

Introduction

L'ozone est utilisé comme désinfectant depuis des décennies et sa popularité évolue au gré des changements technologiques, des coûts et des exigences. Autrefois présenté comme le nouveau « super-désinfectant » destiné à rivaliser avec le chlore, l'ozone dans l'eau ne représente aujourd'hui qu'une petite part du marché et son utilisation est généralement limitée à des applications spécialisées.

En quoi l'ozone est-il si efficace en tant que désinfectant ?

- **Il est très efficace** : l'ozone est environ 20 fois plus efficace que le chlore¹.
- **Il permet de lutter contre les agents pathogènes résistants au chlore, tels que *Cryptosporidium parvum* et *Giardia lamblia*** — le Crypto et la Giardia se propagent généralement sous forme d'oocystes résistants à la désinfection au chlore²
- **Il est bien plus efficace que le chlore pour oxyder les composés organiques** — les sous-produits de désinfection tels que les trihalométhanes (THM), formés par la réaction du chlore avec les composés organiques, sont considérés comme cancérogènes. L'ozone peut décomposer ces composés organiques de manière à empêcher la formation de sous-produits de désinfection (SPD) lorsque du chlore est ajouté plus tard dans le processus³.
- **La désinfection à l'ozone ne génère aucun sous-produit de désinfection** : l'oxydation par l'ozone n'entraîne pas la formation de SPD⁴.
- **Quels sont les problèmes liés à l'utilisation de l'ozone comme désinfectant ?**
- **Très agressif pour les matériaux** : l'ozone n'est pas chimiquement compatible avec de nombreux matériaux de construction courants et il convient de faire preuve de prudence vis-à-vis des matériaux de construction⁵.
- **Difficile à mettre en solution – en particulier à des températures élevées** – l'ozone est notoirement difficile à mettre en solution et des protocoles sophistiqués ainsi que des systèmes de mélange complexes sont nécessaires pour garantir sa stabilité⁶.
- **Extrêmement irritant et potentiellement toxique** – l'ozone
- peut être identifié par son odeur caractéristique et l'exposition à l'ozone est réglementée dans la plupart des juridictions^{7,8}.
- **Entretien coûteux et forte consommation d'énergie** — l'ozone est généré au point d'utilisation, généralement par décharge électrique dans l'air ou l'oxygène. Le coût de ces générateurs dépasse de loin celui d'un réservoir et d'une pompe (chlore).
- **Difficulté à mesurer la concentration résiduelle et à contrôler le processus** — voir ci-dessous.



Applications

- Comme mentionné ci-dessus, l'ozone n'est généralement pas le premier choix en tant que désinfectant en raison de son coût et de sa complexité. Il existe toutefois des applications spécifiques pour lesquelles l'ozone s'avère globalement le plus efficace pour obtenir les résultats souhaités.
- Les applications spécifiques les plus courantes sont décrites ci-dessous :
- **Traitement de l'eau potable – prétraitement (matières organiques)** – l'ozone dissous est utilisé pour détruire les matières organiques présentes dans l'eau brute afin de réduire le risque de formation de sous-produits de désinfection lors de l'ajout ultérieur de chlore dans le processus.
- **Traitement de l'eau – prétraitement (élimination du Fe et du Mn)** – l'ozone peut s'avérer extrêmement efficace pour oxyder le fer et le manganèse en formes insolubles, ce qui permet de les éliminer de l'eau potable avant tout traitement supplémentaire⁹.
- **Eau potable en bouteille** – l'eau potable en bouteille est souvent désinfectée à l'ozone car celui-ci est extrêmement efficace et ne laisse aucun résidu. Cela signifie donc qu'il n'y a pas de goût résiduel. Une fois traitées à l'ozone, les bouteilles sont scellées et l'eau ne nécessite aucun désinfectant résiduel.
- **Aquaculture/Aquariums** – L'ozone est utilisé dans les aquariums et l'aquaculture pour désinfecter l'eau et réduire les quantités de désinfectant résiduel nécessaires¹⁰ (voir plus loin dans ce document pour des commentaires sur l'ozonation de l'eau de mer).
- **Nettoyage (prévention de la pourriture)** - de faibles concentrations d'ozone peuvent réduire la présence de bactéries à la surface des denrées alimentaires (en particulier les fruits), ce qui peut retarder considérablement l'apparition de la pourriture, prolonger leur durée de conservation et, par conséquent, augmenter leur valeur.
- **Certaines eaux usées industrielles** - certaines eaux usées industrielles nécessitent un oxydant extrêmement puissant afin de rendre ces déchets inoffensifs pour l'environnement.
- **Piscines et spas** - dans les années 80 et 90, une tendance visait à réduire l'utilisation du chlore dans les piscines et les spas, ce qui a conduit à l'introduction de l'ozone. Au fil du temps, le coût d'acquisition et de suivi des équipements de dosage d'ozone dans les piscines a eu tendance à réorienter cette tendance vers une meilleure surveillance et un meilleur contrôle du dosage du chlore.

