

## Base Colchic

La base de données d'exposition professionnelle aux agents chimiques et biologiques Colchic regroupe l'ensemble des mesures d'exposition effectuées sur les lieux de travail par les huit laboratoires interrégionaux de chimie (LIC) des Carsat/Cramif et les laboratoires de l'INRS. Elle est gérée par l'INRS et a été créée en 1987 à l'initiative de la Caisse nationale de l'assurance maladie (Cnam).

À ce jour, Colchic compte plus d'un million de résultats pour 745 substances chimiques et agents biologiques.

# PORTRAIT RÉTROSPECTIF DES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES À L'OZONE EN FRANCE DE 2002 À 2022

L'ozone, gaz incolore instable et très oxydant, est utilisé dans de nombreuses applications industrielles. L'exposition professionnelle à l'ozone peut être source de lésions irritantes, dont l'aggravation peut conduire à des formes d'asthme, à des infections respiratoires, à une diminution de la fonction pulmonaire, voire à un risque accru de maladies cardiovasculaires. La surveillance des concentrations en ozone dans l'air des lieux de travail s'avère donc essentielle pour préserver la santé des opérateurs. Cet article fait le point sur les données d'exposition disponibles, notamment celles contenues dans la base de données Colchic, et sur les moyens d'évaluer plus finement les expositions en vue de mieux prévenir les risques.

ANDREA  
EMILI,  
SARAH  
BURZONI  
INRS,  
département  
Métrologie  
des polluants

### Définition, propriétés et effets sur la santé

L'ozone (O<sub>3</sub>; n°CAS 10028-15-6) est un gaz incolore, présent naturellement dans l'atmosphère terrestre, à l'odeur piquante et irritante. Il est produit à partir de l'oxygène en présence de radiations ultraviolettes, d'énergie ou de décharges électriques, par exemple en haute altitude ou par l'action de la foudre. C'est un allotrope de l'oxygène à qui la structure moléculaire triatomique confère des propriétés chimiques et physiques particulières.

Puissant oxydant et comburant, l'ozone peut réagir avec les huiles pour former des ozonides, sources potentielles d'explosion. De faibles concentrations

peuvent présenter un effet sur les textiles, les tissus, les colorants organiques, les métaux, les plastiques et les peintures, et provoquent un craquelage caractéristique du caoutchouc. Quelques matériaux, comme le verre et certains types d'acier inoxydable, résistent cependant à ses effets oxydants. Substance instable, dont le taux de décomposition varie en fonction de la température et de l'humidité, l'ozone ne peut pas être stocké ou transporté dans des récipients, car il se décompose spontanément en présence d'impuretés oxydables, d'humidité et au contact de surfaces solides. Il est toujours généré *in situ*, pour une utilisation immédiate.

*Un biais d'interprétation est susceptible d'être introduit lors de l'exploitation des bases de données nationales d'exposition professionnelle telles que Colchic. En effet, ces bases n'ont pas été conçues dans le but d'être représentatives de l'ensemble des travailleurs ou d'un secteur professionnel donné.*

L'exposition à l'ozone provoque des altérations des muqueuses respiratoires (bronchopathies, emphysème, fibrose), ainsi que des muqueuses oculaires [1]. Les effets sont l'irritation des yeux, du nez et de la gorge, la toux et les difficultés respiratoires, l'aggravation des symptômes de l'asthme et d'autres maladies pulmonaires, la diminution de la fonction pulmonaire, un risque accru de maladies cardiovasculaires et d'infections respiratoires. Quelques effets rénaux ou neurologiques rares ont été rapportés. Il n'y a pas de données suffisantes permettant de conclure à un risque cancérogène ou à des effets sur la reproduction.

Actuellement, l'ozone ne fait pas l'objet d'une classification européenne selon le règlement CE 1272/2008 (CLP). Toutefois, les données de classification et d'étiquetage de l'ozone ont été soumises à l'ECHA dans le cadre d'une inscription en vertu du Règlement Reach<sup>1</sup>. Selon la classification fournie par les entreprises à l'Echa, cette substance est « mortelle par inhalation, provoque de graves brûlures cutanées et des lésions oculaires, entraîne des dommages aux organes par exposition

prolongée ou répétée, avec des effets à long terme, peut provoquer ou intensifier un incendie (oxydant) ».

