

CARACTÉRISTIQUES DE L'OZONE

L'ozone (O₃) est une forme très instable et réactive de l'oxygène. C'est un gaz bleuté et odorant, qui se forme naturellement dans la stratosphère sous l'action du rayonnement ultraviolet, émis par le soleil, sur les molécules d'oxygène. Il est généré artificiellement par décharge électrique dans de l'air, de l'oxygène, ou un mélange des deux.

L'ozone est un oxydant très puissant utilisé notamment dans le traitement de l'eau. On parle alors d'ozonation. Celle-ci résulte de deux types d'oxydation bien distincts qu'il convient de définir. L'oxydation dite moléculaire est reliée directement à la molécule d'ozone O₃. L'autre forme d'oxydation, dite radicalaire, est à relier à une forme non commune de l'ozone, où la molécule a perdu un électron apparié (normalement, les électrons sont présents par paires, mais dans le cycle de réactions en chaîne de l'ozone, des dissociations de paires d'électrons peuvent avoir lieu), conduisant à la formation du radical hydroxyle OH•. L'ozone moléculaire est responsable des réactions dites directes, à actions spécifiques ; les radicaux, quant à eux, sont responsables des réactions dites indirectes, beaucoup plus rapides, mais nettement moins ciblées que les premières, les radicaux oxydant un grand nombre de molécules. Il est à noter que certains composés tendent à stabiliser l'ozone dans l'eau, et donc à limiter la formation de ces radicaux. C'est notamment le cas des ions carbonates et bicarbonates.

L'ozone est peu soluble dans l'eau. Sa solubilité augmente avec la température de l'eau et avec sa concentration dans la phase gazeuse.

Inflammable et explosif, l'ozone est aussi plus lourd que l'air (densité par rapport à l'air : 1,657) ; il peut donc s'accumuler près du sol. L'odeur piquante de l'ozone est détectée à un seuil de perception d'environ 0,01 ppm, et l'on considère qu'un taux de 0,25 ppm est préjudiciable à la santé. Le Ministère de l'emploi, du travail et de la cohésion sociale a ainsi fixé une Valeur Limite d'Exposition (VLE) égale à 0,4 mg/m³, soit 0,4 ppm, et une Valeur Moyenne d'Exposition (VME) égale à 0,2 mg/m³, soit 0,2 ppm (valeur calculée sur 8 heures).

L'ozone étant un gaz instable, il est produit sur le lieu de son utilisation par décharge électrique dans un gaz contenant de l'oxygène. Il est généralement utilisé de l'air, qui doit être propre (pour éviter des problèmes de répartition de courant) et sec : son point de rosée devant se situer à - 60°C, afin d'éviter tout problème de corrosion à l'intérieur du générateur d'ozone.

MISE EN ŒUVRE DE L'OZONATION

Traitement de l'air

La figure 1 illustre la filière de production de l'air propre et sec.

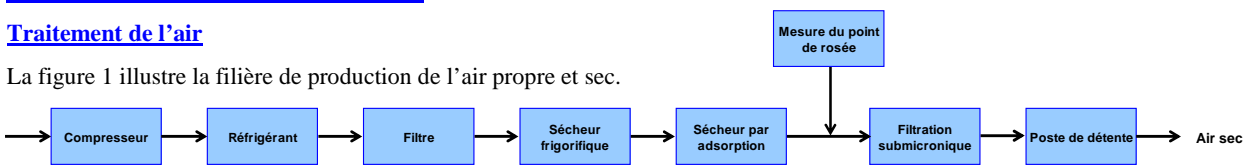


Figure 1

L'air sec est produit à basse pression (< 3 bar), ou moyenne pression (5-8 bar), en fonction de la capacité de production de l'ozone.

Générateur d'ozone

Un générateur d'ozone comprend :

- un corps ;
- un faisceau de tubes formant électrodes, avec diélectrique permettant la répartition de la puissance de décharge sur toute la surface de la cathode (figure 2) ;
- un système de refroidissement par eau circulant autour des électrodes ;
- une zone d'admission de l'air sec et une zone de reprise de l'air ozoné ;
- un dispositif d'alimentation haute-tension.

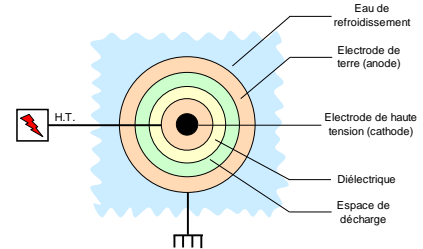


Figure 2

Réacteur

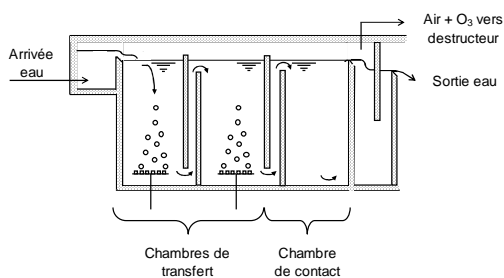


Figure 3

Le réacteur sert au transfert de l'air ozoné dans l'eau et au contact entre l'ozone avec l'eau. Il existe plusieurs types de systèmes de diffusion, dont les plus courants sont les diffuseurs poreux (figure 3) et les mélangeurs (figure 4).

