



Dossier

LA MESURE DES EXPOSITIONS AUX AGENTS CHIMIQUES : TECHNIQUES ET OUTILS

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

P. 20

❷ Les contraintes de la mesure
des expositions aux agents
chimiques

P. 26

❸ Les techniques de mesure

P. 32

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

P. 40

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

MEASUREMENT OF EXPOSURE TO CHEMICAL RISK: TECHNIQUES AND TOOLS -

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

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

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

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

**BRUNO
COURTOIS**
INRS,
département
Expertise
et conseil
technique

**NADIA
NIKOLOVA-
PAVAGEAU**
INRS,
département
Études et
assistance
médicale

**PHILIPPE
DUQUENNE**
INRS,
département
Ingénierie
des procédés

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

En France, l'employeur est responsable de la santé et de la sécurité de ses salariés (d'après le Code du travail). Par conséquent, il doit mettre en œuvre une démarche de prévention des risques. À travers la coordination de ses différentes équipes, il met en place les moyens nécessaires à la préservation de la santé physique et mentale de tous ses salariés. Les obligations générales de l'employeur découlent des articles L. 4121-1 et suivants du Code du travail et reposent sur les neuf principes généraux de prévention (Cf. Encadré 1).

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

Évaluation du risque chimique

L'évaluation du risque chimique (ERC) a pour objectif d'identifier les risques liés à l'exposition des salariés à des produits chimiques et d'évaluer le niveau de risque correspondant. Pour les substances utilisées délibérément, en plus de la dangerosité des

produits et de leur concentration dans le mélange, l'évaluation doit prendre en compte leur volatilité. Au niveau européen, une réglementation existe pour l'étiquetage des produits chimiques (Règlement (CE) n° 1272/2008 CLP – *Classification/Labelling/Packaging*) qui permet d'en connaître les dangers. Différents outils sont proposés pour aider les entreprises dans cette démarche d'ERC. Par exemple, l'INRS a mis en ligne l'outil Seirich¹. Cet outil, tout en s'adaptant au niveau d'expertise de l'utilisateur, permet d'évaluer le risque chimique : modéré, élevé ou très élevé. Les résultats obtenus avec Seirich peuvent être complétés par des informations rétrospectives d'évaluation des expositions, disponibles par exemple dans la base de données Solvex², mais aussi par l'expertise et par la connaissance des postes de travail. Le résultat final de l'évaluation du risque chimique est ensuite utilisé pour hiérarchiser les

ENCADRÉ 1 LES NEUF PRINCIPES GÉNÉRAUX DE PRÉVENTION (« PGP »)

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



© Grégoire Maisonneuve pour l'INRS/2017

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

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

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

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

L'évaluation des expositions des travailleurs

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

voie respiratoire (inhalation) et par contact cutané ou avec les muqueuses.

Le respect d'une VLEP ne signifie pas systématiquement l'absence de risque³ et doit être considéré comme un objectif minimal. Une VLEP a pour intérêt de protéger les travailleurs, en limitant l'apparition d'effets négatifs pour leur santé au regard de l'agent chimique concerné. C'est une valeur moyenne pondérée sur sa période de référence qui ne doit jamais être dépassée. Les périodes de référence sont généralement établies sur huit heures (VLEP-8h), pour protéger les travailleurs des effets à moyen ou long terme, mais elles peuvent également l'être sur des périodes plus courtes ou sur des pics de concentration (VLEP - court terme, généralement sur 15 minutes), permettant de prévenir les risques d'effets toxiques immédiats ou à court terme.

Cinq directives européennes⁴ définissent les listes des VLEP harmonisées pour 156 substances chimiques. En parallèle, la directive n° 2004/37/CE, concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérigènes ou mutagènes au travail, fixe des VLEP contraignantes (les États membres ne peuvent fixer des valeurs plus élevées dans leur propre réglementation). En ce qui concerne les agents cancérigènes

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



ENCADRÉ 2 BREF HISTORIQUE DES VLEP

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

Le dispositif européen de fixation des VLEP

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

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

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

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

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

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

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

a. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil65>.

b. CLP : classification, emballage et étiquetage des substances chimiques.

Voir : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206207>.

ou mutagènes, en 2017 et 2019, trois directives⁵ ont défini des VLEP qui concernent 27 agents chimiques. Pour celles de 2019, les dates limites de transposition étaient les 16 janvier et 11 juillet 2021. En France, elles sont reprises sous forme de VLEP réglementaires (Cf. Encadrés 2 et 3).

D'autres VLEP dites « admises » existent pour plusieurs centaines d'agents chimiques : elles proviennent notamment de valeurs établies par l'*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*

(ACGIH⁶, États-Unis) et ont été publiées dans des circulaires par le ministère chargé du Travail de 1982 à 1996, sans analyse scientifique de la méthode employée pour leur élaboration.

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

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

L'enjeu de la variabilité des mesures atmosphériques

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

Les objectifs de la surveillance biologique des expositions professionnelles

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

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



© Grégoire Maisonneuve pour l'INRS/2011

dans les tissus, les excréta, les sécrétions ou l'air expiré des travailleurs exposés, pour évaluer l'exposition et les risques pour la santé, en comparant les valeurs mesurées à des références appropriées ». Les paramètres mesurés sont appelés indicateurs biologiques d'exposition (IBE) et les références utilisées pour interprétation du résultat de l'IBE, valeurs biologiques d'interprétation (VBI). Réglementairement, la mesure d'un IBE est un examen complémentaire, qui peut être prescrit par le médecin du travail⁷. L'objectif premier de la SBEP est, comme pour la mesure des concentrations dans l'air des lieux de travail, l'évaluation des expositions des travailleurs. Elle a pour avantage de rendre compte de la dose réellement absorbée par les travailleurs. En effet,

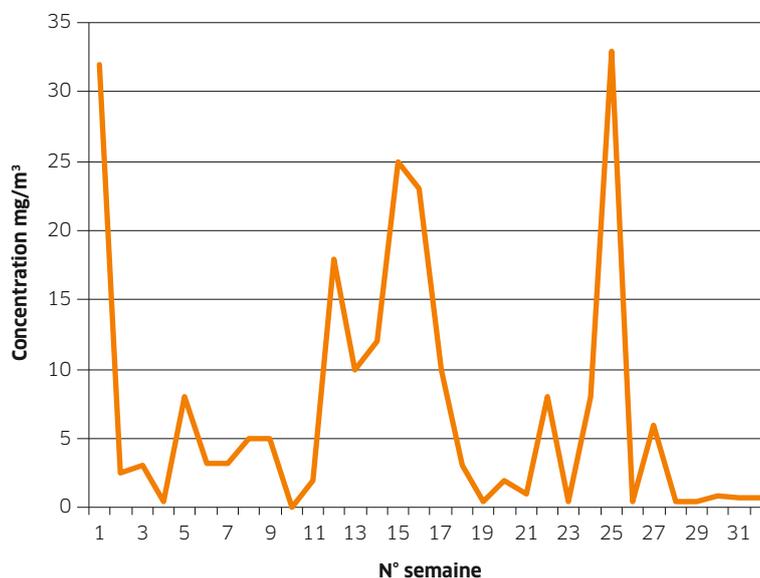
la SBEP prend en compte toutes les voies d'absorption, ce qui est important en particulier lorsque les voies cutanée et/ou digestive contribuent à la dose absorbée, en plus de la voie respiratoire : exposition à des composés bien absorbés par voie percutanée (mention « peau » ou « risque de passage percutané » accompagnant certaines valeurs limites d'exposition professionnelle proposées par différents organismes), exposition à des aérosols d'oxydes ou de sels métalliques (absorption digestive du fait du non-respect des mesures d'hygiène ou après déglutition secondaire des particules déposées dans la partie supérieure de l'arbre respiratoire). Réglementairement, lors de l'appréciation du risque lié aux agents CMR, « toutes les expositions susceptibles de mettre en dan-

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

ENCADRÉ 3 LES CMR

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

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



ger la santé ou la sécurité des salariés doivent être prises en compte, y compris l'absorption percutanée ou transcutanée »⁸.

