

NETTOYAGE DES LOCAUX À L'EAU OZONÉE

Évaluation des émissions et des risques associés

Adoptée dans le secteur de la propreté pour sa facilité d'emploi, pour son intérêt logistique et la promesse d'un moindre recours aux produits chimiques, l'eau ozonée fait l'objet d'un intérêt croissant. L'étude de l'INRS montre toutefois que certaines phases d'usage, notamment la pulvérisation et la dispensation avec remous, peuvent conduire à des émissions significatives d'ozone dans l'air.

**BENJAMIN
SUTTER**
INRS,
département
Ingénierie
des procédés

**ANNABELLE
GUILLEUX**
INRS,
département
Expertise
et conseil
technique

L'utilisation de l'eau ozonée générée *in situ* connaît actuellement une diffusion dans les secteurs tertiaire, hospitalier et agroalimentaire comme alternative aux produits chimiques conventionnels, en particulier pour le nettoyage des surfaces des locaux. Les équipements de génération d'eau ozonée pour ces applications sont proposés sous forme de centrales murales ou de pulvérisateurs portatifs. Ces procédés de nettoyage sont promus par leurs concepteurs pour la simplicité de la formulation du produit de nettoyage, majoritairement à base d'eau et d'une faible concentration d'ozone, pour l'absence de résidu chimique après utilisation et pour la réduction des contraintes logistiques associées. Il en résulte une image de sécurité et de préservation de l'environnement. Par ailleurs, avec la présence d'ozone, dont les propriétés biocides sont connues de longue date, la promesse d'un effet désinfectant s'ajoute à celle d'un nettoyage plus sûr. Bien que la substitution de produits chimiques dangereux par des procédés considérés comme moins dangereux peut constituer un levier de prévention, il s'agit avant tout d'étayer la pertinence de la démarche de substitution par une démonstration objective du gain réel en prévention. Or, les équipements proposés

actuellement manquent de documentation indépendante concernant les risques professionnels liés à leur usage et les moyens de les prévenir, l'efficacité biocide réelle (lorsqu'elle est revendiquée) et les exigences techniques d'installation.

C'est précisément dans ce contexte que l'INRS a publié, en septembre 2023, un communiqué de presse appelant à la vigilance sur les opérations de nettoyage, voire de désinfection, mettant en œuvre de l'eau ozonée [1]. Ce texte a eu un écho important dans les secteurs concernés, en particulier parce qu'il est intervenu à un moment où de nombreuses structures avaient déjà acquis des équipements ou envisageaient de le faire. Il a aussi souligné le manque de données quantitatives indépendantes sur le comportement réel de ces dispositifs en conditions d'usage. L'ozone (molécule composée de trois atomes d'oxygène O₃) est un gaz extrêmement réactif et hautement toxique par inhalation. Une circulaire française définissait dès 1982 deux valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) indicatives : une VLEP sur 8 heures de 100 ppb¹ et une VLEP sur 15 minutes (VLEP-court terme ou VLCT) de 200 ppb [2], qui font, depuis lors, office de références pour la prévention des risques liés à l'inhalation d'ozone par les travailleurs. La récente adoption de la classification européenne harmonisée (23^e adaptation au progrès

Note au lecteur – En septembre 2023, l'INRS mettait en garde, par communiqué de presse, contre les procédés utilisant l'eau ozonée pour des opérations de nettoyage et de désinfection [1]. Cette position a été confirmée par une étude dont les résultats sont présentés dans cet article.



RÉSUMÉ

L'eau ozonée, générée *in situ*, est proposée en remplacement des produits chimiques conventionnels dans le secteur de la propreté. L'INRS a mené une étude expérimentale pour objectiver les flux d'ozone émis dans l'air par cet usage. L'évaluation a porté sur quatre centrales murales et quatre pulvérisateurs produisant de l'eau ozonée. Ces appareils

ont été testés sur un cycle opératoire complet. L'étude montre des rejets gazeux préoccupants lors de la dispensation avec remous et de la pulvérisation. Cette dernière induit un transfert quasi total de l'ozone dissous vers l'air avant l'impact sur la surface. L'application en film mince s'avère peu émissive, toutefois une quelconque

action de l'ozone sur les agents biologiques est discutable en raison de sa décomposition immédiate au contact des matériaux. Au final, le nettoyage par étalement ou pulvérisation d'eau ozonée se réduit donc à un nettoyage à l'eau, accompagné de sources majeures d'exposition à l'ozone.

CLEANING PREMISES WITH OZONATED WATER: ASSESSMENT OF EMISSIONS AND ASSOCIATED RISKS

Ozonated water, generated on-site, may be proposed as a replacement for conventional chemicals in the cleaning sector. INRS has conducted an experimental study to objectively assess the ozone flows released into the air by this practice. The assessment covered four wall-mounted units and four sprayers producing

ozonated water. These devices were tested over a complete operating cycle. The study showed concerning gaseous emissions during agitated dispensing and when spraying, resulting in an almost complete transfer of dissolved ozone into the air before it comes into contact with the surface. Thin-film application proved to be

low in emissions; however, any effect of ozone on biological agents is questionable due to its immediate decomposition on contact with materials. Ultimately, cleaning by spreading or spraying ozonated water therefore amounts to cleaning with water, accompanied by major sources of ozone exposure.

technique du règlement CLP² [3-4]) de l'ozone formalise les connaissances scientifiques sur la dangerosité de cet agent chimique. Concernant ses dangers pour la santé, l'ozone est désormais classé par l'UE comme cancérogène suspecté (*Carc. 2*), mutagène suspecté (*Muta. 2*), toxique aigu par inhalation (*Acute Tox. 1*), toxique spécifique – exposition unique – pour le système nerveux, le système respiratoire et le système cardiovasculaire (*STOT SE 1*) et toxique spécifique – exposition répétée – pour le système nerveux et le système respiratoire (*STOT RE 1*). L'adoption de cette classification européenne harmonisée vient souligner la nécessité de limiter l'exposition des travailleurs à l'ozone.