### L'ozone sur les lieux de travail

Selon l'enquête Sumer 2017 [2], 47 400 salariés en France (soit 0,2 % de l'ensemble des salariés) seraient exposés à l'ozone, dont 20 % pour une durée supérieure à 10 heures pendant la semaine ; 23 % des salariés concernés révèlent une absence de protection collective et 17 % aucune protection individuelle mise à disposition. Les résultats de l'enquête indiquent aussi que l'activité économique employant la plus grande proportion de salariés exposés est le « Travail du bois, industries du papier et imprimerie » (7,1 % des salariés exposés). L'ozone est produit en transformant l'oxygène présent dans l'air ambiant par irradiation UV ou à l'aide d'une décharge électrique haute tension. De par ses propriétés oxydantes, bactéricides, virucides et fongicides, l'ozone est notamment utilisé pour la désinfection des environnements et des surfaces dans divers domaines comme l'agroalimentaire, l'industrie et le traitement des eaux.

Opération de soudage à l'aide d'une torche MIG.



Parmi les applications industrielles de l’ozone, sont relevées :

- le traitement de l’air dans les bureaux et la désodorisation des chambres d’hôtel, des cuisines commerciales et cafétérias, des usines de transformation alimentaire et de poisson, des usines de mélange de caoutchouc, des usines chimiques, des stations d’épuration et des chambres froides ;
- la désinfection de l’eau potable et son traitement pour régler des problèmes de goût, d’odeur et de couleur ;
- la désinfection des piscines et des systèmes d’eau chaude et froide ;
- l’élimination des pesticides présents dans l’eau ;
- la stérilisation des aliments ;
- la stérilisation de matériel chirurgical ;
- le prétraitement dans les applications de revêtement – y compris les encres, la finition du bois, la décoration métallique et la finition industrielle générale ;
- le traitement de surface des matières plastiques notamment avant impression (sacs imprimés en polyéthylène) ;
- le blanchiment dans les industries textile, alimentaire et papetière ;
- l’initiation de réaction dans l’industrie chimique.

Salle d’ozonisation dans un laboratoire de biologie médicale.



© Fabrice Dimier pour l'INRS/2018

Suite à la pandémie de Covid-19, l’ozone a été déployé pour la décontamination de l’air, des surfaces, des matériaux et des environnements intérieurs [3]. Dans ce contexte, les techniques d’ozonation aqueuse ont été déployées de préférence à l’ozonation gazeuse qui a été plutôt utilisée pour la désinfection des équipements de protection individuelle (EPI) et des dispositifs médicaux. En septembre 2023, l’INRS a mis en garde contre l’utilisation de l’eau ozonée dans le nettoyage et la désinfection [4], cette pratique pouvant être dangereuse pour la santé des travailleurs exposés.

Une étude conduite par l’INRS sur trois épurateurs d’air intérieur faisant appel à des technologies différentes [5] visait à évaluer l’efficacité de ces appareils vis-à-vis des aérosols inertes sur le plan biologique et leur émission de polluants gazeux dans l’air. Les tests réalisés en laboratoire ont permis de mettre en évidence une émission d’ozone importante dans le cas d’un dispositif associant média filtrant, photocatalyse, plasma froid et lampe UV-C.

L’ozone est également généré comme sous-produit accidentel de nombreuses activités professionnelles, particulièrement en lien avec l’utilisation de radiations UV et d’équipements électriques haute tension. Il est également produit, à plus faible concentration, par les photocopieuses, les imprimantes laser et les machines à rayons X.

Lors des opérations de soudage [6-7] à l’arc électrique (techniques *Tungsten Inert Gas* (TIG) et *Metal Inert Gas/Metal Active Gas* (MIG/MAG) spécifiquement), les radiations UV de l’arc produisent des quantités significatives d’ozone; les risques d’exposition à ce gaz sont particulièrement importants lors du soudage de l’aluminium et de l’acier inoxydable. L’ozone est également produit à proximité de plusieurs types de lampes qui émettent des radiations UV. De telles lampes sont utilisées par exemple pour fixer certains encres ou vernis qui polymérisent sous radiation UV.