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

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

Par ailleurs, elle contribue au suivi individuel de l'état de santé des travailleurs exposés au plomb et à ses composés. Le Code du travail prévoit un suivi

individuel renforcé, en fonction notamment du niveau de la plombémie et fixe pour celle-ci une valeur limite biologique à ne pas dépasser⁹.

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

Les objectifs de la mesure de la contamination des surfaces

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

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

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

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

Des protocoles encadrant ces mesures sont actuellement disponibles ; un grand nombre d'entre elles sont rassemblées dans la base de données MétroPol, développée par l'INRS¹⁰. Cependant, en l'absence de valeurs de référence, l'utilisation des données est, pour l'heure, pédagogique et essentiellement vocation à sensibiliser sur les expositions potentielles. Ainsi, certains travailleurs peuvent ne

POUR EN SAVOIR +

- **Articles du Code du travail** (notamment R. 4121-1, etc.) : accessibles sur : www.legifrance.gouv.fr
- **Directives européennes** : accessibles sur : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/>
- **Publications de l'INRS** : accessibles sur : www.inrs.fr :
 - VLEP ED 6443 : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206443>
 - Outil n° 65 : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil65>
 - CLP, ED 6207 CLP : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206207>
 - Dossier – La métrologie au service de la prévention du risque professionnel. *HST*, 2020, 260, pp. 22-56. Accessible sur : www.hst.fr
 - Dossier – Polyexpositions chimiques diffuses et massives : une réalité méconnue. *HST*, 2020, 261, pp. 30-82. Accessible sur : www.hst.fr
 - Rediffusion (« replay ») de la Journée technique de l'INRS « Surfaces contaminées », organisée le 8 avril 2021, sur la chaîne YouTube de l'INRS : www.youtube.com/playlist?list=PLqlw8IH6G3t1J19QuPeTlzThiLSDendSe
- **Outils et bases de données INRS** :
 - MétroPol : www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html
 - Seirich : accessible sur : www.seirich.fr
 - Solvex : accessible sur : www.inrs.fr/publications/bdd/solvex.html
 - MiXie France : accessible sur : www.inrs.fr/publications/outils/mixie.html
 - Biotox : www.inrs.fr/biotox

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

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

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

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

Conclusion

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

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

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

1. Accessible sur : www.seirich.fr.

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

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

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

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

6. Voir : www.acgih.org.

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

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

9. Art. R. 4412-152 du Code du travail. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr

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

À noter

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

LES CONTRAINTES DE LA MESURE DES EXPOSITIONS AUX AGENTS CHIMIQUES

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

BRUNO COURTOIS
INRS,
département
Expertise et
conseil technique

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

PHILIPPE
DUQUENNE
INRS,
département
Ingénierie
des procédés

NADIA
NIKOLOVA-
PAVAGEAU
INRS,
département
Études
et assistance
médicale

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

Qui réalise les prélèvements ?

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

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

Que faut-il mesurer ?

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

les agents chimiques dont la mesure de l'exposition peut avoir un intérêt, en fonction du niveau de risque évalué.

La plupart du temps, des mélanges incluant agents chimiques émis par les procédés et produits étiquetés sont identifiés au poste de travail. Bien qu'il ne soit généralement pas nécessaire de réaliser des mesures de l'exposition de tous les agents chimiques présents à un poste de travail, les expositions doivent néanmoins être prises en compte dans leur ensemble. Pour cela, un outil comme MiXie France² permet, quantitativement ou qualitativement, c'est-à-dire avec ou sans mesures, d'identifier le potentiel additif ou non des substances³. Par exemple, MiXie France informe que l'exposition conjointe à l'acétone et au toluène engendre un effet cumulé, puisque ces deux substances sont toutes les deux associées à la classe « *Atteintes du système nerveux central* ». À l'inverse, il précise qu'une exposition simultanée d'acétone et de silice cristalline n'induit pas d'effet cumulatif. Chaque situation est à étudier au cas par cas, afin de déterminer pour quels agents chimiques il y a un intérêt, pour la prévention, à réaliser des mesures d'exposition.

Au regard des 143 000 substances enregistrées dans l'inventaire Reach⁴, seulement environ 700 d'entre elles (soit 0,15 %) ont une VLEP et sont listées dans l'outil n° 65 de l'INRS⁵. Une recherche de valeurs de référence étrangères peut être engagée pour compléter les valeurs françaises, par l'intermédiaire de bases de données telles que Gestis⁶, développée par la DGUV (Allemagne), qui regroupe des VLEP provenant de 27 pays différents pour plus de 2 200 substances.

Dans le cadre de mesures menées dans une démarche de prévention, l'absence de VLEP ne doit pas être un frein. La mesure de l'exposition apporte une information que le préventeur doit savoir interpréter et utiliser, dans le but de réduire l'exposition des travailleurs à son plus bas niveau techniquement possible. La limite à laquelle il peut être confronté est l'absence de méthode visant à mesurer l'agent chimique concerné.

Quelle que soit la démarche engagée (prévention du risque ou vérification du respect de la réglementation – les deux n'étant ni contradictoires, ni exclusives), il est important d'avoir à l'esprit que l'on ne trouvera que ce que l'on cherche⁷. Pour cette raison, il ne faut pas se limiter à mesurer les agents chimiques disposant d'une VLEP.

Comment réaliser la mesure ?

Dans un contexte de prévention, le guide méthodologique MétroPol⁸ décrit la démarche à suivre pour la réalisation de prélèvements, en fonction de l'objectif recherché. Elle se construit en quatre étapes successives : l'élaboration d'une stratégie de prélèvement, la réalisation de la campagne de mesurages, l'analyse des échantillons et l'exploitation statistique des concentrations mesurées. Elle est adaptable à l'objectif visé. La constitution de groupes d'expositions similaires (appelés GES) est souvent nécessaire pour des raisons techniques, mais aussi économiques : il n'est pas possible de mesurer, tous les jours, tous les agents chimiques, sur tous les travailleurs.

La durée d'un prélèvement dépend de l'objectif visé. Lorsque celui-ci consiste à mesurer l'exposition d'un travailleur à un poste de travail, alors la durée du prélèvement doit être proche de la durée du poste de travail ou, *a minima*, suffisamment longue pour être représentative de l'exposition. Si l'objectif porte sur l'évaluation de l'exposition à une tâche particulière, alors la durée sera celle de la tâche. Comme cela a été évoqué précédemment, la mesure doit être représentative de l'exposition des travailleurs à leur poste de travail.