Le principe de l'eau ozonée repose sur la dissolution d'un gaz oxydant (l'ozone) dans l'eau. Du point de vue de la physique des transferts et de la thermodynamique, l'ozone est modérément soluble dans la phase liquide. Conformément à la loi de Henry [5] et des processus de transfert de matière, tout déséquilibre thermodynamique, résultant par exemple d'une élévation de température, d'une dépression ou de la chute de la pression partielle d'ozone à l'interface gaz-liquide lors de l'exposition à l'air ambiant, force le transfert de matière vers la phase gazeuse (stripage ou dégazage). Ainsi, les actions routinières, comme le soutirage au robinet ou l'aérosolisation par

pulvérisation, constituent des facteurs de dégazage potentiellement massifs, par rupture de l'équilibre gaz – liquide.

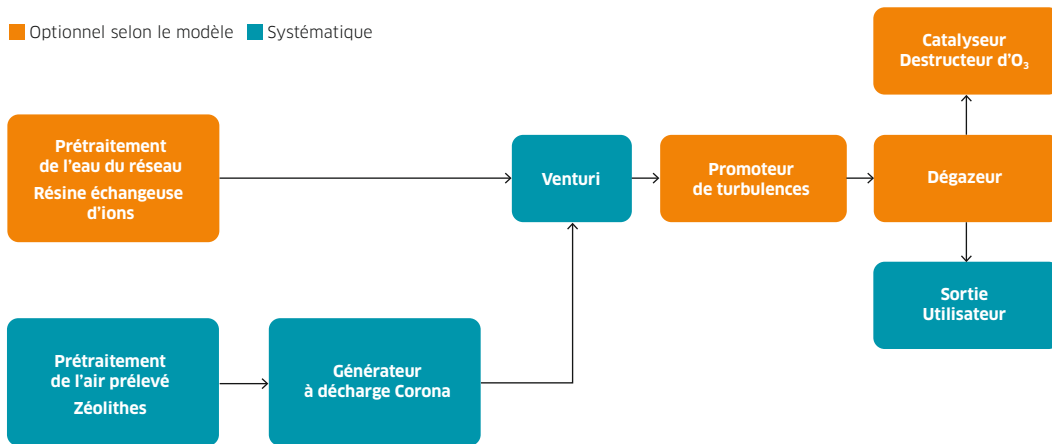
L'objectif de l'étude réalisée par l'INRS était d'analyser expérimentalement le cycle d'usage de l'eau ozonée utilisée pour le nettoyage de surfaces afin de caractériser le risque chimique induit. La démarche repose sur une méthodologie visant à quantifier les flux d'émission gazeux et la charge dissoute résiduelle, pour chaque phase opératoire (production, dispensation, stockage, utilisation par étalement ou pulvérisation).

Matériels et méthodes

Choix des équipements et logique d'étude

Les équipements ont été sélectionnés en 2023 pour couvrir les technologies de génération dominantes et les architectures matérielles variées. Le corpus comprend :

- quatre centrales murales (notées A à D), produisant de l'ozone par décharge couronne à partir d'air ambiant ;
- quatre pulvérisateurs (notés E à H), dont des systèmes électrochimiques auto-producteurs (pulvérisateurs E et F) et des pulvérisateurs mécaniques à réservoir alimentés par les centrales murales (pulvérisateurs G et H).



← FIGURE 1
Schéma fonctionnel simplifié des centrales murales de production d'eau ozonée étudiées. Les blocs bleus correspondent aux sous-ensembles systématiques ; les blocs orange à des sous-ensembles dépendants du modèle.

Parmi les centrales murales, seule la centrale B permet un réglage utilisateur de la puissance de fonctionnement. Les essais ont été réalisés pour ses trois niveaux de puissance, désignés B1, B2 et B3 dans la suite de l'article, tandis que les centrales A, C et D fonctionnent à un niveau de puissance fixe non ajustable.

L'inspection technique des centrales a permis d'établir un schéma fonctionnel commun (Cf. Figure 1) identifiant les zones critiques d'émission :

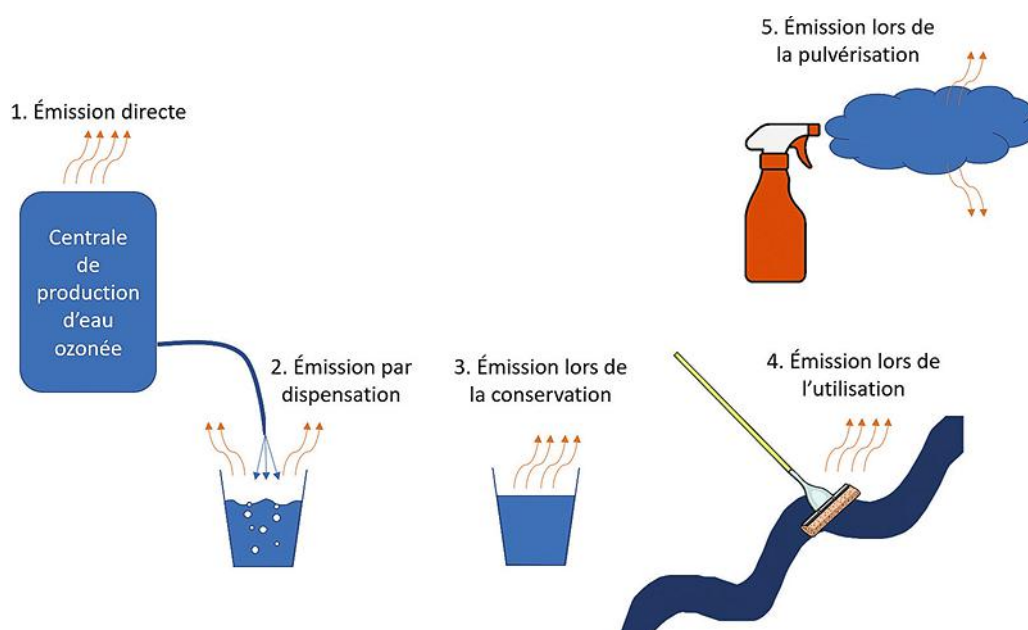
- **prétraitement de l'air et génération** : toutes les centrales intègrent un lit de zéolithes pour la dessiccation de l'air avant le passage dans le générateur à décharge couronne ;
- **dissolution** : le transfert gaz-liquide est assuré par un injecteur Venturi, parfois complété d'un mélangeur statique pour maximiser la surface d'échange entre les phases. Un transfert incomplet peut entraîner des bulles d'ozone gazeux vers la sortie utilisateur ;

- **gestion de la phase gazeuse** : les modèles équipés de séparateurs de phases (dégazeurs) orientent l'excédent gazeux (off-gas) vers un lit catalytique de destruction (centrales A, C et D). Les risques associés incluent la saturation du catalyseur par l'humidité ou la mise en défaut du dégazeur ;
- **distribution** : la sortie utilisateur représente le point de rupture de l'équilibre thermodynamique, où l'agitation mécanique et la chute de pression partielle forcent le dégazage vers l'environnement de travail. Cas particulier pour la centrale B : du fait de l'absence de dégazeur, la totalité de l'excédent gazeux est émise au point de soutirage.