L’ozone est également produit autour des précipitateurs électrostatiques utilisés pour éliminer la poussière et certains contaminants aériens de l’air. Ce gaz peut aussi être produit par les dispositifs utilisés dans l’industrie pour éliminer l’électricité statique des articles en plastique fraîchement moulés ; dans ce cas, le principal facteur qui détermine la quantité d’ozone générée est la tension aux bornes des plaques collectrices : plus la tension est élevée, plus l’ozone est produit.

### Méthodes d’évaluation de l’exposition professionnelle à l’ozone

La présence d’ozone sur les lieux de travail rend nécessaire sa surveillance, afin de s’assurer que les concentrations n’atteignent pas des niveaux dangereux pour la santé. Toutefois, la mesure de l’ozone

reste compliquée, avec des difficultés qui vont au-delà de la détermination de faibles concentrations et de la présence d'interférents [8]. La mesure de l'ozone est incompatible avec de nombreux matériaux, en raison de sa réactivité ; le Teflon et le verre sont les matériaux les plus indiqués. Des pertes d'ozone, liées à sa grande réactivité, peuvent aussi se produire lorsque le gaz passe dans des conduits ou tuyaux faits de différentes substances plastiques et métalliques (y compris l'acier inoxydable, l'aluminium, le polyéthylène et les tuyaux en polyvinyle). Les capteurs de mesure d'ozone peuvent être à lecture directe (mesure en continu) ou indirecte et se distinguent par des coûts et des dimensions qui sont sensiblement plus avantageux pour les méthodes indirectes. Différentes techniques analytiques sont utilisées pour la mesure directe de l'ozone : la spectroscopie d'absorption UV, l'absorption dans l'infrarouge moyen (MIR) et la spectroscopie photoacoustique sont les plus répandues. Les méthodes indirectes peuvent utiliser des capteurs à base de semi-conducteurs métalliques, des capteurs ampérométriques, des matériaux poreux ou des capteurs passifs classiques comme des tubes ou des badges qui utilisent des réactifs de piégeage tels que les nitrites, l'indigo, le DPE (1,2-di[4-pyridyl]-éthylène) et le DBA (10,10-diméthyl-9,9-biacridylidène). Pour les méthodes indirectes, la lecture du signal produit par l'interaction du gaz avec la surface active se fait par fluorescence, spectrophotométrie, ampérométrie, voltampérométrie, mesure de la conductivité ou analyse d'images numériques.

Les instruments à lecture directe basés sur l'absorption UV ou MIR présentent une sensibilité, une sélectivité et une fiabilité élevées et ils sont utilisés comme analyseurs de référence certifiés, installés dans les unités de qualité de l'air pour surveiller en temps réel les niveaux d'ozone dans l'environnement. Cependant, la taille, le coût, la consommation d'énergie et les besoins réguliers en étalonnage réduisent leur utilisation lorsque la portabilité de l'équipement est requise.

Les méthodologies colorimétriques indirectes sont peu coûteuses et simples à utiliser, mais elles nécessitent l'analyse d'échantillons dans des laboratoires chimiques. Par ailleurs, elles sont inadaptées au suivi des expositions individuelles. De plus, les résultats obtenus sont des concentrations moyennes sur une période de temps prolongée qui ne permettent pas la détection de pics d'exposition. Par conséquent, ces méthodes ne peuvent pas être utilisées pour alerter en temps réel en cas d'exposition élevée.

Des capteurs à faible coût à base d'oxydes métalliques sont également de plus en plus utilisés pour la surveillance de l'ozone, avec une limite de détection de l'ordre du ppb (partie par milliard). Toutefois,

ces capteurs souffrent encore d'un manque de validation pour un fonctionnement à différents niveaux d'humidité. Enfin, les détecteurs à base de matériaux poreux offrent une opportunité intéressante en raison de leur spécificité élevée dans le piégeage des molécules gazeuses, même si leur application pour la détection de l'ozone n'a pas encore été pleinement explorée.

Auparavant, l'INRS proposait une méthode permettant de doser l'ozone dans l'air (méthode MetroPol 060). Elle a été abandonnée, et l'INRS a travaillé au développement d'un nouveau capteur pour la mesure en temps réel des expositions professionnelles individuelles à l'ozone, permettant d'obtenir un signal stable, ainsi qu'une sensibilité et une sélectivité élevées<sup>2</sup> [9].