Lorsque l'objectif vise à répondre à ses obligations réglementaires, l'employeur doit respecter les dispositions décrites dans le Code du travail.

Dans tous les cas, ces mesures doivent être utiles à l'employeur, en lui permettant par exemple de revoir les conclusions de son évaluation des risques chimiques ou encore, le cas échéant, de planifier la périodicité des mesures à venir.

Enfin, pour l'interprétation des résultats des prélèvements, il est nécessaire de relever pour chaque poste de travail, et/ou chaque tâche, les paramètres susceptibles de déterminer ou d'influer sur l'exposition. Ces paramètres sont notamment :

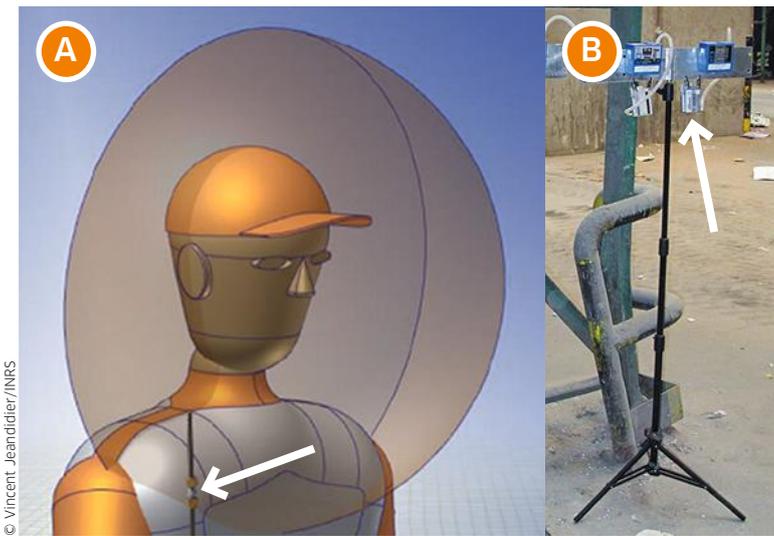
1. le lieu de travail défini s'il est en plein air, en espace confiné, en cabine..., l'existence d'une ventilation mécanique générale ;
2. les circonstances d'exposition caractérisées par le type de matériels utilisés, le type de procédé (ouvert, clos...), la fréquence d'exposition du travailleur, les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



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

© Gaël Kerbaol/INRS/2016





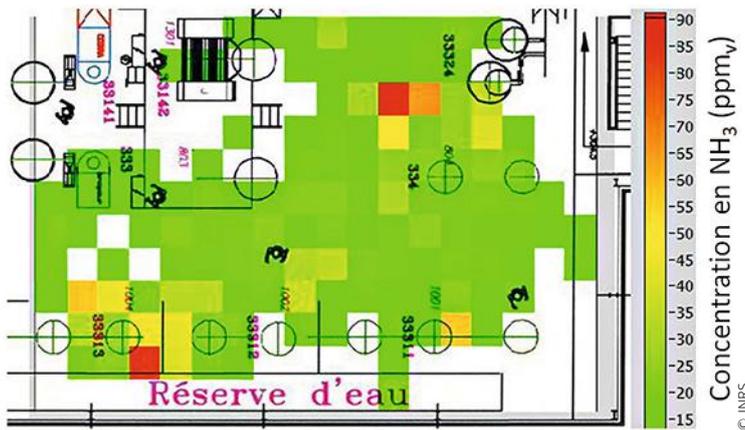
↑ FIGURE 1
Emplacement des dispositifs de mesure : pour A : prélèvement individuel et pour B : prélèvement d'ambiance à point fixe.

↓ FIGURE 2
Exemple de cartographie des concentrations ambiantes en polluant chimique dans l'air d'une zone de travail. L'exemple représente les concentrations en NH₃ dans une usine de méthanisation des déchets (atelier de presse) et la cartographie a été effectuée avec l'outil Dactari (Dispositif d'acquisition et de trajectographie pour l'analyse du risque individuel) [1].

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

Prélèvement d'ambiance ou individuel ?

Lorsque l'objectif est d'évaluer l'exposition à un poste de travail ou pour une tâche spécifique, il est nécessaire de réaliser des prélèvements individuels, chaque fois que ceux-ci sont possibles. Les prélèvements individuels permettent, en effet, de prendre en compte la gestuelle, le positionnement et les déplacements d'un travailleur. Ces prélèvements s'effectuent au niveau des voies respiratoires du travailleur comme l'indique la demi-sphère sur le schéma (Cf. Figure 1). Pour réaliser ce type de prélèvements, les travailleurs sont équipés de pompes et de dispositifs de prélèvement en fonction des agents chimiques à prélever. Les prélèvements d'ambiance, effectués le plus souvent à point fixe, peuvent être déployés pour



évaluer les concentrations dans différentes zones de travail de l'entreprise ou à différents postes de travail (Cf. Figures 1 et 2). Ces prélèvements sont préconisés notamment si l'on souhaite réaliser une cartographie spatiale ou spatiotemporelle des niveaux de concentration des agents chimiques d'intérêt à l'intérieur d'un atelier. Pour ce faire, les points de mesure sont positionnés en différents emplacements à l'intérieur de l'atelier, selon un maillage prédéfini, de manière à pouvoir évaluer les niveaux de concentration dans la zone investiguée. L'emploi de dispositifs de type trépied permet de positionner les appareils de mesure à hauteur des voies respiratoires.

La surveillance biologique des expositions professionnelles

Qui réalise les mesures ?

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

Que faut-il mesurer ?

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

En l'absence de VLB réglementaire, le médecin du travail peut s'appuyer sur les recommandations de bonne pratique pour la surveillance des expositions professionnelles aux agents chimiques de la Société française de médecine du travail [2]. Des VLB sont proposées, notamment par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) en France, et par le comité d'évaluation des risques (Rac) de l'Agence européenne des produits chimiques (Echa) en Europe. Le choix d'un IBE et de la ou les VBI scientifiquement validés pourra être guidé par la base de données Biotox de l'INRS¹⁰.

Comment réaliser la mesure ?

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

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

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

Prélèvement collectif ou individuel ?

Par définition, la SBEP est basée sur la réalisation de dosages biologiques individuels. Seul le travailleur concerné est informé du résultat individuel par le médecin du travail. Cependant, une campagne de SBEP peut être réalisée au niveau d'un collectif de travail, après constitution de groupes d'expositions similaires (GES). Elle donnera lieu à une res-

ENCADRÉ VALEURS BIOLOGIQUES D'INTERPRÉTATION (VBI)

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

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

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

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

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

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

a. Voir : Signification des principales valeurs biologiques d'interprétation (VBI). Accessible sur : www.inrs.fr/biotox

b. Voir : www.anses.fr/fr/content/les-valeurs-de-r%C3%A9f%C3%A9rence

c. Voir : <https://echa.europa.eu/oels-activity-list>

d. Voir : www.acgih.org

e. Voir : www.dfg.de/en/dfg_profile/statutory_bodies/senate/health_hazards/index.html

f. Voir : www.ttl.fi/en/service/biomonitoring/

titution et une interprétation anonyme et globale des résultats auprès de l'employeur et du collectif, en garantissant le respect du secret médical (art. R. 4412-51 du Code du travail).

