

Les photons peuvent détruire directement les pathogènes et les polluants

Marie-Thérèse Maurette (*coordinatrice*), Nathalie Karpel Vel Leitner, Florence Benoit-Marquié et Cédric Féliers

Résumé Cet article présente un bref aperçu de l'utilisation des photons UV (ultraviolet) et UV-V (ultraviolet du vide) dans le traitement et la désinfection de l'eau, ainsi que celle des photons UV-V dans le traitement de l'air.

Mots-clés Irradiations UV et UV-V, radicaux hydroxyle, traitement de l'air et de l'eau.

Abstract Photons used against pathogens and pollutants

A brief survey of water treatment and disinfection with UV (ultraviolet) and V-UV (vacuum-ultraviolet) irradiation and also of air treatment with V-UV irradiation is reported in this article.

Keywords UV and UV-V irradiation, hydroxyl radicals, water and air treatment.

Lorsque les photons sont utilisés seuls pour la dépollution ou la désinfection, ils peuvent :

- soit interagir directement avec des réactifs oxydants photo-activables tels que l'eau oxygénée ou l'ozone ;
- soit interagir directement avec un polluant ou un micro-organisme (photolyse) susceptible d'absorber son énergie, induisant des réactions de dégradation ;
- soit réagir avec l'eau, mais uniquement lorsque l'irradiation s'effectue dans l'ultraviolet du vide (UV-V).

Dans le premier et le dernier cas, un oxydant puissant et peu sélectif est généré : le radical hydroxyle HO^\bullet , qui a prouvé son efficacité pour le traitement de l'eau [1] ou de l'air [2].

Quelle source lumineuse pour quel usage ?

Pour la photolyse de l'eau oxygénée ou de l'ozone, ou pour la désinfection de l'eau, deux types de lampes UV conventionnelles sont généralement utilisées : les lampes à mercure dites « basse pression », émettant à 253,7 nm mais dont la puissance ne dépasse pas 600 W, et les lampes à mercure « moyenne » pression polychromatiques (*figure 1*) pouvant atteindre une puissance électrique de plusieurs dizaines de kW.

En revanche, la photolyse de l'eau nécessite des photons de plus grande énergie, c'est-à-dire des radiations UV-V de longueurs d'onde inférieures à 200 nm. L'UV-V a longtemps été le domaine des physiciens et de la chimie atmosphérique. Depuis quelques années, la mise au point de lampes à excimères [3] a ouvert de vraies perspectives d'applications industrielles [4-5]. En effet, ces lampes, qui peuvent être très puissantes et dont l'émission est pratiquement monochromatique, présentent une souplesse de forme très intéressante (plane, cylindrique ou autre) et une gamme de radiations monochromatiques allant de l'UV-V à l'UV-A, suivant la nature du gaz qu'elles contiennent

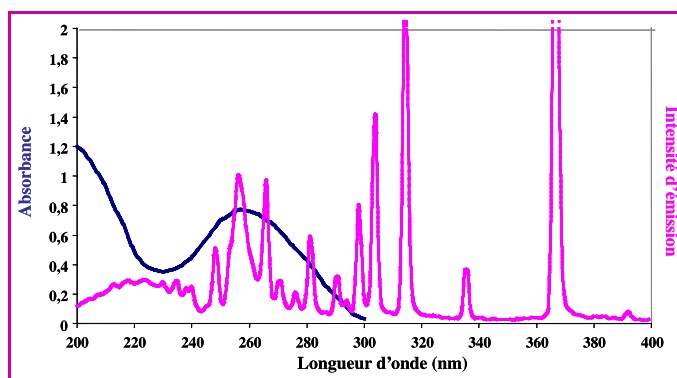


Figure 1 - Spectre d'absorption de l'ADN (bleu) et spectre d'émission d'une lampe à mercure moyenne pression.

L'émission dans le visible n'est pas présentée car seule la partie UV est active.

Tableau I - Principaux gaz et mélange de gaz utilisés dans les lampes à excimère et longueurs d'onde d'émission respectives [9].

