

MODE D'ACTION DES UV EN DÉSINFECTION

Le rayonnement ultraviolet (UV) est caractérisé par des longueurs d'onde comprises entre 100 et 400 nm (figure 1). La bande UV est divisée en UV-A, UV-B et UV-C, mais c'est dans la gamme des UV-C, de 200 à 280 nm, que se situent les longueurs d'onde les plus efficaces pour la désinfection.

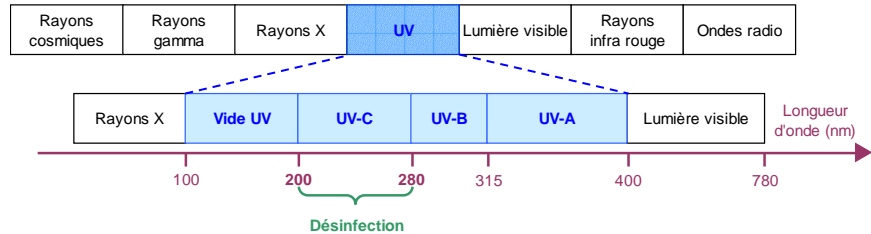


Figure 1

Le processus de désinfection UV correspond en fait à l'inactivation des micro-organismes, suite à une modification de leurs informations génétiques : les UV agissent sur la double hélice d'ADN*, ainsi que sur l'ARN*, des cellules, bloquant ainsi tous leurs processus biochimiques servant à leur reproduction. L'efficacité maximale de la désinfection UV dépend de l'énergie émise ; plus précisément, elle correspond à une énergie émise de 253,7 nm, pic d'absorption du rayonnement UV par les micro-organismes.

DIFFÉRENTS TYPES DE LAMPES DISPONIBLES

Le principe général de fonctionnement des lampes UV

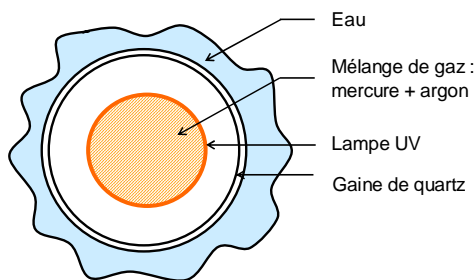


Figure 2

Une lampe UV (figure 2) est protégée par une gaine de quartz. Cette gaine renferme du mercure et un gaz inerte, généralement de l'argon. L'énergie électrique, apportée par un ballast (composant assurant le démarrage des lampes et contrôlant la puissance électrique transmise), ionise les vapeurs de mercure à un niveau d'énergie générant un rayonnement UV. La lampe est placée dans un carter, l'eau circulant en couche mince, entre celui-ci et la gaine de quartz, car elle absorbe très rapidement l'énergie du rayonnement UV. Le carter peut contenir une ou plusieurs lampes en fonction du débit à traiter et de l'énergie à apporter.

Les deux types de lampes existant

Deux types de lampes sont principalement utilisés en désinfection d'eau potable, les lampes basse pression et celles moyenne pression, le tableau 1 présente une comparaison entre ces deux types.

LAMPE BASSE PRESSION	LAMPE MOYENNE PRESSION
Installation de plus de lampes (rapport de 1 à 6), d'où une meilleure répartition du rayonnement	Température de fonctionnement plus élevée (600 – 700°C contre 55 et 65°C), d'où une probabilité plus importante d'encrassement par entartrage
Consommation d'énergie faible	Risque d'échauffement si non circulation d'eau
Rendement 40%	Rendement maximum 15%
Durée de vie longue (9 000 à 13 000 h contre 5 000 à 6 000 h)	Obligation de filtrer les longueurs d'ondes émises pour éviter la formation de nitrites

Tableau 1

RÉGLEMENTATION

Selon la circulaire n°2000-166 du 28 mars 2000 relative aux produits et procédés de traitement des eaux destinées à la consommation humaine, seules les lampes basse pression sont autorisées. L'utilisation des lampes moyenne pression doit faire l'objet d'une demande de dérogation préalable. En fait, il s'avère que les nitrates ont la capacité d'absorber les rayons UV émis par les lampes moyenne pression. Ils sont alors transformés en nitrites, composés dangereux pour la santé (voir Memotec n°12).

En outre, dans sa circulaire du 19 janvier 1987, le Ministère de la Santé demande que la dose minimale appliquée soit de 25 mJ/cm², ceci afin d'assurer un certain niveau de désinfection, et que les réacteurs soient équipés d'un dispositif d'alarme signalant que le seuil de dose minimale est atteint.

Enfin, les matériels utilisés doivent être conformes à la circulaire DGS/SD7A 2002 n°571 du 25 novembre 2002 relative aux modalités de vérification de la conformité sanitaire des matériaux constitutifs d'accessoires ou de sous-ensembles d'accessoires, comportant des éléments organiques entrant au contact de l'eau destinée à la consommation humaine.

CARACTÉRISTIQUES DE LA DÉSINFECTION PAR UV

Détermination de la dose nécessaire

La dose d'UV-C est exprimée en mJ/cm². Elle correspond au flux UVC, en W/cm², multiplié par la durée d'exposition (s), durée qui dépend du débit d'eau à traiter et de la taille du réacteur.