La mesure de la contamination des surfaces

Qui réalise les mesures ?

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





© Serge Marillon/INRS/2016

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

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

Que faut-il mesurer ?

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

Comment réaliser la mesure ?

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

Ils doivent être effectués dans un environnement de travail représentatif des conditions de travail quotidiennes des travailleurs. Tout nettoyage inhabituel préalablement aux phases de prélèvements est donc à éviter, sous peine de sous-éva-

luation des contaminations surfaciques habituelles, et donc des expositions réelles.

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

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

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

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

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

Les prélèvements sur des surfaces d'équipements ou de locaux peuvent être réalisés en gardant à l'esprit l'objectif de prévention lié à ces mesures. Ainsi, la stratégie et le choix des zones d'intérêt prioritaire pour les prélèvements doivent être établis en fonction de l'activité des travailleurs et des zones ou surfaces les plus potentiellement concernées par des contacts (outils, manettes, claviers d'ordinateurs par exemple). Il est également possible de cartographier un atelier entier ou une machine en particulier. Dans le premier cas, une approche par maillage se révèle adaptée. Pour une analyse plus localisée, la stratégie peut également être basée sur un maillage, mais plus resserré, ou sur des prélèvements concentriques, permettant d'évaluer la dispersion de la pollution en fonction de la distance à la source.

Des prélèvements sur la peau des travailleurs peuvent également être réalisés, en général sur les mains, les avant-bras ou certaines parties du visage et du cou. Ils ont pour objectif de mettre en évidence des contaminations par des agents chimiques, qui possèdent une capacité de passage à travers la peau significative, ou peuvent conduire à des expositions digestives par l'intermédiaire des mains, au contact du tractus digestif. Les résultats de ces prélèvements peuvent être utilisés pour l'évaluation des risques ou dans un but pédagogique, vis-à-vis des travailleurs, des managers, des décideurs ou encore des responsables HSE.

Conclusion

Les contraintes relatives à la réalisation des mesures relèvent de différents domaines. Les prélèvements atmosphériques sont fortement contraints par des décennies d'études et recherches internationales ayant débouché sur une littérature riche [3], des bonnes pratiques¹², des textes normatifs [4] et réglementaires. En conséquence, la démarche est bien encadrée. La surveillance biologique

des expositions professionnelles est une méthode moins ancienne. La principale limite à sa mise en place est le nombre encore relativement peu élevé d'indicateurs biologiques d'exposition validés par des données scientifiques et de valeurs biologiques d'interprétation disponibles, mais c'est un domaine en plein développement. Même si elle s'appuie sur des dosages biologiques individuels, elle constitue également un outil de surveillance collective des expositions, permettant d'identifier des priorités en termes de prévention et d'évaluer l'efficacité des mesures entreprises. Enfin, concernant l'exposition surfacique, les pratiques n'étant pas pleinement stabilisées, le caractère contraignant provient davantage du manque de maturité de ce domaine et de l'absence de valeurs de référence. En dépit de toutes les limites recensées, les mesures atmosphériques, biométriologiques et surfaciques restent les méthodes les plus fiables pour objectiver les expositions professionnelles à un danger provenant d'un produit chimique. ●

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

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

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

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

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

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

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

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

9. Voir : www.legifrance.gouv.fr

10. Voir : www.inrs.fr/biotox

11. Voir : www.legifrance.gouv.fr

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

BIBLIOGRAPHIE

[1] GALLAND B., DIRRENBERGER P., GERARDIN K., LEVILLY R., MARTIN P., DUQUENNE P. – Analyse spatio-temporelle des expositions professionnelles aux agents chimiques et biologiques. *Hygiène & sécurité du travail*, 2020, 260, pp. 50-56. Accessible sur : www.hst.fr

[2] SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MÉDECINE DU TRAVAIL (SFMT) – Surveillance biologique des expositions professionnelles aux agents chimiques. Recommandations de bonne pratique. *Références en santé au travail*, 2016, 146, pp. 65-93.

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

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

LES TECHNIQUES DE MESURE

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

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

BRUNO
COURTOIS
INRS,
département
Expertise
et conseil
technique

NADIA
NIKOLOVA-
PAVAGEAU
INRS,
département
Études et
assistance
médicale

PHILIPPE
DUQUENNE
INRS,
département
Ingénierie
des procédés

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

1. L'élaboration d'une stratégie de prélèvement : elle s'appuie sur les conclusions de l'évaluation du risque chimique (ERC) et doit être élaborée après consultation de l'employeur, du médecin du travail ou du service de santé au travail et des instances représentatives du personnel. De nombreuses sources d'informations nécessaires à sa réalisation sont disponibles. Par exemple, la base Solvex¹, disponible sur le site de l'INRS, regroupe plus de 703 000 résultats d'exposition professionnelle pour 343 agents chimiques appartenant à différentes familles de substances utilisées en milieu de travail : composés organiques volatils tels que les isocyanates, composés organiques semi-volatils tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), aérosols, silice, métaux, acides, bases, etc. Cette base peut apporter de la connaissance *a priori* sur les niveaux d'exposition par situation de travail. Pour mener à bien l'élaboration de la stratégie, la visite de l'établissement est une étape incontournable, notamment pour connaître l'organisation et la description des postes de travail, disposer des éléments nécessaires permettant d'expliquer les variations des niveaux d'exposition en polluants au cours d'une journée, entre différentes journées ou différents travailleurs, afin de pouvoir définir les groupes d'expositions similaires (GES). Ces GES sont des ensembles de travailleurs effectuant des tâches similaires et exposés à des niveaux comparables pour des mêmes agents chimiques.

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

3. L'analyse des échantillons : elle est réalisée par un laboratoire spécialisé. Certains laboratoires sont accrédités pour l'analyse de l'air des lieux de tra-

vail, d'autres sont spécialisés pour les échantillons biologiques et certains sont multicompétents.

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

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

Mesure dans l'air des lieux de travail

La stratégie de prélèvement

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



© Serge Morillon/INRS/2019

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

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

Concrètement, les informations pertinentes, en particulier la partie dédiée au risque chimique du document unique d'évaluation des risques, doivent d'abord être collectées. En complément, toutes autres informations utiles améliorant la connaissance du secteur d'activité, caractérisant les substances chimiques potentiellement présentes sur le lieu de travail ou encore décrivant l'activité et son organisation, sont également à recenser. Sur cette base documentaire, une visite initiale, en suivant le sens de la fabrication, doit servir à recenser les lieux et/ou postes de travail qui doivent faire l'objet d'un prélèvement. Lorsque cela s'applique, la stratégie définit en particulier les GES. Pour finir, un plan de prélèvement décrivant précisément l'organisation