		Néon	Argon	Krypton	Xénon
			126	146	172
Fluor	154	108	193	249	351
Chlore	258		175	222	308
Brome	291		165	207	283
Iode	341			190	253

(*tableau I*) [6]. Ce gaz peut être un gaz noble (Ar, Kr, Xe) pour l'UV-V ou un halogénure de gaz noble (KrF, XeBr, XeCl, XeF, KrCl) pour l'UV. Leur principe repose sur la formation par décharges électriques dites silencieuses de molécules à l'état excité (excimères pour deux atomes identiques ou exciplexes si les deux atomes sont différents). La désactivation de ces molécules se fait avec émission d'une

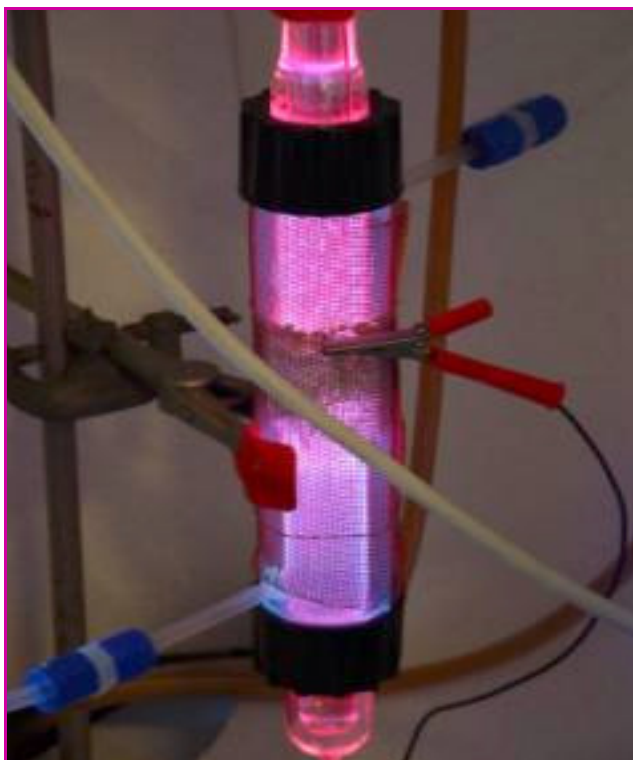
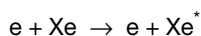


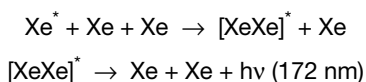
Figure 2 - Réacteur pour le traitement de l'air équipé d'une lampe à excimère xénon (172 nm).

Actuellement, des lampes sont commercialisées par la société Radium pour l'obtention d'eau ultra-pure, mais pas encore pour l'épuration d'eaux usées qui reste à l'échelle pilote.

radiation monochromatique. Les équations suivantes dans le cas du xénon illustrent le processus :



La formation de l'excimère $[\text{XeXe}]^*$ est une réaction dite à trois corps : elle sera favorisée par une augmentation de la pression du gaz dans la lampe.



Les lampes UV-V permettent la production dans l'eau de très fortes concentrations en radicaux HO^\bullet entraînant une minéralisation rapide des polluants. Ces lampes sont également très efficaces pour le traitement des effluents gazeux (figure 2), à condition de maîtriser la vitesse de passage des gaz à travers le réacteur par l'utilisation, par exemple, de zéolithes [7].

Les applications pour la potabilisation de l'eau

La destruction des polluants dissous dans l'eau repose sur l'action des radicaux HO^\bullet (photochimie induite [8]) dont les mécanismes sont connus pour des molécules de structure simple pour lesquelles les sous-produits non toxiques ont été identifiés. C'est le cas de solvants comme le trichloréthylène (TCE), le perchloréthylène (PCE) ou le méthyl tertiobutyl éther (MTBE) que l'on trouve dans les essences et dans les solvants à usage domestique. Certains

polluants comme les pesticides sont cependant récalcitrants car les sous-produits formés conservent souvent une structure intermédiaire analogue et restent toxiques. Pour cette raison et compte tenu de la réglementation concernant les teneurs en pesticides ($0,1 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) et en sous-produits totaux ($0,5 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), le traitement des eaux contenant des pesticides par les radicaux HO^\bullet est interdit en France. Leur emploi reste cependant autorisé pour l'élimination de polluants spécifiques tels que les solvants chlorés, sous réserve de prouver la non-toxicité des sous-produits. Très peu d'installations sont ainsi recensées en France. La réglementation est différente dans d'autres pays d'Europe comme aux Pays-Bas où l'usage des procédés d'oxydation radicalaire en eau potable est admis. Les risques de présence de sous-produits toxiques sont limités avec l'ajout d'une étape d'adsorption de produits organiques sur du charbon actif, après l'oxydation.

Dans le domaine de la désinfection des eaux potables ou résiduaires, on utilise des rayonnements, le plus souvent dans l'UV-C (entre 200 et 280 nm), qui provoquent des réactions photochimiques dans les micro-organismes et bloquent leur réplication. En 2000, environ 50 000 installations de potabilisation à travers le monde étaient équipées de tels réacteurs UV et les usines d'assainissement, notamment en zones sensibles de baignade ou de pêche, les utilisent de plus en plus.