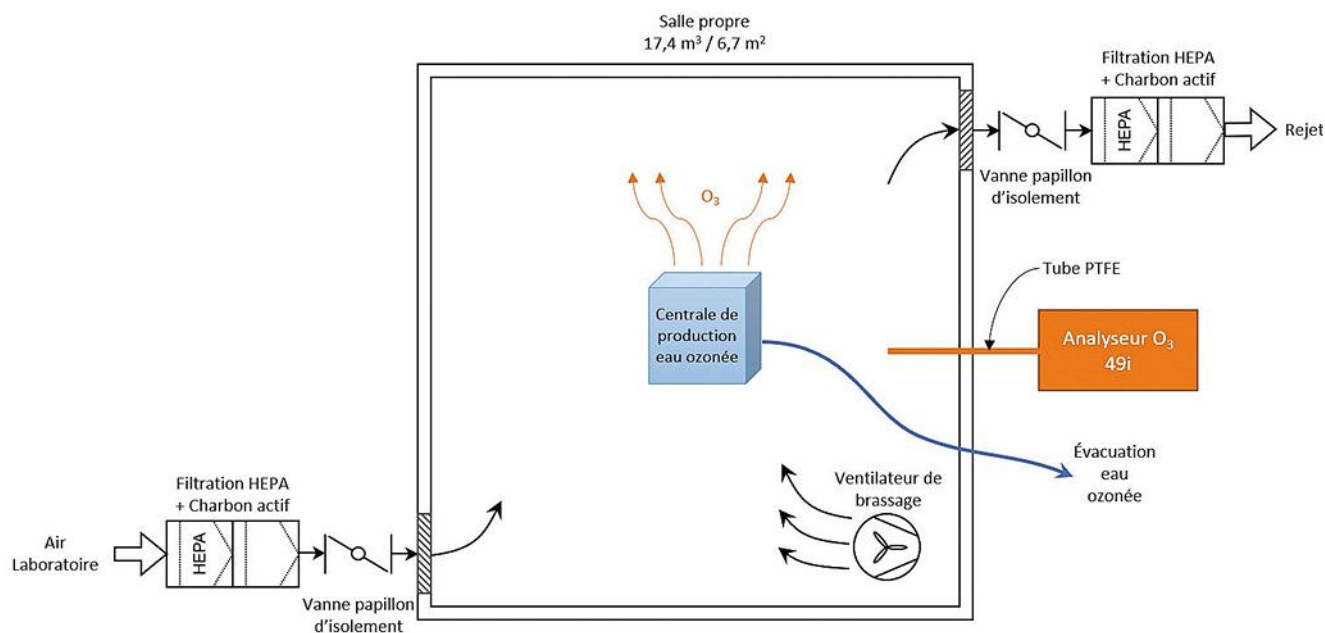
Scénarios opératoires et phases émissives

Pour analyser le procédé au plus près du travail réel, l'étude a été organisée en cinq phases opérationnelles (Cf. Figure 2) :

- **émission directe** : mesure des fuites des centrales (circuits internes et destructeurs catalytiques),



← FIGURE 2
Schéma de principe des phases opérationnelles étudiées.



↑ FIGURE 3
Schéma de l'installation expérimentale pour l'évaluation des émissions d'ozone par une centrale de production d'eau ozonée seule.

l'eau produite étant, dans ce cas, évacuée hors de la salle propre d'essais (Cf. Figure 3) ;

- **dispensation** : quantification du dégazage lors du soutirage, en comparant les configurations « avec remous » (chute libre de 40 cm) et « sans remous » (tuyau d'arrivée immergé). L'influence de la différence de hauteur entre la centrale et le point de sortie (effet siphon) a également été investiguée ;
- **stockage statique** : évaluation de l'émission au-dessus de contenants ouverts (seaux de 15 L) ;
- **application au sol** : simulation de nettoyage par film mince (balai à franges) pour quantifier les masses d'eau déposées et les émissions associées ;
- **pulvérisation** : utilisation d'un bras robotisé (UR10e) pour standardiser le geste technique, avec collecte simultanée de l'eau récupérée après impact pour analyse par stripage.

Quantification des émissions d'ozone gazeux

Les mesures ont été réalisées dans une salle propre d'un volume de 17,4 m³ à ventilation contrôlée (exemple de configuration pour l'évaluation de l'émission directe des centrales ; Cf. Figure 3). La concentration en ozone atmosphérique a été suivie en continu par un analyseur UV de référence (Thermo Scientific 49i), prélevant un débit de 1,2 L/min. Les limites instrumentales de détection (LOD_c) et de quantification (LOQ_c), où l'indice c désigne la concentration gazeuse en ozone dans l'air, sont respectivement de 2,0 ppbv et 6,0 ppbv.

La détermination des flux massiques d'ozone repose sur un bilan de matière transitoire appliqué au volume de confinement, assimilé à un volume parfaitement mélangé :

$$V \cdot \frac{dC}{dt} = E - Q \cdot (C - C_0) \quad (1)$$

où V est le volume de la salle propre [m³], C la concentration massique d'ozone dans l'air [µg/m³], t le temps [min], E le flux massique d'émission [µg/min], Q le débit de renouvellement d'air [m³/min] et C₀ la concentration massique d'ozone dans l'air entrant [µg/m³].