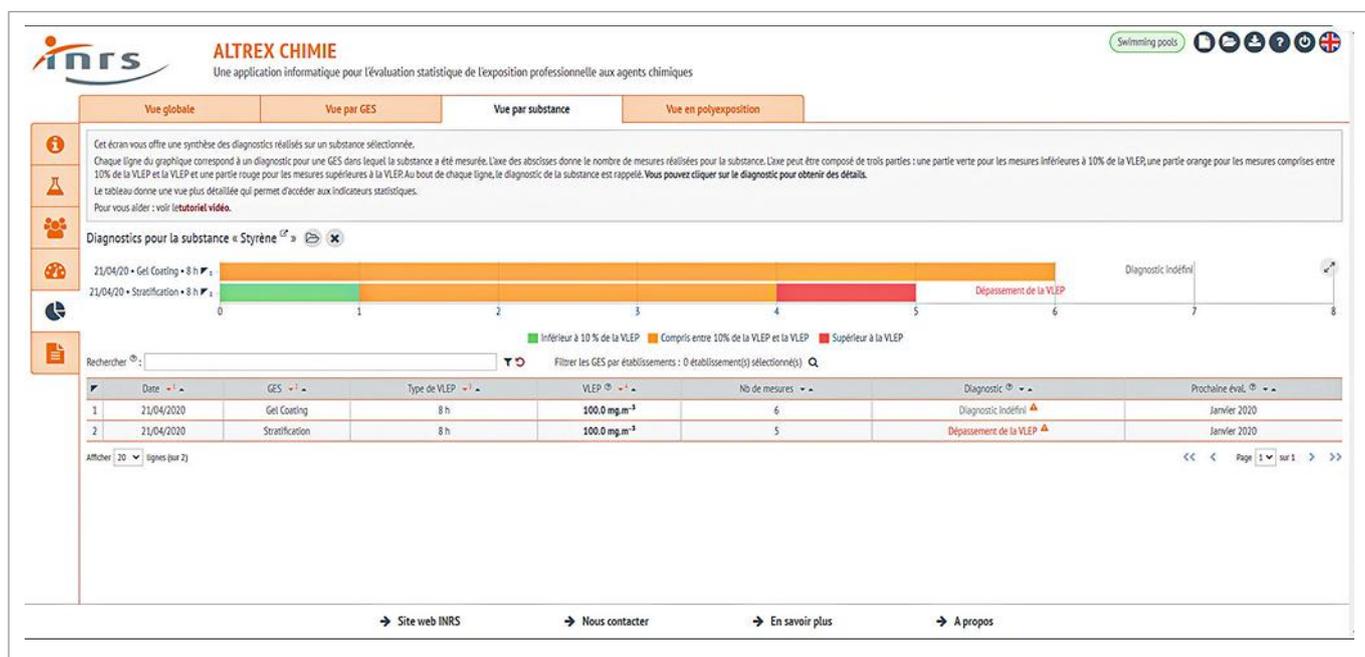
des prélèvements est élaboré. Il sert alors de « feuille de route » aux équipes en charge de la réalisation des prélèvements. Le nombre de mesures par GES selon les situations est préconisé dans la norme EN 689 [1], il y en a au minimum est trois, s'ils répondent à certains critères. Plus petit est le nombre total de prélèvements, plus difficile est l'interprétation des résultats car ils ne seront pas suffisamment représentatifs de la diversité des situations rencontrées dans le GES. Six mesures permettent de réaliser des calculs prenant en compte cette diversité. Entre neuf et douze mesures, les résultats calculables sont fiables. Il ne semble en contrepartie pas acquis qu'un grand nombre de prélèvements autorise une interprétation plus fiable [2].

Le prélèvement

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

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





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

de méthodes de mesure éprouvées sur le terrain, offre toutes les informations indispensables sur cette étape². Le prélèvement, qui peut être actif (à l'aide d'une pompe), passif (avec un badge) ou encore en temps réel (avec un analyseur en continu), consiste à récolter une quantité définie d'air des lieux de travail sur, ou à travers, un dispositif de prélèvement. Selon le type de dispositif, les agents chimiques contenus dans l'air seront piégés dans le support, avant d'être analysés par un laboratoire ou *in situ*. Certains dispositifs permettent de capter plusieurs agents chimiques en même temps³. Pendant que le prélèvement s'opère sur le terrain, il est indispensable de surveiller les opérations réalisées dans l'environnement de travail, afin de recueillir les informations liées à l'activité du travailleur ou de reporter des faits notables susceptibles d'influencer la mesure (notamment, un dysfonctionnement ou des projections de produit). En effet, il est possible que des valeurs de mesures inhabituelles soient observées lors de la phase d'interprétation et il est indispensable de pouvoir les expliquer. Par exemple, une pompe peut s'arrêter de fonctionner et fausser le prélèvement. C'est le rôle d'un technicien expérimenté de mettre en place les appareils, de suivre leur fonctionnement tout au long de la période, et de finaliser l'opération de prélèvement.

L'analyse

Une fois les prélèvements terminés, les échantillons sont conditionnés et transmis à un laboratoire spécialisé et accrédité si nécessaire⁴, c'est-à-dire lorsqu'ils sont effectués dans un cadre réglementaire, pour être analysés afin de déterminer la nature et la quantité d'agents chimiques piégés. Le résultat d'analyse est

la concentration moyenne sur la durée de prélèvement, pour un ou plusieurs agents chimiques. Le résultat peut être inférieur à la limite de détection (l'agent chimique recherché est en quantité trop faible pour être détecté par les appareils d'analyse) ou inférieur à la limite de quantification (l'agent est détecté, mais sa quantité est trop faible pour être déterminée précisément). Sur un rapport d'analyse, la limite de quantification doit être indiquée par le laboratoire.

L'interprétation

La concentration mesurée est le rapport entre la quantité de polluant dosé lors de l'analyse (généralement exprimée en milligrammes) et le volume d'air prélevé (exprimé en mètres cubes) [mg.m⁻³]. La valeur de la concentration peut être estimée en pondérant la concentration moyenne mesurée sur la durée de prélèvement par le facteur de protection assignée de l'équipement de protection respiratoire porté le jour du prélèvement par le travailleur, sous réserve que son emploi soit justifié (ultime solution pour réduire le risque, en l'absence d'autres mesures disponibles), effectif et qu'il soit efficace⁵ [3]. Les résultats pour chaque substance doivent ensuite être interprétés à partir d'indicateurs statistiques calculés, qui permettent de conclure sur le niveau et la variabilité des concentrations. Le type d'indicateurs dépend du nombre de mesures disponibles. Lorsqu'il y a moins de trois valeurs de mesure, on ne peut pas conclure. Lorsqu'il y a trois, quatre ou cinq mesures, alors on compare la valeur de mesure la plus élevée à une fraction de 10%, 15% ou 20% de la VLEP. Lorsqu'il existe six mesures ou plus, alors on réalise un calcul statistique visant à calculer la probabilité que la concentration mesurée dépasse la VLEP.

Analyse de la situation de travail

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Dans tous les cas, la périodicité à laquelle de nouvelles mesures devront être réalisées est déterminée à partir des résultats et de leur nombre. Le calcul de la probabilité de dépassement de la VLEP étant l'indicateur le plus fiable, il convient dans un premier temps de disposer d'au moins six mesures. Ensuite, plus la probabilité est faible, plus les prochaines mesures seront réalisées tardivement. Les détails de cette méthodologie sont expliqués dans la fiche MétroPol se rapportant à cette partie (modes opératoires pour l'interprétation des résultats)⁶, qui elle-même s'appuie sur la réglementation française (cf. Article pp. 20 et suivantes) et la norme européenne EN 689 [1]. Pour aider le préventeur dans cette étape de calcul, il existe différents outils, comme l'outil en ligne Altrex Chimie⁷ qui permet de réaliser l'évaluation statistique de l'exposition professionnelle : il offre une liste de VLEP, une aide à la constitution des GES ; il permet de gérer les valeurs de mesure, de calculer les indicateurs et de générer des rapports (Cf. Figure 1).

