Document généré le 15 mai 2024 06:02

**Revue des sciences de l'eau**
**Journal of Water Science**

# Etude sur modèle de la désinfection de l'eau par rayonnements ultraviolets
# Laboratory investigations on the desinfection of water by UV-light

J. Masschelein, E. Bebacker et S. Chebak

Volume 2, numéro 1, 1989

URI : https://id.erudit.org/iderudit/705022ar
DOI : https://doi.org/10.7202/705022ar

Aller au sommaire du numéro

Éditeur(s)

Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE)

ISSN

0992-7158 (imprimé)
1718-8598 (numérique)

Découvrir la revue

Citer cet article

Masschelein, J., Bebacker, E. & Chebak, S. (1989). Etude sur modèle de la désinfection de l'eau par rayonnements ultraviolets. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, *2*(1), 29–41. https://doi.org/10.7202/705022ar

Résumé de l'article

Le présent article rapporte les résultats d'une investigation des facteurs géométriques applicables à des réacteurs annulaires à mélange axial complet et appliqués à la désinfection des eaux au moyen de lumière UV de 254 nm. La loi de Bunsen-Roscoe est suivie en prenant en compte la dose corrigée par un facteur géométrique m; dose=m$I_0$t. Le bactériophage $f_2$ ne montre pas de phase de latence de mortalité et constitue dès lors un modèle valable. La dose létale à 99 % mesurée est de 470 ± 30 J/$m^2$.

Tous droits réservés © Revue des sciences de l'eau, 1989

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter en ligne.

https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/

Cet article est diffusé et préservé par Érudit.

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche.

https://www.erudit.org/fr/

REVUE DES SCIENCES DE L'EAU, 2 (1989) 29-41

# Etude sur modèle de la désinfection de l'eau par rayonnements ultraviolets

## Laboratory investigations on the desinfection of water by UV-light

J. MASSCHELEIN, E. DEBACKER, S. CHEBAK (1)

RÉSUMÉ

Le présent article rapporte les résultats d'une investigation des facteurs géométriques applicables à des réacteurs annulaires à mélange axial complet et appliqués à la désinfection des eaux au moyen de lumière UV de 254 nm. La loi de Bunsen-Roscoe est suivie en prenant en compte la dose corrigée par un facteur géométrique m ; dose = $mI_0t$. Le bactériophage $f_2$ ne montre pas de phase de latence de mortalité et constitue dès lors un modèle valable. La dose létale à 99 % mesurée est de 470 ± 30 $J/m^2$.

Mots clés : *UV, désinfection, élimination des bactériophages, évaluation des doses UV, coûts de l'UV.*

SUMMARY

The $f_2$-bacteriophage is chosen as a test organism to evaluate the geometrical factors which intervene in the disinfection of water by UV-light. This phage is an ARN and single strain cell which has the characteristic of being killed without a lethal lag phase being observed. It is also shown as a representative organism for the estimation of the virucidal action of UV-light.

---

(1) Direction des Laboratoires de la Compagnie Intercommunale Bruxelloise des Eaux, Chaussée de Waterloo 764, B-1180 Bruxelles (Belgique).

In this work a cold cathode mercury lamp emitting the 254 nm photon at low intensity, th.e. 14.9 $W/m^2$ at the lamp surface, is used. The lamp has the advantage that its photochemical yield does not depend on the temperature of the water investigated.

The geometrical factor of different annular reactors is investigated by submersing the lamp in water contained in vessels of different diameters. The introduction of an artificial competitor, that is para-hydroxybenzoic acid, which absorbs part of the 254 nm-photons also allows the impact of the reactor geometry to be evaluated. All the experiments are carried out in batch-type conditions and the water is completely mixed during the experiments. These conditions applied in laboratory investigations are representative of those existing in plug-flow reactors with complete axial mixing of discrete portions of the liquid contained in the annular space between the lamp and the reactor.

