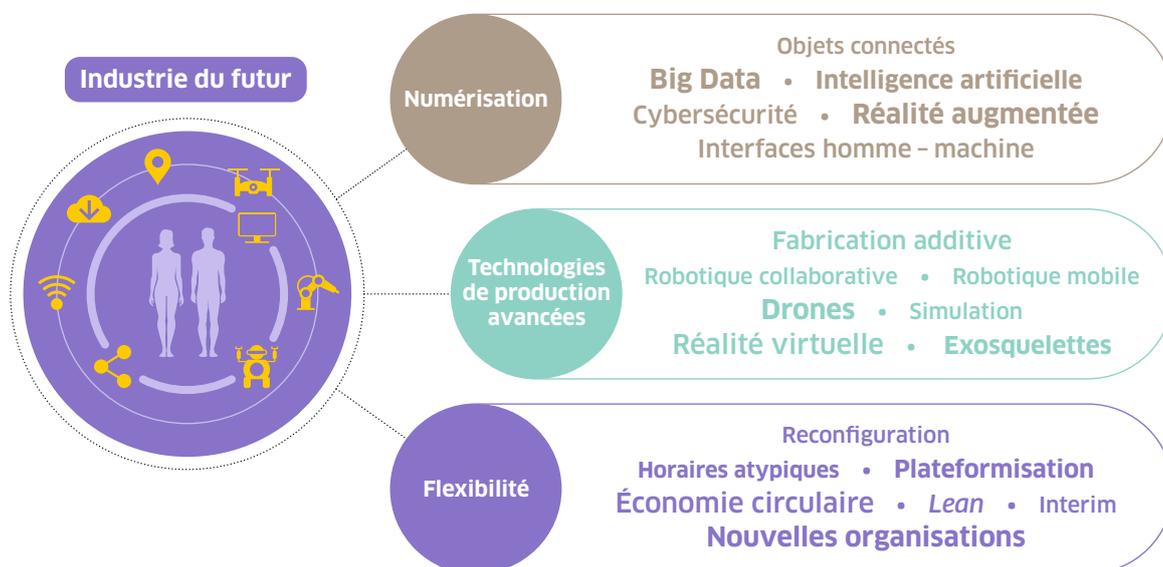
auparavant) pour protéger les parties du corps les plus sensibles comme la tête. Enfin, on peut supposer qu'en cas de contacts répétés, cette stratégie peut aussi générer de nouveaux risques physiques ou psychiques, du fait des mouvements des opérateurs pour éviter ces collisions ou de leur appréhension [2]. En conclusion de ce chapitre, les principaux enjeux liés aux évolutions technologiques vis-à-vis des PGP pourraient se résumer ainsi :

- éviter les risques (PGP n° 1), sans les déplacer ou en créer de nouveaux ;
- tenir compte de l'évolution de la technique (PGP n° 5) des systèmes de production, mais aussi des moyens de protection ;
- remplacer ce qui est dangereux par ce qui l'est moins (PGP n° 6), à condition de maîtriser totalement les risques de ces nouvelles technologies.

### Impacts de la flexibilité de la production sur l'application des PGP

L'effort d'ajustement, en temps réel, de la production en réponse aux exigences fluctuantes de la demande, se traduit par la mise en place de procédés de fabrication toujours plus flexibles.

Prenons l'exemple des procédés chimiques. On constate dans ce secteur une intensification des procédés avec, comme principal avantage, une amélioration de leur flexibilité. Si la conséquence souvent mise en avant est le passage de la production « batch »<sup>3</sup> à une production continue, il n'en demeure pas moins qu'il s'agit d'une « innovation de rupture », basée sur un ensemble de principes nouveaux : la miniaturisation et la structuration interne de procédés, l'apport d'énergie de façon atypique (microondes, champs électromagnétiques, ultrasons...), la multifonctionnalité et l'intégration de systèmes hybrides et, enfin, l'utilisation de régimes transitoires ou périodiques [3].



← FIGURE 1  
Les principaux axes de transformation concernés par l'industrie du futur.



Le point positif de cette évolution pour la prévention est que, sans oublier l'intérêt d'une augmentation de la productivité, les travaux initiaux dans ce domaine ont souvent vocation à améliorer la sécurité des procédés. Cependant, cette intensification induit plusieurs conséquences pour les opérateurs, qui peuvent perturber l'application des PGP.