### Valeurs limites d'exposition professionnelle

En France, des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) indicatives de 0,2 mg/m<sup>3</sup> sur 8 heures (VLEP-8h) et de 0,4 mg/m<sup>3</sup> sur 15 minutes (VLEP-CT) ont été établies pour l'ozone depuis 1982. Une valeur 8 heures de 0,1 mg/m<sup>3</sup> est en vigueur dans plusieurs pays européens (Gestis : base de données des valeurs limites internationales)<sup>3</sup>. Une valeur court terme de 0,2 mg/m<sup>3</sup> est aussi en vigueur dans plusieurs pays européens ; cependant, il s'agit souvent d'une valeur plafond à ne pas dépasser plutôt que d'une valeur moyenne sur 15 minutes.

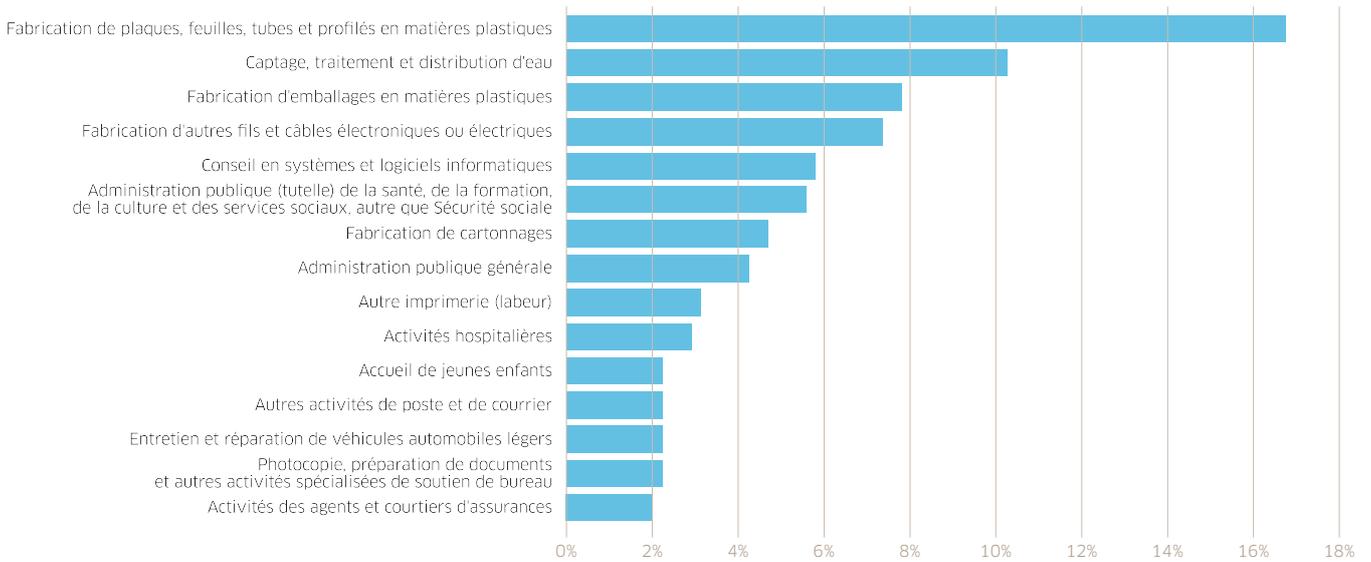
### Niveaux d'exposition professionnelle à l'ozone

Bien que de nombreuses études se soient intéressées à l'ozone et à ses effets sur la santé humaine [10], l'exposition professionnelle à ce gaz a été investiguée dans un nombre limité de situations de travail, et plus particulièrement dans les bureaux à cause de la présence de photocopieuses et d'imprimantes laser [11], pendant les opérations de soudage à l'arc électrique [12] et en lien avec l'utilisation de ce gaz pour la désinfection de l'eau potable [13] et des piscines.