Dans les conditions expérimentales retenues pour le calcul, le terme de renouvellement d'air a été considéré comme négligeable sur l'intervalle étudié. Le flux d'émission a donc été estimé à partir de la pente de la régression linéaire de la concentration atmosphérique mesurée entre t₁ et t₂ :

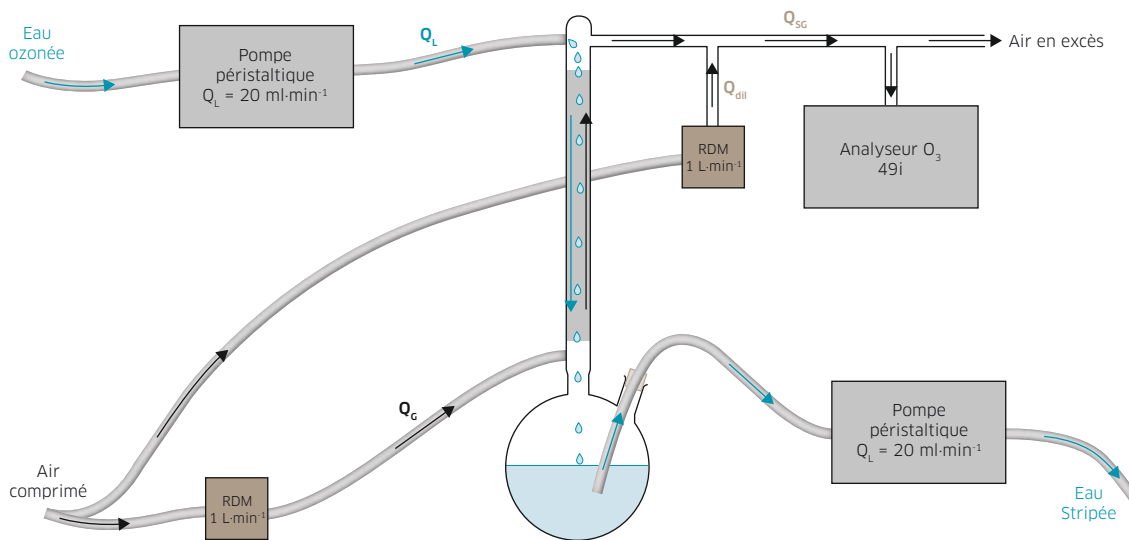
$$E = V \cdot \left(\frac{dC}{dt} \right)_{[t_1, t_2]} \quad (2)$$

où dC/dt_[t₁, t₂] correspond à la pente de la droite de régression ajustée aux concentrations instantanées mesurées dans la salle propre pendant la phase expérimentale considérée.

Cette approche présente une limite de détection LOD_E et une limite de quantification LOQ_E du flux massique d'émission, noté « E », respectivement de 0,1 µg/min et de 0,3 µg/min. L'incertitude élargie (k = 2) sur la détermination du flux massique d'émission est évaluée à 3,3 %.

Quantification de l'ozone dissous

La concentration de l'ozone dissous a été suivie grâce à deux approches complémentaires. La première approche repose sur des méthodes colorimétriques qui ont été utilisées pour des contrôles ponctuels



← FIGURE 4
Schéma du montage de stripage pour la détermination de l'ozone dissous par transfert gaz-liquide et mesure en phase gazeuse.

rapides. La seconde approche est une méthode par stripage dynamique qui a été développée afin de permettre un suivi quantitatif continu de la concentration aqueuse en transférant de manière contrôlée l'ozone dissous vers une phase gazeuse analysée en ligne (Cf. Figure 4).

Pour cette seconde approche, un échantillon d'eau ozonée alimente en continu (20 mL/min) une colonne de verre garnie d'anneaux de Raschig, opérée à contre-courant par un flux d'air épuré (1 L/min). La méthode présente une limite de détection LOD de $4,4 \cdot 10^{-5}$ mg/L, une limite de quantification LOQ de $1,5 \cdot 10^{-4}$ mg/L et une incertitude élargie relative ($k = 2$) de 4,1 %.

Résultats

Émissions intrinsèques aux centrales (émission directe par les appareils lors de la production d'eau ozonée)

L'évaluation des centrales seules met en évidence des comportements différenciés selon l'architecture des appareils (Cf. Figure 5). Pour la centrale dépourvue de dégazeur (B), aucune émission intrinsèque n'a été détectée au-dessus de la limite de détection. En revanche, pour les équipements dotés de systèmes de traitement interne (dégazeur et destructeur catalytique, centrales A, C et D), des débits d'émission massiques médians compris entre 8 µg/min et 100 µg/min ont été observés, prouvant que la seule présence de ces modules de traitement ne garantit pas l'absence de rejets atmosphériques.

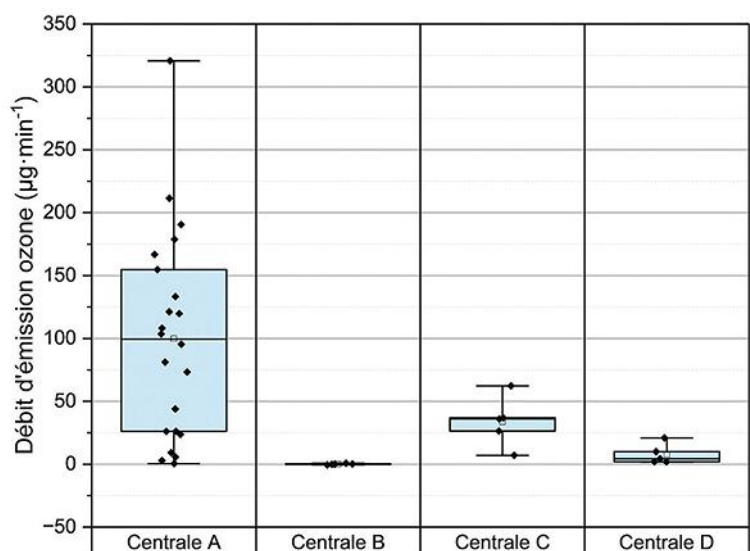
L'analyse temporelle souligne par ailleurs que la dynamique d'émission est étroitement liée à l'historique d'utilisation de l'appareil. Pour la centrale C, après une période de non-utilisation prolongée (supérieure à 24 heures), une phase initiale peu émissive est systématiquement observée avant une augmentation nette des flux d'émission lors de la montée en régime stationnaire. À l'inverse, lors