Mesure et contrôle de la désinfection à l'ozone

Faire en sorte que l'ozone reste en solution suffisamment longtemps pour obtenir une concentration résiduelle mesurable de manière constante, et ainsi contrôler le processus, constitue un véritable défi. Très souvent, la quantité d'ozone dissous (DO_3) dans une solution dépend moins de la demande en ozone ou de la quantité dosée que des conditions ambiantes susceptibles de provoquer la précipitation de l'ozone hors de la solution. Ce phénomène, associé aux concentrations résiduelles relativement faibles requises, complique la surveillance et le contrôle du DO_3 .

La surveillance de faibles concentrations résiduelles nécessite un capteur d'ozone extrêmement sensible et stable.

Au fil des ans, de nombreux types de capteurs ont vu le jour, allant des analyseurs colorimétriques (qui consistent à ajouter un réactif pour que l'échantillon d'eau change de couleur en fonction de la quantité de DO_3 présente, puis à mesurer ce changement de couleur) aux capteurs électrochimiques ouverts. L'industrie s'est Cette extension s'oriente vers l'utilisation de capteurs ampérométriques à membrane, car ceux-ci offrent le meilleur compromis entre vitesse de réponse, durée de vie, coûts d'investissement et d'entretien, stabilité et sensibilité.



Ces capteurs sont extrêmement sensibles (0,001 ppm), mais peuvent être affectés par les fluctuations de pression dans l'échantillon et par les bulles de DO_3 qui se dégagent de la solution. De plus, ils doivent être fabriqués à partir de matériaux résistants à l'ozone, car ce dernier est particulièrement corrosif.

Une fois qu'un système a été mis en place de manière à ce que :

- **la désinfection par l' O_3 dosé soit efficace**
- **le point de mesure est situé suffisamment en aval du point de dosage pour garantir un état stationnaire, mais pas trop en aval au risque que le DO_3 ait pu se précipiter**; on peut alors recourir à une régulation PID pour réguler le dosage en fonction d'une valeur de consigne résiduelle.

L'ozonation de l'eau de mer

L'ajout d'ozone à l'eau de mer introduit un niveau supplémentaire de complexité dans la mesure où l'ozone oxyde les ions bromure présents dans l'eau de mer en HOBr. Cette réaction d'oxydation réduit le DO_3 en radicaux OH qui, à leur tour, agissent également comme un désinfectant oxydant. En réalité, l'ajout d' O_3 à l'eau de mer peut signifier que la désinfection est assurée à la fois par le DO_3 et par l'HOBr. Il peut également y avoir du brome libre résiduel.

Cet ensemble de réactions rend extrêmement difficile le contrôle du dosage à l'aide d'un capteur de DO_3 , et de nombreux opérateurs utilisent simplement un capteur de brome libre (ou de brome total) pour contrôler leurs débits d'ajout.

Références

1. Organisation mondiale de la santé. *Traitement de l'eau et contrôle des agents pathogènes : efficacité des procédés pour obtenir une eau potable sûre* (2004)
2. Korich D. et al., Effets de l'ozone, du dioxyde de chlore, du chlore et de la monochloramine sur la viabilité des oocystes de *Cryptosporidium parvum*. *Applied and Environmental Microbiology* **56**, 1423-1428 (1990)
3. Montecalvo J., Williams D. *Application de l'ozonation à la désinfection des eaux de lavage issues de la transformation des légumes*. Université polytechnique d'État de Californie, San Luis Obispo (2006)
4. Agence américaine de protection de l'environnement. *Fiche d'information sur les technologies de traitement des eaux usées : désinfection à l'ozone* (1999)
5. Commission américaine de réglementation nucléaire. *Compatibilité des matériaux avec l'ozone*. (2018)
6. Département américain de la protection de l'environnement, Direction de l'approvisionnement en eau et de la gestion des eaux usées. *Formation à la certification des opérateurs du réseau d'eau potable, chapitre 27 : L'ozone*
7. Jule, Y., Michaudel, C., Fauconnier, L., Togbe, D. & Riffel, B. Altérations pulmonaires aiguës et chroniques induites par l'ozone chez la souris : une analyse combinée d'imagerie numérique et d'analyse fonctionnelle. *European Respiratory Journal*. **52** 4313 (2018)
8. Health and Safety Executive. *Ozone : risques pour la santé et mesures de contrôle*. (2014)
9. H. Paillard, B. Legube, M.M. Bourbigot & E. Lefebvre. Élimination du fer et du manganèse par ozonation en présence de substances humiques. *Ozone: Science & Engineering* **11** 93-113 (1989)