Pour finir, les effets des agents chimiques sur l'organisme humain peuvent se cumuler, lorsque le travailleur est « polyexposé ». L'évaluation des polyexpositions doit être incluse dans les analyses selon, par exemple, la méthodologie décrite dans l'outil INRS MiXie-France⁸ (Cf. Figure 2).

Analyse du mélange

Mode d'affichage des résultats : SYNTHÉTIQUE COMPLET

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

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

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

Surveillance biologique des expositions professionnelles (SBEP)

La stratégie de prélèvement

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

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

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

La stratégie de SBEP est établie de manière à répondre aux objectifs définis. Une étape particulièrement importante est le choix de l'indicateur biologique d'exposition (IBE) pertinent à doser pour évaluer l'exposition à un agent chimique donné et du moment de prélèvement, à l'aide des informations fournies dans la base de données Biotox⁹. Le choix du moment de recueil des échantillons doit tenir compte de la toxicocinétique¹⁰ de l'IBE identifié, mais aussi des caractéristiques temporelles de l'exposition (par exemple, tâches exposantes ponctuelles) et être conforme au moment de prélèvement recommandé associé à la valeur biologique d'interprétation (VBI) retenue.

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

Le prélèvement

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

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

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

L'analyse

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

Dans un objectif d'assurer la qualité analytique, la loi n° 2013-442 du 30 mai 2013 a introduit pour les laboratoires une obligation d'être accrédités sur l'ensemble des examens de biologie médicale (art. L. 6221-1 du Code de la santé publique¹¹). Cette accréditation est délivrée par le Comité français d'accréditation (Cofrac) et repose sur la norme NF EN ISO 15189 [6].

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



© William Estève/INRS



© William Estève/INRS

← FIGURE 3
Gabarit
de prélèvement
surfacing

L'interprétation

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

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

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

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

Mesure des contaminants des surfaces

La stratégie de prélèvement

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



les contaminations surfaciques, le préventeur ne peut pas s'appuyer sur cet élément pour construire son plan de prélèvement et interpréter les résultats. L'objectif est ici aussi de constituer des échantillons de mesures représentatifs de la variabilité spatio-temporelle des concentrations surfaciques.

Ainsi, l'utilisation ou la génération d'un même polluant peut conduire à différents types de contamination. La sédimentation d'un aérosol grossier conduit plutôt à une contamination homogène des surfaces de travail, alors que d'autres activités ou d'autres procédés industriels peuvent générer des contaminations hétérogènes très localisées, liées par exemple à des projections. La prise en compte de cette variabilité spatiale est ici essentielle. De la même manière, l'activité sur un même site peut être amenée à varier d'un jour à l'autre, avec des pics ou des cycles d'activité distincts. De plus, pour une même activité les niveaux de contaminations varient au cours du temps en fonction des nettoyages ou décontaminations des lieux. À ce titre, il est indispensable de se renseigner sur les temps de fonctionnement des procédés émissifs et sur l'historique de l'activité ciblée préalablement à la réalisation des prélèvements.

La visite initiale de l'entreprise représente donc un élément essentiel dans la prise en compte de ces variations spatiotemporelles, dans la planification d'une campagne de mesure de polluants présents sur les surfaces. Cette visite permet de collecter des informations concrètes sur la réalité d'une activité, telles que l'organisation du travail, les procédés mis en œuvre, l'environnement général, les agents chimiques et leur quantité.

D'une manière générale, la stratégie définie dépend essentiellement de l'objectif de l'intervention. Celui-ci peut, par exemple, être d'ordre qualitatif, afin de dégager un message pédagogique de sensibilisation auprès des travailleurs. Le préventeur peut également proposer une approche plus quantitative, s'il souhaite, notamment évaluer l'évolution d'une contamination après des actions visant la réduction de l'exposition des travailleurs.

Enfin, le préventeur doit définir la portée de l'intervention et recenser les postes d'intérêt. L'approche est différente, notamment concernant la finesse de maillage, selon qu'un nombre restreint de postes est ciblé, ou l'ensemble d'un atelier. Sur la base de tous ces éléments, un plan de prélèvement que suivront les opérateurs en charge des mesures est élaboré.

Le prélèvement

Le prélèvement surfacique peut être effectué par essuyage ou par aspiration, selon la nature des polluants et des surfaces en présence. Ce choix est déterminé en amont, parallèlement à l'approche stratégique. Des méthodes de prélèvement et d'analyse sont disponibles, notamment dans la base

de données MétroPol, et peuvent être employées directement. Dans le cas où aucune méthode ne serait disponible pour un polluant spécifique, une méthodologie rigoureuse adaptée à la situation réelle du lieu où seront réalisés les prélèvements peut être mise en œuvre en suivant le protocole MétroPol. Concrètement, l'opérateur en charge des prélèvements utilise en général un gabarit de prélèvement évidé pour matérialiser la superficie du prélèvement. Cette superficie est communément un carré de 100 cm² (10 cm x 10 cm) (Cf. Figure 3). Une contrainte forte réside dans la nécessité de changer de gants et de nettoyer le matériel, notamment le gabarit, entre chaque prélèvement, afin d'éviter toute contamination croisée.

Les prélèvements surfaciques sont réalisés à un instant T et non sur une longue durée. Un résultat ponctuel n'est représentatif que de la contamination présente à ce moment précis, compte tenu de l'historique de l'activité régulière et éventuellement accidentelle, telle que des éclaboussures, depuis le dernier nettoyage.

Le résultat obtenu doit donc être analysé au regard du contexte au moment du prélèvement. Ainsi, comme pour les autres types de prélèvements, l'opérateur en charge des prélèvements doit donc observer en détail l'activité considérée, à la fois avant et au moment du prélèvement, pour évaluer qualitativement les façons d'opérer des travailleurs et les procédés mis en œuvre. Toutes ces informations sont ensuite essentielles pour l'interprétation des résultats.

L'analyse

Comme pour les prélèvements atmosphériques, les échantillons sont conditionnés dans des contenants adaptés et remis à un laboratoire pour analyse. Les résultats, initialement présentés en unité de polluant dosé masse par échantillon, sont généralement convertis en unité de masse par 100 cm². Les méthodes de préparation d'échantillons et d'analyse sont la plupart du temps semblables aux méthodes d'analyse d'échantillons atmosphériques. Des adaptations minimales de ces protocoles peuvent être apportées, telles que l'ajustement de la quantité de solvant pour une extraction optimale du support de prélèvement souvent plus volumineux (lingette, compresse, etc.), ou encore une modification des conditions d'extraction (durée, appareillage, etc.). Tout laboratoire spécialisé et/ou accrédité pour l'analyse des échantillons atmosphériques est en capacité technique de réaliser ces traitements analytiques.

L'interprétation

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

Cependant, cette absence de cadre réglementaire ne doit pas être un frein à la mise en place d'actions de réduction des expositions.