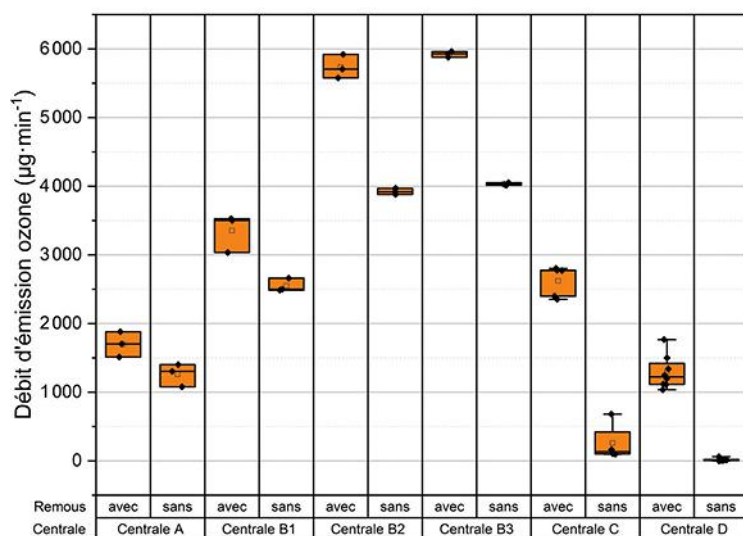
de cycles d'utilisation successifs et rapprochés, les émissions gazeuses sont immédiates dès le démarrage. Un contrôle ponctuel réalisé après une longue pause peut donc occulter le risque réel, tandis qu'un utilisateur opérant par séquences répétées s'expose instantanément aux flux nominaux. En outre, ces phases transitoires modifient non seulement les émissions, mais aussi la concentration d'ozone dissous disponible au point d'usage.

Dispensation : une phase très sensible aux conditions hydrauliques

La Figure 6 synthétise les débits d'émission d'ozone gazeux évalués aux débits d'eau nominaux des différentes centrales. L'analyse démontre une augmentation systématique des émissions lors d'une dispensation générant une chute d'eau de 40 cm (« avec remous ») comparativement à un soutirage où l'extrémité du tuyau est immergée dans le réceptacle (« sans remous »). Ces essais

↓ FIGURE 5
Débit d'émission d'ozone gazeux par les centrales seules isolées dans la salle propre d'essai.





↑ FIGURE 6
Débits d'émission d'ozone gazeux lors de la dispensation (débit nominal). Comparaison selon l'équipement et l'hydrodynamique du soutirage : avec remous (hauteurs [centrale-sortie]/[sortie-surface] de 0/40 cm) et sans remous (40/0 cm).

confirment que la turbulence mécanique accroît le débit d'émission de manière cohérente pour tous les équipements.

En détail, une augmentation d'au moins un ordre de grandeur a été observée pour les systèmes C (la médiane passe de 132,8 µg/min à 2772,0 µg/min) et D (de 16,3 µg/min à 1223,2 µg/min). Pour la centrale A, l'augmentation s'établit de 1304,7 µg/min sans remous à 1704,0 µg/min avec remous. L'architecture matérielle conditionne directement l'amplitude de ces rejets. Le système à injection directe B génère les émissions les plus importantes en raison de l'absence de dégazeur interne : l'intégralité de l'ozone gazeux injecté pour enrichir l'eau est rejetée au point de dispensation. Les niveaux

d'émission de cette centrale B, déjà très élevés en soutirage sans remous (médianes comprises entre 2500,0 µg/min et 4027,7 µg/min selon le niveau de puissance réglé, B1 à B3), subissent un stripage additionnel de 40 % à 47 % sous l'effet de l'agitation, pour atteindre 3501,7 µg/min à 5929,3 µg/min.

Les essais ont aussi mis en évidence que, lorsqu'une différence de hauteur importante existe entre la centrale et le point de soutirage (sortie du tuyau placée en deçà de 40 cm en dessous de la centrale), un comportement de type siphon peut apparaître et perturber le fonctionnement du dégazage interne. Dans ce cas, l'émission n'est plus seulement liée à la turbulence du puisage, elle traduit également une mise en défaut du système de gestion de l'ozone résiduel à l'intérieur de la centrale.

Stockage de l'eau et application en film mince

À l'inverse des phases précédentes, le stockage de l'eau ozonée dans un récipient ouvert n'a pas conduit à des émissions mesurables dans les conditions retenues. Le cas d'une application en film mince sur le sol a été examiné au moyen d'un calcul majorant fondé sur un bilan massique : la masse d'ozone contenue dans le volume d'eau effectivement déposé a été rapportée au volume d'air de la salle propre, en supposant de manière conservative un transfert intégral de cet ozone vers l'air. Contrairement aux phases précédentes, ce cas n'a donc pas été exprimé en flux d'émission, faute d'élément cinétique permettant de définir une durée représentative d'émission. Les calculs montrent que l'augmentation théorique maximale de la concentration dans la salle propre resterait