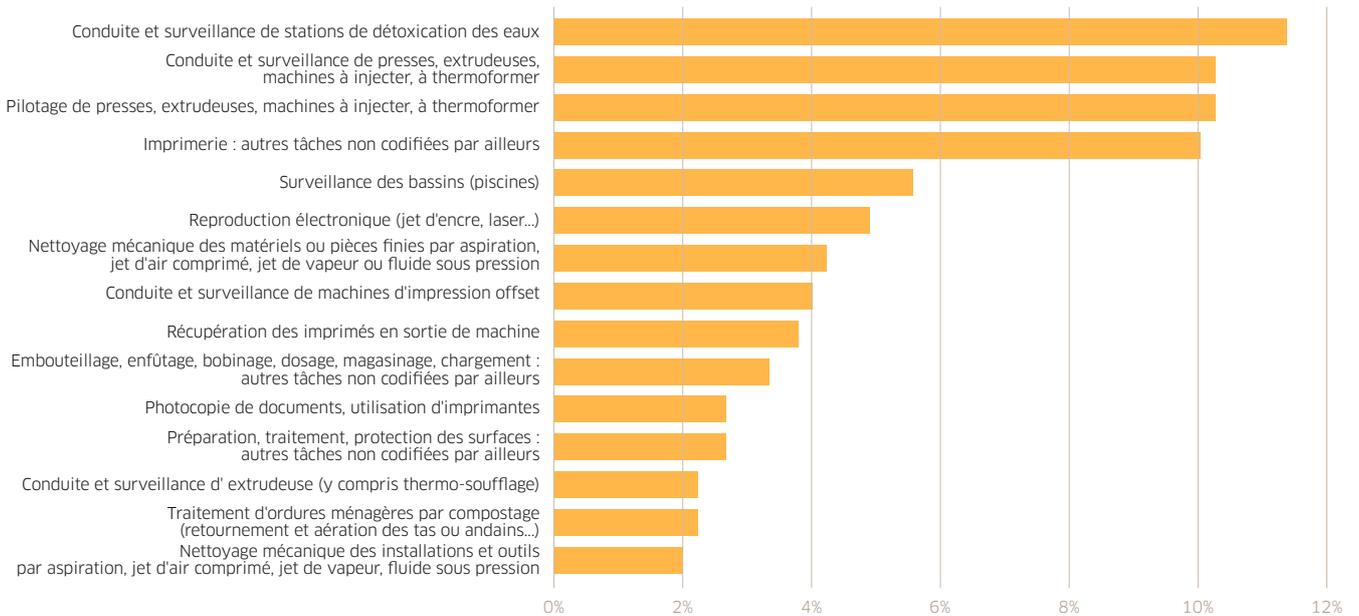
La plupart des photocopieuses et imprimantes laser modernes utilisent des technologies à très faible émission ou sont équipées de filtres qui limitent la quantité d'ozone rejetée dans l'atmosphère ; elles sont généralement placées dans des locaux dédiés, séparés des bureaux pour limiter l'exposition.

À titre d'exemple, une étude conduite en 2018 dans cinq bâtiments universitaires en Malaisie a montré que la concentration d'ozone dans l'air des bureaux pendant les heures de travail (de 8 h à 17 h) pouvait atteindre au maximum 0,06 mg/m<sup>3</sup> avec une moyenne de 0,02 ± 0,01 mg/m<sup>3</sup> sur 9 heures [14], soit des valeurs largement inférieures aux valeurs limites. Tous les bâtiments étaient ventilés mécaniquement avec une climatisation centralisée et temporisée (de 7h30 à 17h30) ; l'ouverture des fenêtres n'était pas autorisée.





↑ FIGURE 1 Distribution des mesures d'ozone par secteur d'activité, en pourcentage (≥ 2 %).



↑ FIGURE 2 Distribution des mesures d'ozone par tâche, en pourcentage (≥ 2 %).

Dans une étude [15] conduite sur des soudeurs TIG et MIG au Canada, les concentrations atmosphériques d'ozone mesurées à la source par le biais d'un analyseur portable variaient de 0,8 mg/m<sup>3</sup> à 1,2 mg/m<sup>3</sup> près de la pièce soudée, mais n'étaient pas détectables dans la zone respiratoire des soudeurs. Une étude plus récente, conduite sur 43 soudeurs de l'acier en Iran [16], a mis en évidence que, pendant les opérations de soudage TIG et MIG, les soudeurs étaient exposés à des concentrations d'ozone de 0,41 ± 0,24 mg/m<sup>3</sup> (nombre de mesures = 20) et 0,73 ± 0,43 mg/m<sup>3</sup> (nombre de mesures = 23), respectivement, pour des prélèvements individuels

d'une durée de 3 heures, collectés sur des filtres en fibre de verre imprégnés de nitrite (IGFF) et analysés en HPLC-UV (chromatographie liquide haute performance – ultraviolet).