In this work all data conform to the Bunsen-Roscoe law relating the kinetics of first order decay to the irradiation dose : (I.t). No residual resisting organisms or "protected" organisms which could subsist at the end of exhaustive irradiation were observed.

The practical dose, that is the dose at any point of the reactors taking into account the absorption of the light and the increasing surface irradiated at increasing reactor diameter and also the finite dimension of the lamp diameter is accounted for by a single correction factor m : Dose (D) = $m.I_o.t$, in which, also according to the literature :

$$m = \frac{2\, r_o\, (1 - \exp\,[-\, E\, (\bar{r} - r_o)])}{E\, (\bar{r}^2 - r_o^2)}$$

where $r_o$ and $\bar{r}$ are respectively the lamp radius and the reactor radius. E is the extinction coefficient (base e).

The data as a whole converge to a 99 % lethal dose of 470 ± 30 $J/m^2$ in clear water, either absorbing or not at 254 nm.

In the presence of turbidity, obtained by the introduction of 10 $mgL^{-1}$ koalin the efficiency is enhanced by 15 to 20 %, that is the apparent 99 % lethal dose is of 400 ± 30 $J/m^2$. By correcting the light intensity transmitted by reflection, this dose is about 420 $J/m^2$.

Turbidity in UV-disinfection is thus not necessarily a negative factor in disinfection of liquids with UV-light.

This investigation as a whole establishes an "economical space" between lamp surface and reactor wall of about 4 cm at which the energy consumption for a given level of disinfection attains a sufficiently low value.

key-words : *UV, disinfection, bacteriophage, UV-dose evaluation, costs of UV.*

## INTRODUCTION

La mortalité des bactéries, virus et autres organismes sous l'effet de l'irradiation par la lumière UV est généralement acceptée comme étant déterminée par la dose reçue.

La loi de Bunsen-Roscoe stipule en effet que *pour des systèmes statiques*, la mortalité est de pseudo-premier ordre :

$$\frac{N_t}{N_o} = \exp - k\ (I.t) \qquad (1)$$

Y interviennent donc la dose I.t, produit de l'intensité I et de la durée d'irradiation t, $N_o$ et $N_t$ étant le nombre ou la concentration en cellules viables respectivement après une irradiation nulle et pendant une durée t.

La bibliographie signale fréquemment des doses létales de 99 ou 99,99 % dans l'eau. Nous en avons publié une revue critique antérieurement (MASSCHELEIN, 1986) sur base des données répertoriées : LATARJET *et al.*, (1983) ; BONNEFOY *et al.*, 1978 ; AMERICAN ULTRAVIOLET COMPANY ; SCHENCK (1979) ; BBC (1979) ; MASSCHELEIN (1981) ; LAMOTTE et ANDRIESENS (1986). Au mieux, l'effet de dose est déterminé sur un film infiniment mince irradié par une source UV placée dans l'air.

Ces conditions s'écartent à plus d'un titre de celles de la pratique de désinfection des eaux par la lumière UV. En effet, la conception des réacteurs est le plus souvent basée sur l'utilisation d'une lampe à mercure tubulaire logée dans l'axe d'un cylindre. L'eau circule dans l'espace annulaire entre la lampe et le manteau extérieur. Or :

- les cellules photoélectriques de mesure ont une surface généralement plane et ne conviennent donc pas pour des mesures à une distance proche d'une source cylindrique. De plus, il existe des cellules photoélectriques dites "cosinusoïdales" qui détectent sur un angle s'approchant de 180 ° et des cellules dites "cylindriques" qui détectent dans une direction donnée seulement ;

- les bactéries constituent des cibles tridimensionnelles pouvant être exposées, simultanément ou consécutivement, à des photons émis en différents points de la lampe et selon plusieurs azimuts. Une cellule incorporée en un endroit donné ne traduit pas cet effet géométrique ;

- dans les eaux, un ensemble de conditions d'absorption et de diffusion de la lumière peut influencer la dose effective en un endroit donné ;

- les conditions de mélange, dont surtout le mélange axial, sont importantes puisqu'elles peuvent éventuellement favoriser l'exposition effective ou répétée d'un même organisme.