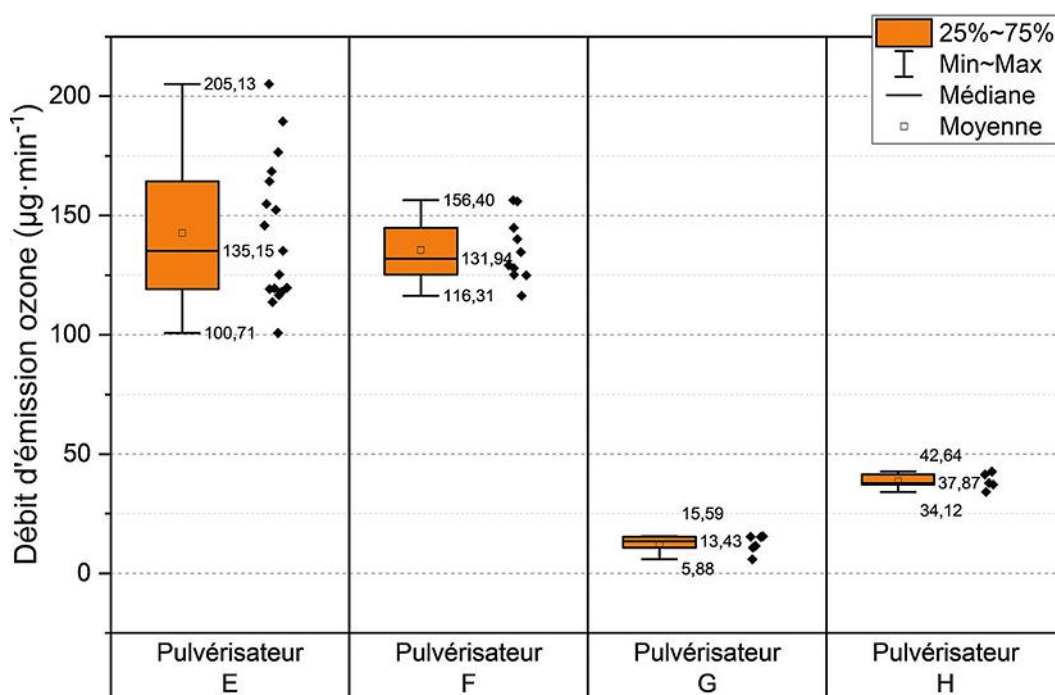
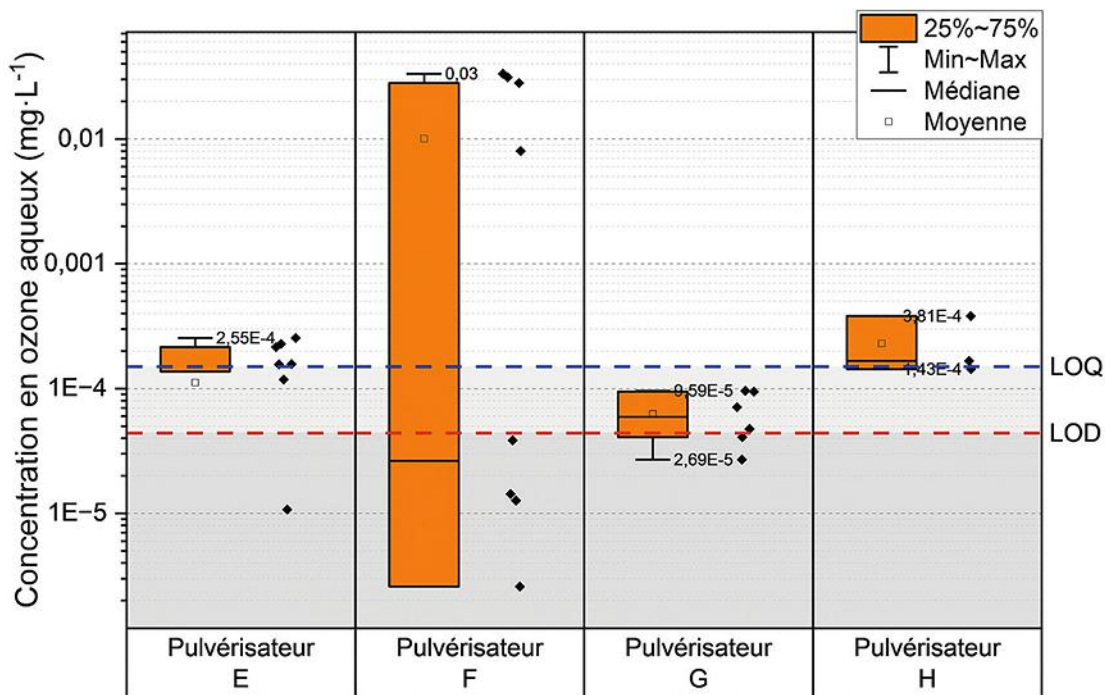


FIGURE 7 →
Débits d'émission d'ozone gazeux mesurés lors de la pulvérisation (µg·min⁻¹) pour les différents équipements testés.



← FIGURE 8
Concentration en ozone de l'eau collectée après pulvérisation et dépôt, en fonction du type de pulvérisateur.

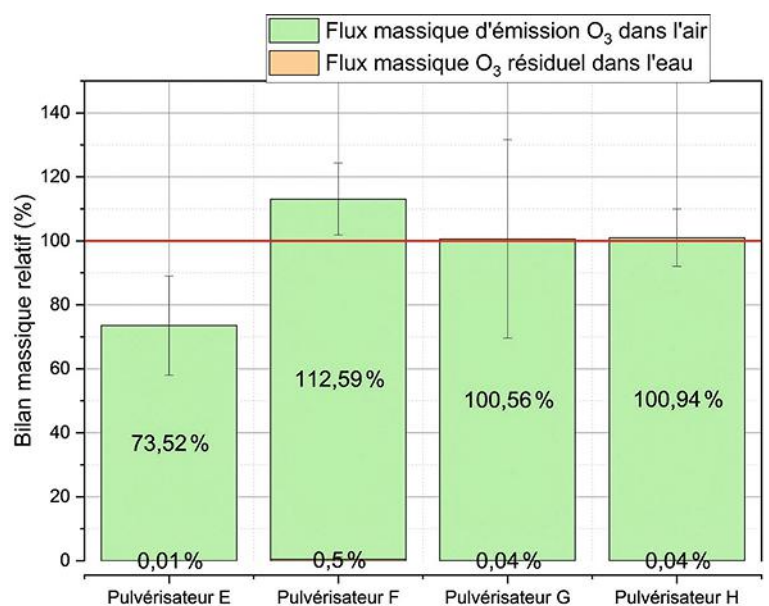
limitée à 2,3 ppbv, soit une valeur inférieure à la LOQ. En outre, cette approche conservatrice ne tient compte ni de la dégradation spontanée de l'ozone dissous au cours du temps, ni de sa consommation chimique au contact des fibres et des salissures des supports de lavage, deux phénomènes qui réduisent encore la fraction gazeuse émise.