La désinfection de l'eau potable et des eaux usées nécessite des concentrations d'ozone comprises entre 1 mg/L et 10 mg/L, avec des doses plus élevées pour les rejets industriels [17]. Pour les piscines, la concentration d'ozone requise est généralement comprise entre 0,8 mg/L et 1,2 mg/L. Pendant les opérations de traitement, l'intervention humaine peut être très variable et entraîner des expositions des opérateurs à l'ozone.

**DURÉE DE PRÉLÈVEMENT : ≤ 15 min**

OBJECTIF DE LA MESURE	NB DE MESURES	% < LQ	MIN	25 <sup>E</sup> CENTILE	MÉDIANE	75 <sup>E</sup> CENTILE	95 <sup>E</sup> CENTILE	MAX	MOYENNE	ÉCART TYPE	VLEP-CT	UNITÉ DE MESURE
individuel	2	100%	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	mg/m <sup>3</sup>
ambiance	12	83%	0,02	0,22	0,35	0,42	0,55	0,63	0,32	0,17		

**DURÉE DE PRÉLÈVEMENT : > 15 min mais < 8h**

OBJECTIF DE LA MESURE	NB DE MESURES	% < LQ	MIN	25 <sup>E</sup> CENTILE	MÉDIANE	75 <sup>E</sup> CENTILE	95 <sup>E</sup> CENTILE	MAX	MOYENNE	ÉCART TYPE	VLEP8h	UNITÉ DE MESURE
individuel	7	71%	0,01	-	-	-	-	0,06	-	-	0,2	mg/m <sup>3</sup>
ambiance	36	11%	0,001	0,09	0,19	0,31	0,63	0,82	0,23	0,20		

↑ **TABLEAU 1** Indicateurs statistiques pour les 57 mesures d'ozone, stratifiées par la durée de prélèvement et l'objectif de la mesure. Les mesures d'une durée de prélèvement inférieure ou égale à 15 minutes ont été réalisées pour une comparaison avec la VLEP-CT ; les mesures d'une durée de prélèvement supérieure à 15 minutes mais inférieure à 8 heures ont été réalisées pour caractériser l'exposition pendant la durée de la tâche.

Cependant, un manque de données de littérature ne permet pas une caractérisation précise de cette exposition.

**Données de la base Colchic**

La base Colchic a été interrogée sur la période 2002-2022 afin d'obtenir des informations sur les niveaux d'exposition atmosphérique à l'ozone mesurés en France, ainsi que les secteurs d'activité et les tâches associées. Sur cette période, la base contient 448 mesures dont 430 mesures d'ambiance et 18 mesures individuelles. La distribution de ces mesures est détaillée par secteur d'activité sur la *Figure 1* et par tâche sur la *Figure 2*.

Les secteurs de la « Fabrication de plaques, feuilles, tubes et profilés en matières plastiques » (NAF 2221Z) et le « Captage, traitement et distribution d'eau » (NAF 3600Z) représentent les deux principaux secteurs dans lesquels des mesures de concentrations d'ozone ont été réalisées (Cf. *Figure 1*). De même, la « Conduite et surveillance de stations de détoxification des eaux » est la tâche la plus investiguée, suivie par des tâches liées au thermoformage des plastiques et à l'imprimerie (Cf. *Figure 2*).

Après application des critères métrologiques (représentativité de la mesure, durée de prélèvement, méthodes de prélèvement et d'analyse), l'éventail de données se réduit à 57 mesures, ainsi réparties : 48 mesures d'ambiance et 9 mesures individuelles. Les mesures individuelles d'ozone, réalisées pour comparaison avec la VLEP-CT ou pour caractériser la tâche (Cf. *Tableau 1*), sont inférieures aux VLEP de 0,4 mg/m<sup>3</sup> sur 15 minutes (VLEP-CT) et de 0,2 mg/m<sup>3</sup> sur 8 heures (VLEP-8h). Les mesures d'ambiance, qui ne sont pourtant pas adaptées à une comparaison avec les VLEP, permettent néanmoins une mise en perspective. Ainsi, au moins 25 % des prélèvements d'ambiance réalisés sur une durée inférieure ou égale à 15 minutes sont supérieurs

à la VLEP-CT. Pour des prélèvements d'une durée supérieure à 15 minutes mais inférieure à 8 heures, la proportion de mesures supérieures à la VLEP-8h s'élève à environ 50 %.