Avec des lampes à mercure moyenne pression, la dose moyenne est de $400 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$, ce qui implique un temps de passage généralement très court des eaux usées dans les réacteurs dont le débit est adapté pour obtenir un temps de passage de l'ordre de 5 secondes.

Les mesures radiométriques effectuées en continu permettent de vérifier les doses envoyées par la lampe et de détecter les anomalies telles qu'un dépôt de matière sur la lampe. Les doses nécessaires varient suivant les micro-organismes présents dans l'eau. Ainsi, pour les bactéries *Salmonella typhirium*, une dose entre 35 et $41 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ est nécessaire, alors que pour les spores de *Legionella pneumophila* et de *Bacillus subtilis*, il en faut respectivement 50 et $500 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$. Il en est de même pour les virus de l'hépatite A dont la dose se situe entre 82 et $137 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$, ou le polyovirus qui nécessite une dose entre 87 et $110 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$, alors que l'adénovirus 40 en nécessite $600 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$.

Références

- [1] Anbar M., Neta P., A compilation of specific bimolecular rate and hydroxyl radical with inorganic and organic compounds in aqueous solution, *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, **1967**, 18, p. 493.
- [2] Atkinson R., Kinetics and mechanisms of the gas-phase reactions of the hydroxyl radical with organic compounds under atmospheric conditions, *Chem. Rev.*, **1986**, 86, p. 69.
- [3] Eliasson B., Kogelschatz U., UV excimer radiation from dielectric-barrier discharges, *Appl. Phys. B*, **1988**, 46, p. 299.
- [4] Braun A.M., Pintori I.G., Popp H.P., Wakahata Y., Worner M., Technical development of UV-C- and V-UV-photochemically induced oxidative degradation processes, *Water Sci. Technol.*, **2004**, 49(4), p. 235.
- [5] Lomaev M.I., Sosnin E.A., Tarasenko V.F., Schitz D.V., Skakun V.S., Erofeev M.V., Lisenko A.A., Excilamps of barrier and capacitive discharges and their applications, *Pribory i Technika Eksperimenta*, **2006**, 5, p. 5.
- [6] Gellert B., Kogelschatz U., Generation of excimer emission in dielectric barrier discharges, *Appl. Phys. B*, **1991**, 52, p. 14.
- [7] Monneyron P., de la Guardia A., Manero M.H., Oliveros E., Maurette M.T., Benoit-Marquié F., Co-treatment of industrial air streams using A.O.P. and adsorption processes, *Int. J. Photoenergy*, **2003**, 5, p. 167.
- [8] Bolton J.R., Carter S.R., Homogeneous photodegradation of pollutants in contaminated water: an introduction, surface and aquatic environmental photochemistry, Lewis Pub., Boca Raton FL, **1994**, Chap. 33, p. 467.
- [9] Photochimie 94, *L'Act. Chim.*, **1994**, suppl. au n° 7, p. 48.



M.-T. Maurette

Marie-Thérèse Maurette est directeur de recherche CNRS et **Florence Benoit-Marquié** est maître de conférences au Laboratoire des interactions moléculaires et réactivité chimique et photochimique, Université Paul Sabatier¹.

Nathalie Karpel Vel Leitner est directrice de recherche CNRS au Laboratoire Chimie et microbiologie de l'eau, Université de Poitiers².

Cédric Féliers est ingénieur chez Véolia-Anjou Recherche³.



F. Benoit-Marquié



N. Karpel Vel Leitner

¹ Laboratoire IMRCP, UMR 5623, Université Paul Sabatier - Toulouse 3, 118 route de Narbonne, 31062 Toulouse Cedex 9.

Courriels : maurette@chimie.ups-tlse.fr, florence@chimie.ups-tlse.fr

² Laboratoire LCME, UMR 6008, Bât. ESIP, 40 av. du Recteur Pineau, 86022 Poitiers Cedex.

³ Véolia-Anjou Recherche, Chemin de la Digue, BP 76, 76603 Maisons-Laffitte.



C. Féliers



Depuis 1988

Les Editions D'Ile de France

Expérience,
la différence

102, avenue Georges Clemenceau
94700 Maisons-Alfort
Tél. : 01 43 53 64 00 • Fax : 01 43 53 48 00
e-mail : edition@edif.fr

Votre contact : André BERDAH

Régisseur exclusif
de la revue *Actualité Chimique*

Web : www.edif.fr