Différentes études ont été consacrées à ces questions dont nous citerons les références : SCHENCK (1979) ; QUALLS et JOHNSON (1983) ; SEVERIN *et al.*, (1984) ; SEVERIN *et al.*, (1984). Il s'en dégage que la conception des appareillages de désinfection de l'eau au moyen de rayonnements UV reste le plus souvent basé sur des règles empiriques ou des traditions sans qu'une optimalisation rationnelle ait eu lieu. Il se pourrait dès lors que les équipements performants existant sur le marché soient surdimensionnés.

L'objet de la présente contribution est de préciser l'importance de la distance axiale au moyen de réacteurs statiques à mélange complet.

## MATÉRIEL ET MÉTHODE

### Germe test : le bactériophage $f_2$

Le bactériophage $f_2$ à ARN et à simple brin est choisi pour l'étude. Certains de ses avantages ont été décrits dans la bibliographie comme, par exemple, l'absence d'une phase de latence de mortalité (SEVERIN *et al.*, 1984) et sa représentativité pour l'effet virulicide (HAVELAAR *et al.*, 1986). La souche hôte était un *Escherichia coli* KL 209 fourni par le Laboratoire de Génétique de l'Université Libre de Bruxelles, Service de Monsieur le Professeur R. THOMAS.

### Milieux de culture

**Agar de fond**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Tryptone | : | 10 g | Réf. : DIFCO 0123 |
| Extrait de levure | : | 1 g | Réf. : DIFCO 0127 |
| Extrait de viande | : | 2 g | Réf. : OXOID L 29 |
| NaCl | : | 8 g | |
| Agar | : | 15 g | Réf. : DIFCO 0124 |
| Eau distillée | : | 1 000 mL | |

**Bouillon TYE au tryptone, extrait de levure**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Tryptone | : | 10 g | Réf. : DIFCO 0123 |
| Extrait de levure | : | 1 g | Réf. : DIFCO 0127 |
| Extrait de viande | : | 2 g | Réf. : OXOID L 29 |
| NaCl | : | 8 g | |
| Eau distillée | : | 1 000 mL | |

**Agar mou**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Tryptone | : | 10 g | Réf. : DIFCO 0123 |
| Extrait de levure | : | 1 g | Réf. : DIFCO 0127 |
| Extrait de viande | : | 2 g | Réf. : OXOID L 29 |
| NaCl | : | 8 g | |
| Agar | : | 7 g | Réf. : DIFCO 0124 |
| Eau distillée | : | 1 000 mL | |

**Diluant**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Eau distillée | : | 1 000 mL | |
| $CaCl_2$ | : | 1,11 g | |
| Solution de Tween 80 (Monoléate de Sorbitan) | : | 1 mL de la solution stérilisée à 100 $g.L^{-1}$ | Réf. : MERCK 822 181 |

Solution du tampon phosphaté (pH = 7,2)

Eau distillée : 1 000 mL
$KH_2PO_4$ : 24 g
NaOH : 6 g

Solution de Tween 80 (Monoléate de Sorbitan)

Eau distillée : 100 mL
Tween 80 : 10 g Réf. : MERCK-DARMSTADT 822 181

Eau réactionnelle

Eau distillée : 1000 mL
Solution de Tween 80 : 1 mL
Solution du tampon phosphaté : 5 mL

Source UV

La source utilisée est la lampe UV, à cathode froide et à démarrage rapide Philips TUV-6W(e) (Philips TUV-Bulletin, 1986). Il s'agit d'une source monokymatique émettant à 254 nm et dont la paroi constituée de verre optique élimine la composante à 185 nm (MASSCHELEIN, 1986). La puissance émise à 254 Nm est de 0,085 W(UV). Diamètre de la lampe : 2,6 cm. Longueur linéaire de la zone d'émission : 7 cm. La correction pour des temps d'irradiation courts après démarrage est effectuée par la courbe expérimentale mettant en corrélation, sur base de la mesure de l'intensité émise, la durée d'irradiation corrigée en fonction de la durée prédéterminée (minuterie).