Ainsi, avec le passage d'une production en réacteur « batch » à une production en continu, les conditions de travail dans les ateliers de production sont fortement modifiées et cela suscite souvent une réticence du personnel. En effet, il existe une forte culture traditionnelle du « batch » dans les entreprises. Si globalement les nouveaux procédés sont plus sûrs, ils présentent de nouveaux risques à intégrer et à évaluer, comme le fait de travailler avec des concentrations de produits plus élevées.

---

## POUR EN SAVOIR +

- *Dossier web INRS « Industrie du futur »* : [www.inrs.fr/inrs/themes-travail/industrie-du-futur/ce-qu-il-faut-retenir.html](http://www.inrs.fr/inrs/themes-travail/industrie-du-futur/ce-qu-il-faut-retenir.html).
  - *Décryptage* : « Industrie du futur, de quoi parle-t-on ? » paru dans *Hygiène & sécurité du travail*, 2018, 253, pp. 6-10. Accessible sur : [www.inrs.fr/media.html?refINRS=DC%2023](http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=DC%2023).
- 

Les systèmes hybrides devraient permettre la réalisation simultanée et dans un même appareil de plusieurs opérations unitaires auparavant découplées, comme la réaction, la séparation et l'échange de chaleur. La compréhension du fonctionnement de ces systèmes est loin d'être évidente et devient beaucoup plus complexe à appréhender par rapport aux anciens procédés, constitués d'opérations unitaires indépendantes. Une formation approfondie des opérateurs est alors indispensable, et les temps d'apprentissage et d'adaptation à ces nouveaux procédés doivent être pris en compte dans l'organisation du travail des opérateurs. Les nouveaux risques professionnels induits par ces systèmes ne sont pas toujours bien connus et sont donc difficiles à évaluer. En effet, si la littérature scientifique est abondante sur le sujet, il n'existe, à notre connaissance, aucun article sur les risques professionnels potentiels liés à ces technologies.

La flexibilité de la production (et des procédés de fabrication), qui représente l'un des grands avantages de l'intensification des procédés, passe également par des procédés de fabrication modulables et des productions à façon, de différents produits aux propriétés contrôlées, issus de matières premières différentes. La planification

de la prévention peut alors s'avérer compliquée à mettre en œuvre pour les entreprises et exposer les salariés à des risques, par manque de temps pour appréhender les systèmes ou produits qu'ils manipulent, et pour assimiler en profondeur les instructions appropriées à ces situations.

L'intensification de procédés peut aussi être obtenue par de nouvelles méthodes de productions chimiques : régime transitoire, cyclique ou pulsé, conditions extrêmes de températures et de pressions, voire de nouveaux milieux réactionnels liquides ioniques [4]. Bien qu'à ce jour, ces évolutions ne soient pas très répandues dans l'industrie, il convient dès à présent d'être vigilant sur les risques potentiels qu'elles présentent. La nécessité de repenser le management des risques industriels a déjà été en partie intégrée dans l'industrie, comme l'illustre l'une des conférences plénières du dernier symposium international *Loss Prevention and Safety* [5].

En complément des enjeux vis-à-vis de l'application des PGP cités au chapitre précédent, ceux liés à la notion de flexibilité peuvent donc se résumer ainsi :

- évaluer les risques (PGP n° 2) et planifier la prévention (PGP n° 7), malgré un contexte de changement permanent ;
- donner les instructions appropriées aux salariés (PGP n° 9), sans les surcharger et en leur laissant le temps de les assimiler.

## Impacts de la numérisation sur l'application des PGP

Les objets connectés et, plus généralement, l'intégration du numérique dans l'ensemble de la chaîne de production, sont au cœur de l'industrie du futur. Si l'objectif est de gagner en productivité, en efficacité et en flexibilité, les usages de ces outils numériques soulèvent aussi des questions vis-à-vis de l'application des PGP.