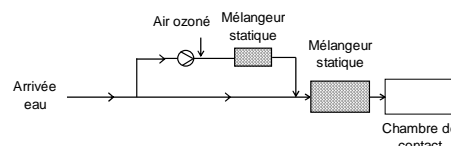


Figure 4

Destructeur d'ozone

L'ozone résiduel dans l'air de l'évent est détruit en mettant en œuvre l'un des deux procédés suivants :

- destruction catalytique : l'ozone est réduit en traversant des composés d'oxydes métalliques (dioxyde de manganèse déposé sur de l'alumine par exemple) ;
- destruction thermique : l'ozone est éliminé en portant l'air à une température de 300 à 350°C pendant 3 à 4 s.

PLACE DE L'OZONATION DANS LA FILIÈRE DE TRAITEMENT

En pré-ozonation

La pré-ozonation est utilisée pour :

- oxyder les ions métalliques, en particulier le fer, surtout s'ils sont complexés à la matière organique (voir Memotec n°16) ;
- réaliser une oxydation poussée de la matière organique sans qu'il y ait formation de THM (voir Memotec n°25). Cela conduit également à faciliter le mécanisme de coagulation-floculation, par destruction de la pellicule organique entourant les particules colloïdales qui empêche la fixation des cations des coagulants ;
- éliminer les algues (voir Memotec n°10), et les composés responsables de goûts et d'odeurs.

En inter-ozonation

L'inter-ozonation est utilisée pour :

- la désinfection : l'ozone est un désinfectant puissant. Un CT de 2 mg.min.l⁻¹ est suffisant pour détruire à 99 % (2 log) les bactéries, les virus et les kystes de Giardia ;
- l'oxydation de la matière organique avant une filtration biologique. Il est à noter que l'ozone transforme une partie des matières non biodégradables assimilables par la biomasse développée sur les grains du média filtrant. Pour cette raison l'ozonation ne doit pas être utilisée en désinfection finale afin de ne pas apporter de nutriments aux micro-organismes.

LE PROBLÈME SPÉCIFIQUE DES BROMATES

Les bromates, formés par la réaction de l'ozone sur les bromures, ont été classés dans la catégorie 2B des produits cancérigènes par le Centre International de Recherche sur le Cancer. Le décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001, codifié en 2003 dans le code de la santé publique fixe une limite de qualité à 25 µg/l jusqu'au 25/12/08, abaissée ensuite à 10 µg/l. Les paramètres influençant la formation des bromates sont nombreux, et ont des interactions complexes. On peut cependant les décrire brièvement :

- la concentration initiale en bromures : on estime qu'environ 17% des bromures sont transformés en bromates ;
- la température : la concentration en bromates augmente avec la température ;
- le pH : la formation des bromates est limitée par un pH inférieur à 6,5 ;
- la concentration en ammoniacque : la présence d'ammoniacque retarde la formation de bromates du fait d'une compétition entre les espèces chimiques : il y a préférentiellement formation de bromamines ;
- la matière organique : en général, elle limite la formation de bromates, car elle est plus réactive vis-à-vis de l'ozone moléculaire et des radicaux. On estime que le rapport O₃/COT idéal est inférieur à 0,8 ;
- la concentration en ozone : en désinfection on limite au maximum le résiduel d'ozone en favorisant le temps de contact, pour une valeur de CT donnée ;
- l'efficacité hydraulique du réacteur : en se rapprochant du flux piston (chicanage), on peut diminuer le dosage en O₃ ;
- le résiduel de l'ozone en sortie du réacteur : en neutralisant le résiduel par injection de bisulfite de sodium, on évite que l'action de l'ozone sur les bromures se prolonge, avant que l'eau n'atteigne les filtres à CAG.

DIMENSIONNEMENT

CONCENTRATION EN OZONE DE L'AIR OZONÉ	RÉACTEUR
Ozone (10 à 40 g/Nm ³) Oxygène (diminue avec l'altitude, augmente avec la température)	En pré-ozonation, une seule chambre de contact suffit, avec un temps de séjour de quelques minutes, le transfert de l'air ozoné s'effectuant à l'aide de mélangeurs statiques.
COEFFICIENT DE TRANSFERT	
Poreux : 85 à 90 % Mélangeur statique : 80 à 90 %.	En inter-ozonation, le réacteur comprend deux chambres de transfert avec un temps de résidence de 4 mn chacune au minimum (max. 7,5 mn). Une troisième chambre sert à prolonger l'action de l'ozone et à diminuer le résiduel. Il est à noter que le temps de séjour, le CT et le résiduel, sont mesurés en sortie de la dernière chambre de transfert (hauteur d'eau : 5 m au-dessus des diffuseurs).
DOSAGES	
Fer : 0,43 mg O ₃ par mg Fe Manganèse : 0,88 mg O ₃ par Mn Matière organique : 0,5 à 1,0 g par g de COT Goûts et odeurs : 1,5 mg/l	

CONCLUSION

L'ozone est l'oxydant chimique le plus puissant utilisé pour la production d'eau destinée à la consommation humaine. Malgré son coût et les spécificités de l'exploitation de l'installation de production, l'ozonation apporte des avantages indéniables en différents points d'une filière de traitement.