Dans une première approche, un système de référentiel de contamination par polluant ou famille de polluants et par activité pourrait être imaginé et déployé, à l'instar des référentiels existants pour la pollution intérieure. Selon un principe proche, il existe une méthode publiée dans le guide MetroPol¹² qui décrit une manière de déterminer une valeur guide interne à l'entreprise. Le principe consiste à fixer une valeur qui permette de réduire l'exposition de manière échelonnée. Bien que décorrelées de toute considération toxicologique, contrairement à un système de valeurs limites d'exposition, ces approches pourraient conduire à comparer des résultats de prélèvements à des valeurs (moyenne ou centile d'une distribution statistique, par exemple) et d'engager des actions correctives en cas de dépassement.

Cependant, les méthodes et méthodologies quantitatives existantes permettent d'objectiver une évolution des contaminations surfaciques, suite à une action de prévention ou de décontamination de surfaces professionnelles.

Par ailleurs, les prélèvements à but qualitatif pourront également permettre de donner lieu à des conclusions en accord avec les objectifs du préventeur. En effet, la simple présence de polluants sur les prélèvements permet d'appliquer les principes de prévention, en commençant par viser la suppression du risque (principe général de prévention).

De plus, les travailleurs n'ont pas tous nécessairement conscience que les polluants peuvent être transportés des lieux d'activité vers des lieux de vie tels que les réfectoires, les vestiaires, etc. Des actions pédagogiques visant à sensibiliser les travailleurs à un risque potentiel peuvent aider à modifier certains comportements qui ont un impact hors de la seule sphère professionnelle.

Conclusion

Les grandes étapes à suivre pour la réalisation des mesures sont communes, quel que soit le type de mesure : stratégie, prélèvement, interprétation. À chaque étape, l'entreprise peut se tourner vers plusieurs interlocuteurs : le service de santé au travail, les caisses régionales de santé au travail (Carsat/Cramif/CGSS) et les laboratoires accrédités. Le choix de l'interlocuteur n'est pas prédéterminé, il dépend de l'objectif et du type de mesure. Par exemple, dans un contexte de contrôle réglementaire fortement contraint, il est envisageable de déléguer une grande partie de la réalisation des prélèvements atmosphériques à un laboratoire accrédité. À l'inverse, dans une démarche prospective de réduction des expositions à un agent chimique mal connu du point de vue de

ses effets sur la santé, il est indispensable que tous les acteurs soient impliqués et que l'employeur soit en position de décider afin de pouvoir s'engager dans des actions concrètes. La mise en œuvre de ces grandes étapes dépend du préleveur dont le profil peut être similaire lorsqu'il s'agit de réaliser des prélèvements atmosphériques ou surfaciques. En revanche, la conduite d'une campagne de SBEP relève des compétences du médecin du travail, en collaboration avec l'équipe pluridisciplinaire en santé au travail. ●

1. Voir : www.inrs.fr/media.html?refINRS=FI%2021
2. Voir : www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html
3. Voir : www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_338
4. Voir le site du Cofrac : <https://www.cofrac.fr/>
5. Voir : www.inrs.fr/dms/inrs/CataloguePapier/ED/TI-ED-6106/ed6106.pdf
6. Voir : www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-resultat-interpretation-statistique/metropol-resultat-interpretation-statistique.pdf
7. Accessible sur : www.altrex.inrs.fr
8. Accessible sur : www.inrs-mixie.fr
9. Accessible sur : www.inrs.fr/biotox.fr
10. La toxicocinétique d'une substance chimique est définie comme l'étude de son devenir dans l'organisme.
11. Voir : www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000042012463/
12. Voir : www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-resultat-interpretation-statistique/metropol-resultat-interpretation-statistique.pdf

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **NORME EN 689** – *Workplace exposure – Measurement of exposure by inhalation to chemical agents. Strategy for testing compliance with occupational exposure limit values*. Bruxelles, CEN, 2018.
- [2] **CLERC F., VINCENT R.** – Assessment of occupational exposure to chemicals by air sampling for comparison with limit values: the influence of sampling strategy. *Annals of Occupational Hygiene*, 2014, 58 (4), pp. 437-449. doi: 0.1093/annhyg/met084.
- [3] **NORME NF EN 529** – *Appareils de protection respiratoire – Recommandations pour le choix, l'utilisation, l'entretien et la maintenance* – Guide. Afnor, janvier 2006.
- [4] **FICHE INRS** – Comment utiliser Altrex chimie pour contrôler les expositions aux substances chimiques ? *Hygiène & sécurité du travail*, 2020, 258. Accessible sur : www.inrs.fr/dms/inrs/CataloguePapier/HST/TI-FI-25/fi25.pdf.
- [5] **SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MEDECINE DU TRAVAIL (SFMT)** – Surveillance biologique des expositions professionnelles aux agents chimiques. Recommandations de bonne pratique. *Références en santé au travail*, 2016, 146, pp. 65-93.
- [6] **NORME ISO 15189** – *Laboratoires de biologie médicale – Exigences concernant la qualité et la compétence*. Genève, ISO, août 2014.

COMPLÉMENTARITÉ, SIMILARITÉS, DIFFÉRENCES ET LIMITES DE LA MESURE

Cet article décrit les synergies et antagonismes entre les différentes méthodes de mesure de l'exposition : atmosphérique, biométriologique et surfacique.

Le constat est qu'il n'y a pas de préférence ou de méthode « meilleure » qu'une autre.

Chacune a ses avantages et ses inconvénients, ses spécificités et ses limites.

C'est l'objectif recherché par le préventeur qui guide le choix de la méthode de mesure.

Deux exemples sont présentés dans le domaine du tri des déchets et du retrait de peintures au plomb afin d'illustrer cet état de fait.

BRUNO COURTOIS
INRS,
département
Expertise
et conseil
technique

**GAUTIER
MATER,
FRÉDÉRIC
CLERC**
INRS,
département
Métrologie
des polluants

**PHILIPPE
DUQUENNE**
INRS,
département
Ingénierie
des procédés

Similarités et complémentarité dans les approches

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

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

La planification préalable des mesures et l'établissement d'une stratégie de mesurage détaillée est un prérequis dans tous les cas. Les groupes d'exposition similaire (GES) sont une notion applicable pour tous les types de prélèvements. Ils permettent d'organiser leur réalisation. Ces GES sont conçus en fonction des tâches effectuées, des métiers et d'autres paramètres qui pourront influencer l'exposition. Grâce au logiciel Altrex Chimie¹, on peut mettre en œuvre une méthodologie d'aide à la conception de ces groupes. Sur le terrain, le préleveur doit savoir s'adapter aux aléas. En effet, le prélèvement doit toujours être documenté pour qu'il soit possible de justifier d'éventuels résultats inattendus. De nombreux cas de figure peuvent avoir une influence considérable sur les prélèvements et fausser l'interprétation : le capteur

de prélèvement atmosphérique est souillé accidentellement ; le travailleur attendu pour un prélèvement dans un GES a été affecté à une toute autre tâche durant la période ; les tâches prévues pour les travailleurs n'ont pas pu être réalisées et ils n'ont pas été exposés ; les locaux habituellement nettoyés régulièrement ne l'ont pas été...