Certains usages des données numériques générées par ces systèmes interconnectés peuvent contribuer à améliorer la prévention des risques professionnels. Il est désormais envisageable de développer des systèmes intelligents capables de traiter un nombre très important de paramètres sur les procédés de fabrication et les ambiances physiques (bruit, rayonnements, substances chimiques, etc.) auxquels sont exposés les opérateurs, afin d'anticiper la survenue de situations dangereuses. Ces systèmes interconnectés facilitent aussi les démarches collaboratives et l'intégration de préventeurs dans les projets industriels. La numérisation des procédés de fabrication, les technologies d'information et de communication (TIC) et l'intelligence artificielle (IA) peuvent également conduire à la création de plateformes logicielles, pour mettre directement en relation



© Raphaël Chantalat pour l'INRS/2021

fabricants et acheteurs de produits industriels<sup>4</sup>. Comme cela a déjà été mis en évidence dans les secteurs de la publicité ou du développement d'applications, plusieurs dizaines voire plusieurs centaines de personnes peuvent être mises en relation par un donneur d'ordre pour la réalisation d'un produit. Il en résulte une parcellisation des tâches réalisées par des travailleurs généralement indépendants qui ne bénéficient pas de la responsabilité d'un employeur pour la protection de leur santé et de leur sécurité. De récents travaux ont souligné que ce type d'organisation fragilise l'application de certains PGP comme ceux qui consistent à combattre les risques à la source, à planifier la prévention ou encore, à privilégier des mesures de protection collective [6].

Un autre enjeu vis-à-vis des PGP en matière de numérisation concerne l'utilisation à grande échelle d'objets connectés portés par les opérateurs, pour recueillir des données sur leurs activités (localisation, nombre de pas, posture, rythme cardiaque, etc.). Ces données peuvent à terme être mises en réseau, afin d'être exploitées collectivement dans un objectif de prévention des risques

professionnels. Toutefois, le risque est de résumer l'analyse de l'activité des opérateurs, complexe par essence, à une combinaison d'indicateurs mesurables issus de ces capteurs, sans oublier les risques associés à la négligence vis-à-vis de la protection des données individuelles. Face à la complexité de cette mise en réseau, il est nécessaire d'être vigilant sur le fait que la généralisation de ces objets connectés ne conduise pas, à court et moyen termes, à privilégier une approche individuelle de la prévention des risques professionnels au détriment de l'approche collective. Ainsi, sans un traitement collectif approprié et régulier de ces données pour adapter l'activité et les mesures de prévention, le retour d'informations fourni immédiatement à l'opérateur à partir de ces capteurs pourrait implicitement lui adresser le message que c'est avant tout à lui de trouver les moyens de se préserver [7].

Nous retiendrons donc vis-à-vis de cet axe sur la numérisation que les principaux enjeux pour l'application des PGP sont de :

- donner la priorité aux mesures de protection collective (PGP n° 8), en évitant de généraliser les mesures de protection individuelle ;



- planifier la prévention (PGP n° 7) et de combattre les risques à la source (PGP n° 3), malgré les difficultés à remonter à ce niveau.

### Conclusion

Comme nous venons de le voir au travers de quelques exemples, les évolutions portées par le paradigme de l'industrie du futur (ou industrie 4.0) peuvent complexifier l'application des principes généraux de prévention.

En effet, portée par les évolutions technologiques et numériques, la recherche de systèmes de production toujours plus flexibles se traduit par des changements fréquents de configuration des outils de production et de l'organisation du travail. Cela engendre une variabilité des situations, qui nécessite une évaluation des risques plus fréquente. Une obsolescence rapide de cette évaluation, et par conséquent des mesures de prévention, est donc prévisible. Il est également possible de voir s'installer une banalisation de cette évaluation des risques qui deviendrait superficielle et n'intégrerait pas les spécificités des évolutions. On retrouve le même type de difficulté vis-à-vis de la nécessité d'intégrer cette variabilité le plus en amont possible, alors que les données qui la caractérisent ne sont pas totalement connues à ce stade. La planification de la prévention, ainsi que la formation et la délivrance des instructions appropriées aux opérateurs, peuvent aussi être difficilement réalisables, si ces changements s'opèrent avec une contrainte temporelle élevée. Il en résulte des moyens plus importants et une mobilisation plus forte pour atteindre les objectifs visés par les principes généraux de prévention.

Un autre risque réside dans l'utilisation croissante d'objets connectés. Comme vu précédemment, cette évolution peut conduire à éloigner les acteurs de la prévention de la réalité du travail. Elle peut également amener à faire progressivement reposer la prévention sur l'opérateur lui-même et non sur l'employeur.