Pulvérisation

L'analyse des débits d'émission révèle une dichotomie marquée selon la conception de l'équipement (Cf. Figure 7). Les pulvérisateurs électroniques, intégrant une cellule d'électrolyse pour une génération *in situ* lors de l'actionnement, génèrent les flux les plus élevés : le modèle E atteint une moyenne de $142,6 \pm 31,4$ $\mu\text{g}/\text{min}$, suivi par le modèle F à $135,6 \pm 12,6$ $\mu\text{g}/\text{min}$. À l'inverse, les pulvérisateurs mécaniques, préalablement remplis avec l'eau issue des centrales de production, agissent uniquement comme dispositifs d'aérosolisation et présentent des émissions moindres : $12,5 \pm 3,7$ $\mu\text{g}/\text{min}$ pour le système G et $38,7 \pm 3,3$ $\mu\text{g}/\text{min}$ pour le modèle H. L'analyse de la phase aqueuse collectée en aval de la buse confirme l'épuisement quasi total de l'ozone (Cf. Figure 8). Pour l'ensemble des technologies, l'ozone dissous de la phase aqueuse est transféré vers l'air lors du déplacement de la gouttelette. Les concentrations résiduelles du système G se situent systématiquement sous la LOQ, tandis que celles des modèles H et E fluctuent autour de la LOQ. Seule l'eau collectée après pulvérisation avec le modèle F a présenté, lors d'une session isolée, des traces d'ozone quantifiables mais extrêmement dispersées et faibles (jusqu'à 0,033 mg/L).

La répartition de l'ozone lors de la pulvérisation (Cf. Figure 9) a été exprimée relativement à une quantité de référence fixée à 100 %. Pour les pulvérisateurs électroniques E et F, cette référence est calculée à partir de la concentration théorique annoncée par le constructeur, la concentration réellement produite à la sortie du pulvérisateur ne pouvant être mesurée directement sans introduire un biais important. Les écarts observés par rapport à 100 %, négatif pour E et positif pour F, traduisent donc notamment l'écart entre cette référence théorique et la quantité d'ozone effectivement produite et mesurée au cours du bilan.

↓ FIGURE 9
Bilan massique relatif de l'ozone lors de la pulvérisation (répartition des flux en $\mu\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$). La référence (100 %) correspond, pour les pulvérisateurs électroniques E et F, à la quantité d'ozone calculée à partir de la concentration théorique annoncée par le constructeur, et, pour les pulvérisateurs mécaniques G et H, à la quantité d'ozone effectivement produite et mesurée au cours du bilan.



Indépendamment de ces écarts au bilan de référence, la répartition entre les phases gazeuse et aqueuse montre un stripage quasi intégral lié à l'augmentation considérable de la surface d'échange air-eau lors de la pulvérisation. Plus de 99 % de l'ozone retrouvé dans le bilan après pulvérisation se retrouve dans la phase gazeuse. La pulvérisation transforme par conséquent le dispositif en une source d'émission atmosphérique, l'eau résiduelle étant dépourvue *a priori* de substance active au point d'impact.

Une modélisation de champ proche, basée sur un volume respiratoire hémisphérique de 20 cm de rayon, indique qu'une seule impulsion d'une seconde génère des concentrations locales dépassant 500 ppbv pour les modèles électroniques. Cette approche théorique confirme l'ordre de grandeur critique de l'exposition dans la zone respiratoire directe de l'opérateur.

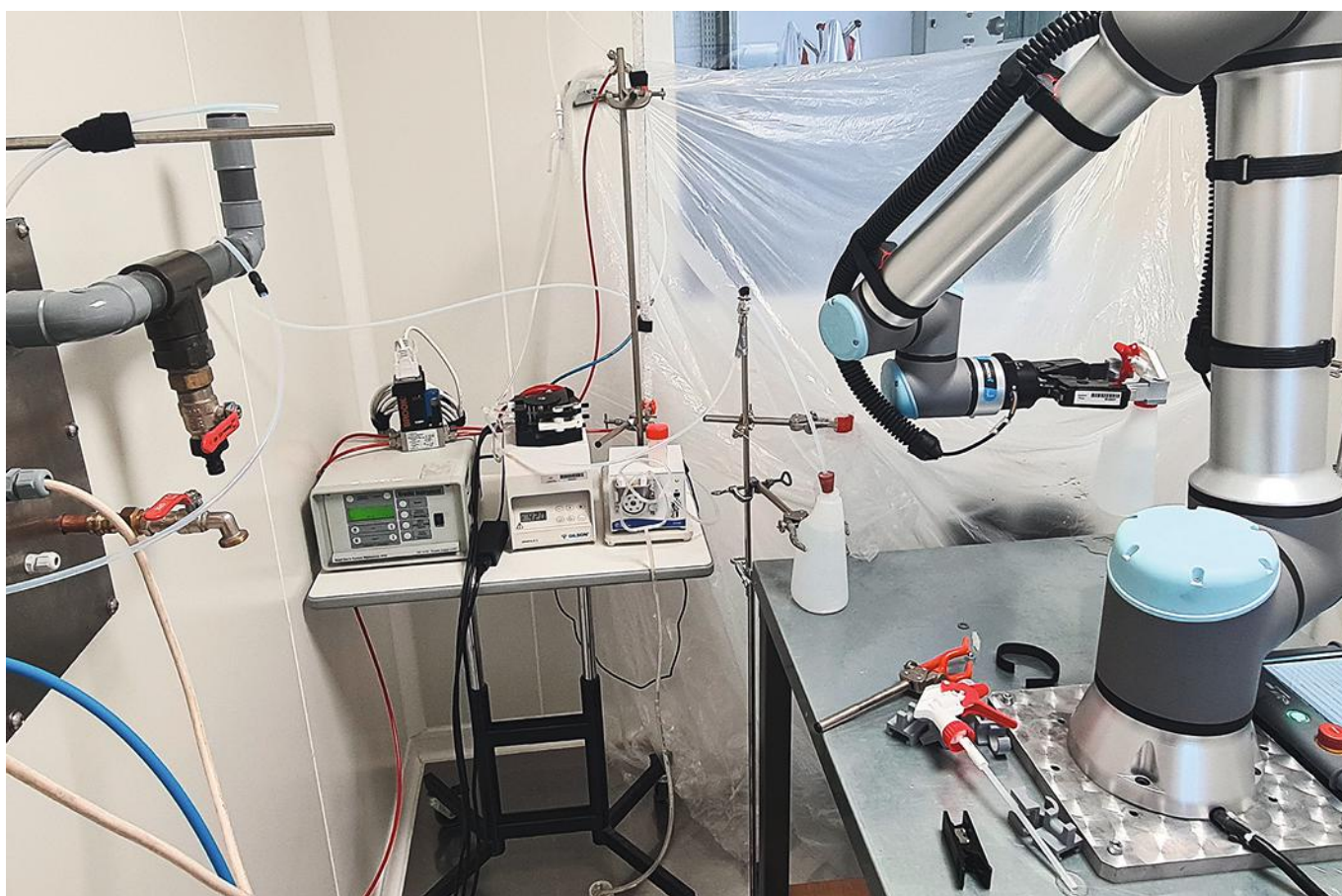
Enfin, l'ouverture des réservoirs après usage libère un volume de gaz accumulé dans l'espace de tête ou le circuit interne de certains appareils. Ce phénomène de relargage constitue une source d'exposition ponctuelle additionnelle dépassant localement les 2000 ppbv, indépendante du geste de pulvérisation proprement dit.