La dose nécessaire à appliquer pour le dimensionnement d'un réacteur est fonction des micro-organismes ciblés et de l'objectif d'abattement visé. Généralement on se base sur des données expérimentales.

Ainsi, pour abattre de 3 log les Escherichia coli, il faut une dose de 4,1 mJ/cm². Le tableau 2, donne les facteurs à appliquer par rapport à la dose relative aux Escherichia coli.

MICRO-ORGANISME	DOSE RELATIVE
Escherichia coli	1
Virus de l'hépatite A	3
Virus de la polyomélite	3,5
Bactériophage MS2	8
Streptocoque faecalis	2
Vibrio chlorae	2,2
Cryptosporidium	1,5

Tableau 2

Les facteurs influençant la dose reçue par les micro-organismes cibles

L'efficacité des UV, en tant que procédé de désinfection de l'eau, dépend de plusieurs paramètres :

- la turbidité et/ou la couleur de l'eau peuvent agir comme un écran empêchant la bonne diffusion du rayonnement UV dans l'eau ; ainsi, on définit l'absorbance A de l'eau, comme étant l'absorption d'énergie UV à 254 nm par unité de profondeur. La plus ou moins bonne qualité de l'eau vis-à-vis de l'utilisation des UV est alors caractérisée par sa transmittance T, définie comme étant le rapport de l'intensité transmise à l'intensité incidente à travers une lame d'eau, exprimé en %. La transmittance est déterminée par la relation : $T (\%) = 100 \times 10^{-A}$. On considère ainsi qu'une transmittance de 95% est caractéristique d'une eau de très bonne qualité ; une transmittance de 75% étant celle d'une eau de qualité moyenne ;
- le fer et le manganèse : ils ont la propriété d'absorber les rayons UV, et donc de diminuer l'efficacité du rayonnement ;
- la température de l'eau n'a une influence que sur les lampes basse pression, dont la température idéale de fonctionnement se situe autour de 20°C ; pour d'autres valeurs, il est nécessaire d'appliquer un facteur de correction pour le dimensionnement des réacteurs ;
- le vieillissement des lampes : quelle que soit la durée de vie des lampes, le dimensionnement des réacteurs doit être fait en considérant une puissance lumineuse diminuée d'environ 20 à 30% (taux effectivement constaté en fin de vie des lampes) ;
- le débit : le régime de l'eau doit être turbulent afin de garantir l'homogénéité de la dose reçue en tout point du réacteur. En outre, le réacteur doit être correctement dimensionné pour obtenir le temps de séjour nécessaire à l'action du rayonnement UV ; il est généralement de l'ordre de 5 s ;
- l'épaisseur de la lame d'eau : celle-ci ne doit pas être trop importante car l'eau a un pouvoir d'absorption non négligeable de l'énergie des rayons UV. Elle est en général de 15 mm.

Les conditions d'exploitation

Les conditions d'exploitation des réacteurs UV sont déterminantes en terme d'efficacité du traitement. Etant donné les paramètres influençant la qualité de la désinfection UV, il faut être particulièrement attentif à plusieurs aspects, dont notamment, le nettoyage des gaines de quartz, car celles-ci peuvent s'encrasser relativement rapidement. Il peut aussi y avoir des phénomènes d'entartrage, accélérés localement par l'échauffement du milieu. Pour pallier ces problèmes, il existe des systèmes de brossage mécanique automatisés et asservis à des capteurs d'intensité du flux UV-C incident, qui permettent de s'affranchir d'une vérification visuelle de l'état des gaines de quartz et d'un brossage manuel.

Ce type de précaution permet notamment d'augmenter la durée de vie des lampes, celle-ci fluctuant aussi avec la dose délivrée en fonction des variations du débit et du nombre d'allumages-extinctions. La durée de vie prescrite par les DDASS doit être au minimum de 8 500 h.

CONCLUSION

Il ne fait plus de doute aujourd'hui que les UV constituent une technologie de choix pour ce qui est de la désinfection : ils ne modifient pas la composition chimique de l'eau, n'induisent ni toxicité (pas de production de THM par exemple), ni corrosion, et ne nécessitent pas la manipulation de produits chimiques plus ou moins dangereux. Cependant, leur utilisation requiert une eau de bonne qualité afin de ne pas limiter l'action du rayonnement UV. En outre, leur utilisation ne supprime pas la nécessité de procéder à une chloration finale, étant donnée l'obligation d'avoir un résiduel de chlore en sortie d'usine de production d'eau destinée à la consommation humaine et en bout de réseau de distribution. La dose de chlore utilisée est alors plus faible qu'en l'absence de désinfection UV, ce qui améliore les qualités organoleptiques de l'eau.

Si la mise en œuvre et l'exploitation des unités de désinfection UV demeurent relativement simples comparativement aux procédés chimiques, il ne faut cependant pas négliger la précision du réglage du rayonnement, afin que l'énergie émise permette effectivement l'inactivation totale des micro-organismes, sous peine de problèmes de photoréactivation (autoréparation du matériel génétique des micro-organismes touchés), phénomène qui ne concernent cependant pas tous les micro-organismes.

Autres Memotec à consulter à ce sujet : n° 4 et 5.

* ADN (Acide DéoxyriboNucléique) } Éléments vitaux du système de
ARN (Acide RiboNucléique) } reproduction des micro-organismes