Par ailleurs, dès lors que, pour satisfaire aux exigences de productivité et de flexibilité, ces évolutions visent à multiplier les tâches réalisées par les opérateurs et à augmenter leurs performances (performances physiques avec les exosquelettes ou les robots collaboratifs, performances sensorielles et cognitives avec la réalité augmentée et/ou l'intelligence artificielle, etc.), la perspective d'opérateur « augmenté » ou « opérateur 4.0 » [8] nous amène à nous interroger sur l'application du principe d'adaptation du travail à l'homme. De qui s'agit-il : du salarié avec ses capacités intrinsèques ou d'un salarié avec des capacités « augmentées » ? La frontière est en effet très étroite entre une utilisation de ces

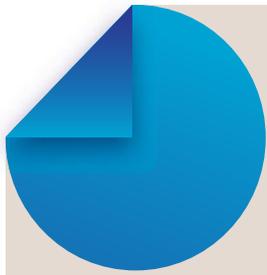
nouvelles technologies pour préserver la santé et la sécurité des salariés et celle qui aurait au contraire des effets négatifs, car elle viserait en priorité à travailler plus vite, à transporter plus de charges, à standardiser le travail, etc.

En conclusion, il est important de rappeler que les effets de transformations portées par l'industrie du futur sur l'application des PGP dépendent également des organisations dans lesquelles elles vont être déployées. De nombreux travaux issus des sciences humaines et sociales soulignent la nécessité d'intégrer les opérateurs en tant qu'acteurs à part entière de ces transformations, en les impliquant dans le choix des technologies, voire dans leur conception, sur la base de l'analyse de leurs besoins et de leur travail réel [9]. ●

1. Code du travail, art. L. 4121-1 et suivants ; directive n° 89/391/CEE : accessibles sur : [www.legifrance.gouv.fr](http://www.legifrance.gouv.fr) ; voir aussi : [www.inrs.fr/demarche/principes-generaux/introduction.html](http://www.inrs.fr/demarche/principes-generaux/introduction.html).
2. Accessible sur : <https://eur-lex.europa.eu/>.
3. Le « batch » correspond à un mode de production par lots.
4. C'est d'ailleurs cette crainte de l'irruption d'un géant de l'Internet dans le secteur industriel qui est à l'origine du concept d'industrie 4.0, en Allemagne, au début des années 2000.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] RONI-JUSSI HALME R.J. ET AL. – Review of vision-based safety systems for human-robot collaboration. *Procedia CIRP*, 2018, 72, pp. 111-116.
- [2] BUBLATZKY F., ALPERS G., PITTIG A. – From avoidance to approach: The influence of threat-of-shock on reward-based decision making. *Behaviour research and therapy*, 2017, 96, pp. 47-56.
- [3] GOURDON C. – Intensification des procédés. Fondamentaux et exemples d'industrialisation. *Techniques de l'ingénieur*, J7002 V1, septembre 2016.
- [4] CHARPENTIER J.C. – Intensification des procédés. Introduction. *Techniques de l'ingénieur*, J7000 V1, février 2016.
- [5] HOORELBEKE P. – Technological risk management and the 4<sup>th</sup> industrial revolution. *Intervention au 16<sup>th</sup> International Symposium on Loss Prevention and Safety*, 16-19 juin 2019, Delft (Pays-Bas).
- [6] LEICHLÉ J. ET AL. – Restitution de l'exercice de prospective sur la plateforme 2027. *Références en santé au travail*, 2018, 254, TM 45, pp. 105-113. Accessible sur : [www.rst-sante-travail.fr](http://www.rst-sante-travail.fr).
- [7] DÉCRYPTAGE – *Les objets connectés*. INRS, 2018, ED 8000, 4 p. Accessible sur : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr).
- [8] ROMERO D., ET AL. – Towards an operator 4.0 typology: a human-centric perspective on the fourth industrial revolution technologies. In: CIE46 Proceedings, octobre 2016, Tianjin (Chine), pp. 29-31.
- [9] LANCERY A. – *Analyse du travail*. In: VALLERY G. et al. (éds) – *Psychologie du travail et des organisations : 110 notions clés*. Dunod, 2019, pp. 45-49.



# Les fiches HST

## COMMENT UTILISER L'OUTIL « AGIR SUITE À UN ACCIDENT DU TRAVAIL » ?

L'INRS, en collaboration avec l'Assurance maladie – Risques professionnels, a développé un outil pour aider les entreprises à identifier les causes d'un accident du travail et à déployer des actions correctives pour éviter qu'il ne se reproduise.