Bras robot utilisé pour l'évaluation des émissions d'ozone lors de la pulvérisation d'eau ozonée.

Discussion

Les résultats expérimentaux démontrent que le flux massique d'émission gazeuse ne dépend pas exclusivement de la technologie de génération, mais des conditions hydrodynamiques et aérodynamiques de la phase opératoire. Une centrale présentant des fuites indétectables en mode statique devient une source d'émission de premier ordre lors d'un soutirage turbulent. De la même façon, une solution d'eau ozonée stable au repos libère l'intégralité de sa charge gazeuse lors d'une pulvérisation. Cette variabilité dicte l'approche de prévention : l'évaluation du risque exige une analyse fine des gestes professionnels et des interfaces gaz-liquide réelles au poste de travail.

L'introduction de l'eau ozonée procède fréquemment d'une volonté de substitution visant à supprimer le stockage et l'utilisation de détergents ou de désinfectants. Si cette démarche réduit effectivement la manipulation de produits chimiques formulés, elle induit en revanche de nouveaux risques [6]. Ainsi, si le risque associé aux produits conventionnels de nettoyage et de désinfection est majoritairement cutané, celui inhérent à la production et à la manipulation de solutions d'eau ozonée est majoritairement respiratoire.



© Benjamin Sutter / INRS / 2026

Il découle de l'inhalation d'ozone, émis directement par dégazage des solutions d'eau ozonée dans la zone respiratoire. Par conséquent, cette démarche de substitution ne peut s'envisager sans une évaluation méthodologique rigoureuse. Cela implique de connaître la cinétique de transfert de l'ozone vers l'atmosphère de travail, au travers des débits d'émission vers la phase gazeuse.

Par ailleurs, les données expérimentales indiquent que, lors d'une pulvérisation, l'ozone est intégralement transféré vers l'air du lieu de travail avant l'impact de l'eau sur la surface. Concernant l'imprégnation de textiles de nettoyage ou l'application en film mince, le transfert massif vers l'air est faible, mais la consommation de l'ozone par oxydation de la charge organique ou du support textile est quasi instantanée. La décomposition immédiate de l'ozone, quel que soit le procédé d'application de l'eau ozonée, fait donc disparaître la perspective d'usage de ce liquide en tant que nettoyant par oxydation ou en tant que biocide [7]. Les résultats des travaux menés imposent, de plus, de proscrire la pulvérisation de l'eau ozonée. Ce procédé expose l'opérateur à de forts gradients de concentration. L'installation des centrales murales exige un dimensionnement aérodynamique des locaux et un contrôle des raccordements pour éviter les effets « siphon » perturbant les modules de dégazage internes. La mise en place d'un captage à la source au point de dispensation est impérative pour prévenir une exposition respiratoire de l'opérateur. Pour les méthodes manuelles telles que l'imprégnation des bandeaux de lavage, on note l'absence d'émission atmosphérique mais le suivi de la concentration aqueuse maintenue au contact des surfaces reste un préalable

incontournable pour statuer sur l'existence d'une action nettoyante ou biocide réelle.

Conclusion

L'étude montre que l'eau ozonée ne peut pas être considérée comme un produit « conventionnel » de nettoyage ou de désinfection. Son comportement dépend étroitement de la phase du cycle d'usage considérée. Les situations les plus critiques pour l'exposition respiratoire des opérateurs sont associées aux perturbations mécaniques qui favorisent le transfert de l'ozone vers l'air, en particulier lors de la dispensation avec remous et, plus encore, lors de la pulvérisation. Les mesures montrent que la pulvérisation expose les voies respiratoires à des pics d'ozone sans déposer de substance active sur la surface. Par ailleurs, faute de stabilité de l'ozone sur le support, il semble difficile de garantir une action oxydante ou biocide sur une surface lors de l'application par étalement d'eau ozonée en film mince.

Enfin, l'installation des centrales nécessite des systèmes de captage à la source et une ventilation des locaux, souvent absents des zones dédiées aujourd'hui au matériel d'entretien. En conclusion, le remplacement des produits de nettoyage ou de désinfection conventionnels par l'eau ozonée déplace le risque chimique vers l'air ; de plus, au regard des concentrations résiduelles d'ozone mesurées ou calculées, une action sur les surfaces autre que celle de l'eau utilisée seule apparaît discutable. ●

1. ppb : partie par milliard.

2. CLP : en anglais, Classification, labelling, packaging (classification, étiquetage et emballage).

BIBLIOGRAPHIE

[1] 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>

[2] INRS – *Valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) : substances chimiques*. Base de données. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/publications/bdd/vlep.html> (mise à jour en 2026).

[3] INRS – *Classification et étiquetage des produits chimiques*. Dossier web. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/classification-etiquetage-produits-chimiques/ce-qu-il-faut-retenir.html> (mis à jour en avril 2023).

[4] COMMISSION EUROPÉENNE – *Règlement délégué (UE) 2025/1222 de la Commission du 2 avril 2025 modifiant le règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen*

et du Conseil en ce qui concerne la classification et l'étiquetage harmonisés de certaines substances. Accessible sur : https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2025/1222/oj

[5] SANDER R. – Compilation of Henry's law constants (version 5.0.0) for water as solvent. *Atmospheric Chem. Phys.*, 2023, 23, 19, pp. 10901-12440. Accessible sur : <https://doi.org/10.5194/acp-23-10901-2023>

[6] LEBUISSON A. – Le nettoyage sans utilisation de produits chimiques est-il vraiment sans risques ? Le cas de l'eau ozonée. *Archives des maladies professionnelles et de l'environnement*, 2024, 85, 5, p. 101986. Accessible sur : <https://doi.org/10.1016/j.admp.2024.101986>

[7] INRS – *La désinfection des surfaces*. ED 6188, 2026. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206188>