La « Conduite et surveillance de stations de détoxification des eaux » dans le secteur du « Captage, traitement et distribution d'eau » représente 68 % des mesures, suivie par le « Traitement d'ordures ménagères par compostage (retournement et aération des tas ou andains...) » dans l'administration publique générale (9 % des mesures) et l'impression offset dans le secteur « Autre imprimerie (labeur) » (NAF 1812Z) qui compte 7 % des mesures. Les mesures d'ambiance réalisées pour caractériser la présence d'ozone dans l'atmosphère des lieux de travail, en lien avec la détoxification des eaux, varient entre 0,04 mg/m<sup>3</sup> et 0,82 mg/m<sup>3</sup> avec une médiane de 0,29 mg/m<sup>3</sup> et une moyenne arithmétique de 0,29 ± 0,18 mg/m<sup>3</sup> ; 36 % de ces mesures sont supérieures à 0,2 mg/m<sup>3</sup> (valeur de la VLEP-8h).

**Limites, conclusions et recommandations**

Cette analyse a mis en évidence un manque de données concernant l'exposition professionnelle à l'ozone dans la base Colchic, ainsi que dans la littérature scientifique, notamment en ce qui concerne les mesures individuelles. Cette lacune est en partie attribuable à l'absence de méthodes de prélèvement individuel de référence, compte tenu de la forte réactivité de l'ozone à la fois sur les supports adsorbants mais également avec d'autres polluants de l'air. Par ailleurs, la quantification de l'ozone reste problématique en raison de divers facteurs, notamment la présence d'espèces potentiellement interférentes et la réactivité de ce gaz avec les matériaux, ce qui peut compromettre la compatibilité des équipements.

En l'absence de méthodes de prélèvement et d'analyse qui respectent toutes les conditions de sélectivité et de précision nécessaires et dont



les performances correspondent aux exigences générales de mesure des agents chimiques, des solutions plus ou moins satisfaisantes sont actuellement proposées, notamment l'utilisation d'analyseurs d'ozone à lecture directe, basés sur l'absorption de la lumière UV, et l'utilisation de capteurs électrochimiques, à semi-conducteurs ou optiques. Le développement de nouveaux dispositifs de mesurage, comme celui proposé par l'INRS [9], devrait permettre de surmonter ces problèmes et de garantir une caractérisation plus précise des

niveaux d'exposition professionnelle à l'ozone. Le capteur développé par l'INRS utilise la spectroscopie visible pour la détermination des concentrations d'ozone. Le matériau sensible développé est un film de silice mésoporeuse déposé sur un verre transparent et imprégné de bleu de méthylène. Ce capteur donne une bonne reproductibilité des mesures, il est stable pendant au moins 50 jours et sensible à 10 ppb d'ozone (0,02 mg/m<sup>3</sup>) avec une plage de mesure testée jusqu'à 500 ppb (1 mg/m<sup>3</sup>) ; il est insensible au dioxyde d'azote et à une grande variation d'humidité relative.

Lors de l'évaluation de l'exposition, il est important de prendre en compte l'exposition simultanée à plusieurs substances chimiques. L'outil Mixie France de l'INRS aide à évaluer les effets sur la santé des polyexpositions chimiques. Les classes toxicologiques associées à l'ozone sont les atteintes des voies respiratoires supérieures et inférieures et les atteintes oculaires<sup>4</sup>. Selon l'outil n° 110 de l'INRS<sup>5</sup>, les substances les plus mesurées dans la base Colchic ayant une ou plusieurs classes d'effets toxiques communes avec l'ozone sont le nickel, la butanone, l'acétone, le cuivre, la silice cristalline, le manganèse et ses composés, les poussières alvéolaires (locaux à pollution spécifique), les poussières totales (locaux à pollution spécifique), le styrène et les poussières de bois. Une attention particulière doit donc être portée à la présence potentielle de ces substances lors d'une exposition à l'ozone.

Bien que l'analyse qualitative des données de la base Colchic, réalisée avant application des critères métrologiques, mette en évidence la présence potentielle de ce gaz dans plusieurs secteurs d'activité en France, le manque de données limite la caractérisation de l'exposition individuelle à l'ozone. De même, les mesures d'ambiance permettent d'esquisser la présence du gaz dans un nombre limité d'atmosphères de travail et notamment dans la « Conduite et surveillance de stations de détoxification des eaux ».