### Quelles sont les étapes pour réaliser cette analyse ?

L'accident du travail (AT) ne doit pas être considéré comme une fatalité. Il est souvent révélateur de dysfonctionnements. C'est pourquoi il est important de l'analyser. L'analyse permet de développer des connaissances sur la réalité des situations de travail de l'entreprise, d'identifier les causes de l'accident, de mettre en œuvre des actions correctives et d'améliorer les dispositifs de prévention en place, afin de garantir la santé et la sécurité de l'ensemble des salariés. Analyser un accident implique de s'y arrêter, y réfléchir,

agir en conséquence, et prendre le temps d'en tirer les enseignements pour éviter son renouvellement.

L'outil « Agir suite à un accident du travail » propose de procéder en plusieurs étapes (Cf. Figure 1).

### Préalable à l'utilisation de l'outil

Il est recommandé de télécharger un guide d'enquête. Ce guide permet, en suivant les questions posées, classées par thème, de recueillir les éléments liés aux circonstances et aux événements qui se sont déroulés au moment de l'accident (Cf. Figure 2). Récouter ces informations avant d'utiliser l'outil est un gage d'efficacité.

Attention, une enquête d'accident doit être menée le plus tôt possible après sa survenue. Le guide d'enquête peut être utilisé indépendamment de l'outil.

**inrs** Santé et sécurité au travail

### Agir suite à un accident du travail

Destiné aux entreprises de moins de 50 salariés, cet outil propose une aide pour mettre en place des actions correctives suite à un accident du travail, afin qu'il ne se reproduise pas.

Chaque accident est particulier et un outil comme celui-ci ne peut traiter l'ensemble des accidents possibles. Vous avez donc la possibilité d'ajouter dans l'outil des causes spécifiques et d'associer à ces causes des mesures de prévention adaptées à votre situation.

Ces actions s'inscrivent dans une démarche globale de prévention des risques professionnels et pourront venir alimenter le plan d'actions de votre Document unique d'évaluation des risques professionnels.

Avant d'utiliser l'outil en ligne, il est nécessaire d'effectuer une enquête sur les circonstances de l'accident survenu dans votre entreprise. Pour ce faire, vous pouvez télécharger le guide d'enquête proposé dans la barre de menu de l'outil.

Attention, si vous quittez une évaluation en cours sans enregistrer vos données, elles seront perdues.

- Commencer**  
Indiquez quand et dans quel contexte a eu lieu l'accident
- Identification des causes**  
Identifiez les causes qui ont pu participer à la survenue de l'accident
- Mesures correctives**  
Indiquez les mesures à mettre en place pour éviter qu'un tel accident ne se reproduise
- Plan d'actions**  
Téléchargez votre plan d'actions

↑ FIGURE 1 Page d'accueil de l'outil.

**inrs** Guide d'enquête d'un accident du travail

### Organisation du travail

Recherchez les causes directement liées à la survenue l'accident en lien avec l'organisation du travail, sa préparation, la coordination des intervenants et les méthodes de travail mises en œuvre au moment de l'accident.

Les ressources à votre disposition pour cette rubrique sont les suivantes :

- "ED 126 - Constituer des fiches de poste - Fiche pratique de sécurité"
- Démarche de formation et d'information : ce qu'il faut retenir
- "ED 6298 - La formation à la sécurité - Obligations réglementaires et recommandations"
- "ED 941 - Intervention d'entreprises extérieures - Aide-mémoire pour la prévention des risques"
- L'essentiel sur les violences externes

- 1/ Le travail avait-il été préparé ?
- 2/ La victime ou l'équipe gérait-elle un imprévu ou un problème ?
- 3/ Les consignes pour effectuer le travail en sécurité ont-elles été données ?
- 4/ La tâche a-t-elle été effectuée sans les autorisations/habilitations nécessaires (électrique / conduite) ?
- 5/ L'échange d'informations avec l'encadrement ou entre les salariés a-t-il été suffisant ?
- 6/ La victime était-elle en déplacement ou en intervention dans une autre entreprise ?
- 7/ La coordination SPS des intervenants était-elle prévue (chantier BTP) ?
- 8/ Une entreprise extérieure intervenait-elle dans vos locaux au moment de l'accident ?
- 9/ La victime a-t-elle été confrontée à une agression, à de la violence ?
- 10/ Comment étaient le rythme et la charge de travail au moment de l'accident ?