Différences entre les approches

Si la réalisation de mesures atmosphériques et surfaciques peut être décidée, pilotée et exploitée directement dans une entreprise, la réalisation de mesures biologiques est du ressort du médecin du travail. Les résultats des mesures biologiques individuelles sont soumis au secret médical, le médecin du travail ne pourra communiquer à l'employeur que des résultats globaux et anonymes ne permettant pas d'identifier le niveau d'exposition d'un opérateur en particulier. L'interprétation des résultats de mesures d'exposition nécessite un niveau d'expertise qui ne peut être acquis que par la formation et l'expérience sur le terrain. Là encore, l'interprétation des résultats de surveillance biologique nécessite des compétences spécifiques qui sont du domaine médical. L'utilisation des résultats de mesures biologiques dans l'entreprise pour des actions de prévention nécessitera donc une collaboration avec le médecin du travail.

Complémentarités entre les modes de mesure à travers deux exemples

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

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

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

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

Le plomb peut pénétrer dans l'organisme par inhalation de poussières et surtout par ingestion lorsque les mesures d'hygiène sont insuffisantes. Dans l'organisme, le plomb est à l'origine de nombreux effets néfastes dont la nature va dépendre de sa concentration dans le sang (plombémie). Le plomb et ses composés sont notamment classés comme toxiques pour la reproduction avec des effets sur la fertilité féminine et masculine et des effets sur le fœtus chez la femme enceinte. Des études récentes montrent que le plomb peut avoir des effets néfastes sur différents organes même pour des plombémies très inférieures aux actuelles limites réglementaires² [1], la démarche de prévention ne saurait se limiter au simple respect des valeurs limites et doit viser une exposition la plus faible possible.

Les chantiers d'enlèvement de peinture contenant du plomb nécessitent la mise en place de mesures de prévention³ pour limiter à un niveau aussi bas que possible l'exposition des travailleurs. Ces mesures consistent en premier lieu à limiter les émissions de poussières ou fumées en choisissant une technique d'enlèvement aussi peu émissive que possible et en captant les émissions à la source lorsque cela est possible. Il est également important de limiter au maximum la dissémination de particules de plomb hors des zones de travaux, par la mise en place des mesures d'hygiène strictes sur le chantier (nettoyage des équipements et des vêtements, procédure de décontamination du personnel, gestion des déchets...).

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

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

Les mesures d'exposition atmosphériques de la fraction inhalable en plomb ne sont souvent pas les plus pertinentes sur ce type de chantier, compte tenu de l'importance de la voie digestive pour l'exposition

au plomb et de la forte variabilité des expositions. Elles peuvent malgré tout être nécessaires pour des raisons réglementaires et utiles pour caractériser le niveau d'exposition pour certaines tâches. Ces mesures sont notamment destinées à s'assurer que le facteur de protection des appareils de protection respiratoire prévus est suffisant lorsque des techniques d'enlèvement très émissives, comme la projection d'abrasifs, doivent être utilisées. De telles mesures sont souvent réalisées lors de chantiers d'investigation permettant de tester différentes techniques d'intervention et de choisir la plus adaptée.

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

- Avant le début des travaux :
 - de vérifier si une pollution est déjà présente et ainsi, évitent un potentiel conflit entre le donneur d'ordre et l'entreprise à la fin des travaux ;
 - de mettre à jour l'évaluation des risques et de prendre des mesures de prévention adaptées lors des travaux préparatoires ;
 - de s'assurer que les zones hors chantier ne sont pas polluées par des poussières de plomb (base vie, cheminement d'accès, zones publiques...).
- Pendant les travaux :
 - de vérifier l'absence de dispersion de pollution hors des zones d'intervention sur les peintures au plomb et notamment dans la base vie.
- Après les travaux :
 - de s'assurer de l'absence de pollution pouvant entraîner un risque d'exposition pour les opérateurs assurant la suite du chantier et pour les occupants des locaux. Après des travaux réalisés dans les immeubles d'habitation, la concentration en plomb acido-soluble sur les sols ne doit pas dépasser 1000 µg/m².

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

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

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





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

© Gaël Kerbaol/INRS/2015

bien inférieures aux limites réglementaires⁴ considérées comme insuffisamment protectrices. Une valeur limite biologique (VLB) pour la plombémie de 180 µg/L, basée sur les effets neurocomportementaux, ainsi que des valeurs biologiques de référence (VBR) correspondant au 95^e percentile des valeurs observées dans la population générale adulte de 85 µg/L chez les hommes, 60 µg/L chez les femmes et 45 µg/L chez les femmes susceptibles de procréer, ont été proposées par l'Anses en 2019⁵. Par ailleurs, pour les femmes susceptibles de procréer, l'Anses préconise de ne pas dépasser la VBR de 45 µg/L, dans la mesure où il n'est pas possible d'identifier un seuil sans effet sur la reproduction.

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

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

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

La mise en évidence d'un agent chimique ou d'une famille d'agents chimiques dans l'environnement

de travail peut attirer l'attention de l'employeur sur d'autres risques, dont il faudra tenir compte pour compléter le document unique d'évaluation des risques (DUER).

L'exemple des centres de tri traitant les déchets solides provenant de la collecte séparée des ménages et assimilés est ici considéré. Ce secteur d'activité est en plein essor ; il emploie environ 7000 personnes et les environnements de travail concernés présentent plusieurs facteurs de risques (liés à la circulation d'engins et à la coactivité, à des gestes et postures répétitifs, au bruit et aux vibrations, à des chutes de hauteur ou de plain-pied, ainsi qu'à des agents chimiques et biologiques). Dans ces centres de tri, les différents déchets sont séparés par types de matériaux (papiers, cartons, plastiques, acier, etc.) en vue de les valoriser, soit par le biais de la fabrication de produits nouveaux, soit par la production d'énergie. Le tri comprend des opérations manuelles et d'autres mécaniques. Les principaux postes occupés par les travailleurs sont ceux concernant le tri manuel dans les cabines de tri, la conduite des chargeuses et des grappins, l'entretien et la maintenance des installations (Cf. Figure 1) ; certains travailleurs sont polyvalents. Les quelques études publiées dans le secteur du tri des déchets ménagers concernant l'exposition à des agents chimiques et biologiques signalent des niveaux d'exposition à certaines mycotoxines par inhalation plutôt faibles [2], mais les mesures des indicateurs biologiques d'exposition (IBE) suggèrent tout de même une exposition des travailleurs et vraisemblablement des voies d'exposition différentes (par contact) pour les mycotoxines signalées [3-4].

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

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

Conclusion – Perspectives

Les trois types de mesurages sont complémentaires : chacun présente des spécificités. La mesure des concentrations dans l'air des lieux de travail au niveau des voies respiratoires des travailleurs est une méthode largement employée, qui permet d'identifier les expositions dues au travail et même de qualifier les phases de travail les plus exposantes. Toutefois, seule la surveillance biologique des expositions professionnelles (SBEP) permet d'estimer la dose réellement absorbée en prenant en compte toutes les voies d'absorption possibles des agents chimiques, les conditions de travail et les spécificités individuelles. Enfin, la mesure des contaminations surfaciques permet d'objectiver

une situation où des contaminations indirectes peuvent se produire, incluant les voies digestive et cutanée. Les conclusions apportées peuvent aboutir à la mise en œuvre de mesures d'hygiène immédiates, comme des procédures de nettoyage plus approfondies et/ou plus fréquentes.

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

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

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

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

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

5. Valeurs biologiques d'exposition en milieu professionnel. Le plomb et ses composés inorganiques.

Avis de l'Anses/Rapport d'expertise collective, juillet 2019.

BIBLIOGRAPHIE

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

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

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

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

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

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