Pour protéger la santé des travailleurs, il est essentiel de mettre en œuvre des mesures de prévention efficaces. Pour l'ozone, cela peut inclure la mise en place de systèmes de ventilation adéquats pour éliminer le gaz des zones de travail, ainsi que la formation des travailleurs sur les risques associés à l'exposition à l'ozone et sur les mesures de sécurité à prendre. ●

1. Voir : <https://echa.europa.eu/fr/substance-information/-/substanceinfo/100.030.051>

2. Ce dispositif est actuellement en cours de transfert technologique par l'INRS. Voir : <https://www.inrs.fr/publications/hst/participez-a-la-recherche.html>

3. Voir : <https://ilv.ifa.dguv.de/substances>

4. Voir : [https://www.inrs.fr/publications/outils/mixie/substance.html?refINRS=MIXIE\\_Substance\\_115](https://www.inrs.fr/publications/outils/mixie/substance.html?refINRS=MIXIE_Substance_115)

5. Voir : <https://outil-expo-rch-rb.inrs.fr>

## BIBLIOGRAPHIE

[1] INRS – Fiche Toxicologique n° FT 43, 2020. Accessible sur : [https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX\\_43](https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_43)

[2] DARES – Les expositions aux risques professionnels : les produits chimiques. Résultats de l'enquête Sumer 2017. *Synthèse-Stat'* n° 32, juillet 2020.

[3] GRIGNANI E. ET AL. – Safe and effective use of ozone as air and surface disinfectant in the conjuncture of Covid-19. *Gases*, 2021, 1 (1), pp. 19-32.

[4] INRS – Opérations de nettoyage et de désinfection : l'INRS met en garde contre les procédés utilisant l'eau ozonée. Communiqué de presse, 14 septembre 2023. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/header/presse/cp-operations-nettoyage-desinfection.html>

[5] BEMER D., GÉRARDIN F. – Évaluation des performances de filtration d'aérosols de trois technologies d'épurateurs d'air intérieur. *Hygiène & sécurité du travail*, 2022, 269, Note technique NT 103. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%20103>

[6] INRS – Soudage de métaux. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/metiers/soudage-metal.html>

[7] ANSES – Travaux exposant aux fumées de soudage à inscrire à la liste des substances, mélanges et procédés cancérigènes. Avis de l'Anses, Rapport d'expertise collective, février 2022. Accessible sur : <https://www.anses.fr/fr/system/files/VSR2017SA0237Ra-2.pdf>

[8] DA SILVEIRA PETRUCI J.F. ET AL. – Analytical methods applied for ozone gas detection: a review. *Trends in analytical chemistry*, 2022, 149, p. 116552.

[9] GHAZALY C. ET AL. – Real-time ozone sensor based on selective oxidation of methylene blue in mesoporous silica films. *Sensors*, 2019, 19 (16), p. 3508.

[10] LIPPMANN M. – Health effects of ozone a critical review. *JAPCA*, 1989, 39 (5), pp. 672-695.

[11] TUOMI T. ET AL. – Emission of ozone and organic volatiles from a selection of laser printers and photocopiers. *Applied occupational and environmental hygiene*, 2000, 15 (8), pp. 629-634.

[12] VAN DER WAL J. – Exposure of welders to fumes and gases in Dutch industries: summary of results. *The Annals of occupational hygiene*, 1990, 34 (1), pp. 45-54.

[13] RICE R.G. ET AL. – Uses of ozone in drinking water treatment. *Journal of the American water works association*, 1981, 73 (1), pp. 44-57.

[14] OTHMAN M. ET AL. – PM2.5 and ozone in office environments and their potential impact on human health. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2020, 194, p. 110432.

[15] KORCZYNSKI R. – Occupational health concerns in the welding industry. *Applied occupational and environmental hygiene*, 2000, 15 (12), pp. 936-945.

[16] AZARI M.R. ET AL. – Monitoring of occupational exposure of mild steel welders to ozone and nitrogen oxides. *TANAFOS*, 2011, 10 (4), p. 54.

[17] EPELLE E.I. ET AL. – Ozone application in different industries: a review of recent developments. *Chemical engineering journal*, 2023, 454, pp. 140188.