Vos observations :

↑ FIGURE 2 Guide d'enquête.



↑ FIGURE 3 Capture d'écran de l'outil : contexte de l'AT.

## Mode d'emploi

**Étape 1** – Décrire le contexte de l'accident : un espace est réservé pour décrire l'accident et les éléments identifiés lors de l'enquête (Cf. Figure 3).

**Étape 2** – Identifier les causes de l'accident, en s'appuyant sur les cinq thèmes suivants afin de balayer l'ensemble des caractéristiques de la situation et du fonctionnement de l'entreprise au moment de l'accident (Cf. Figure 4). Ces thèmes concernent :

- **L'organisation du travail** : la préparation de l'activité, l'organisation de la co-activité, l'existence de consignes...
- **La victime** : son ancienneté, sa formation, ses compétences...
- **L'activité, la tâche réalisée** : ce qui était fait au moment de l'accident, tel que la conduite d'un engin, une opération de maintenance, une manutention manuelle...
- **Le milieu, l'environnement de travail** : la localisation de l'accident, les caractéristiques de cet environnement de travail (éclairage, bruit, poussière...).
- **Les produits, matériels utilisés** : ce qui était utilisé au moment de l'accident : produits chimiques, équipements (outils, matériels, machines, engins...), moyens de protection mis en œuvre.

Pour chaque thème, une liste de causes est proposée. Dans le dernier onglet, il est possible d'ajouter des causes qui ne sont pas proposées dans l'outil.

**Étape 3** – Sélectionner les mesures correctives : pour chacune des causes retenues, plusieurs mesures correctives simples et concrètes sont proposées (Cf. Figure 5).

**Étape 4** – Télécharger le plan d'actions : au terme de la démarche, ces mesures correctives sont à structurer en plan d'actions (Cf. Figure 6). L'outil propose un modèle disponible en téléchargement.

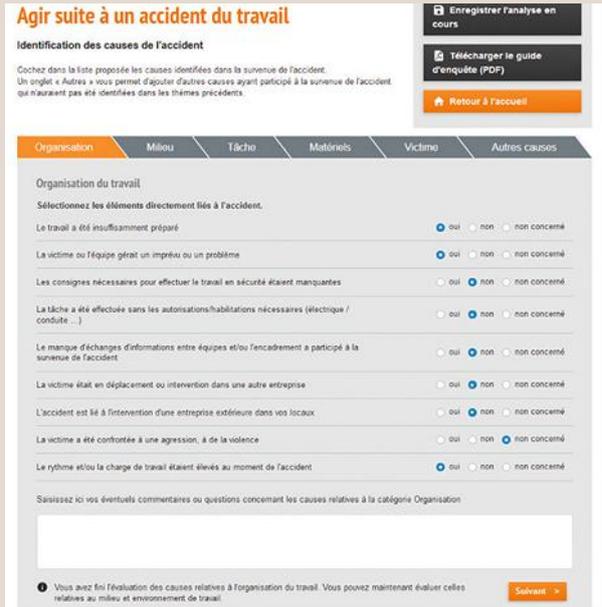
## Quels enseignements tirer de cette analyse ?

Les actions choisies et détaillées dans le plan d'actions sont alors à mettre en place par l'entreprise.

Ces actions s'inscrivent dans une démarche globale de prévention des risques professionnels et pourront alimenter le Document unique d'évaluation des risques professionnels et son plan d'action.

L'analyse des accidents du travail est un élément important pour agir en prévention des risques professionnels. L'outil est anonyme et accessible librement depuis le site Internet de l'INRS.

Aucune donnée n'est conservée par l'INRS. ●



↑ FIGURE 4 Capture d'écran de l'outil : causes de l'AT.



↑ FIGURE 5 Capture d'écran de l'outil : mesures correctives.



↑ FIGURE 6 Capture d'écran de l'outil : plan d'actions.

## POUR EN SAVOIR PLUS

- Télécharger et mettre en œuvre l'outil « Agir suite à un accident du travail » : [www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil82](http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil82).

**Conception-rédaction** : Olivier LE BERRE, Jennifer CLERTÉ, INRS, département Études, veille et assistance documentaires, et Anne-Sophie VALLADEAU, INRS, département Expertise et conseil technique.