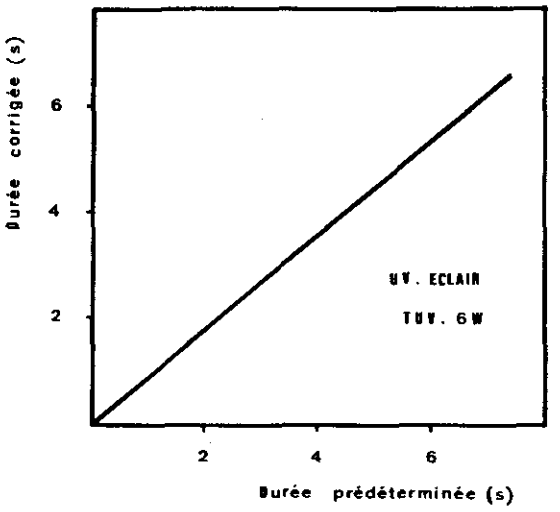


*Figure 1.- Détermination de la durée d'irradiation effective lors des démarrages de la lampe TUV-6W*

## Réacteurs

La lampe est immergée dans l'eau contenue dans des bechers cylindriques, de manière à ce que la distance entre l'extrémité de la lampe et le fond du becher soit de 25 mm. Une série de bechers cylindriques de différents diamètres et volumes utiles est employée comme indiqué dans le tableau 1.

*Tableau 1.- Dimensions des réacteurs*

| Diamètre intérieur (cm) | Volume utile ($cm^3$) |
|---|---|
| 11,75 | 1 100 |
| 10,30 | 850 |
| 8,42 | 560 |
| 6,49 | 300 |
| 4,54 | 125 |

La lampe UV est immergée de manière symétrique dans les différents réacteurs et allumée pendant des durées prédéterminées au moyen d'une minuterie (SCHLEICHER-MIKROLAIS type KZT11) permettant des durées d'enclenchement de 0,5 à 10 secondes avec une précision de 0,5 seconde.

## Mode opératoire

Des suspensions du phage $f_2$ tenant 1 à 3 $10^5$ UFP (unité formatrice de plage) par mL sont agitées pendant 5 min. avant l'irradiation. Le milieu est ensuite exposé à des éclairs UV de durée variable, l'agitation étant maintenue en permanence. Les prises d'essai de 0,5 mL sont diluées par 4,5 mL de diluant. (Au besoin, on effectue plusieurs dilutions d'un facteur de 10). Un mL de cette dilution est introduit dans 1 mL de culture de la souche bactérienne de KL 209 préalablement incubée et en phase de croissance exponentielle dans le bouillon TYE. Après quelques minutes de contact, trois aliquotes de 0,2 mL sont ensemencés chacun dans 4 mL d'agar mou fondu et coulés dans des boîtes de Pétri contenant l'agar de fond. Le comptage des phages de lyse est effectué après 18 h d'incubation à 37 °C. Chaque comptage est effectué en triple au moins et chaque essai en double.

## Eau réactionnelle + interférents optiques

La figure 2 présente à titre exemplatif une série de droites de mortalité.

L'eau réactionnelle comme définie ci-dessus a été enrichie en additifs aux fins d'évaluer les effets de masquage optique. Interférence d'absorption UV : 10 $mg.L^{-1}$ d'acide parahydroxybenzoïque (APHB) (Merck Art. n° 821814). Interférence de turbidité : 10 $mg.L^{-1}$ de kaolin, (Merck Art. n° 1906).

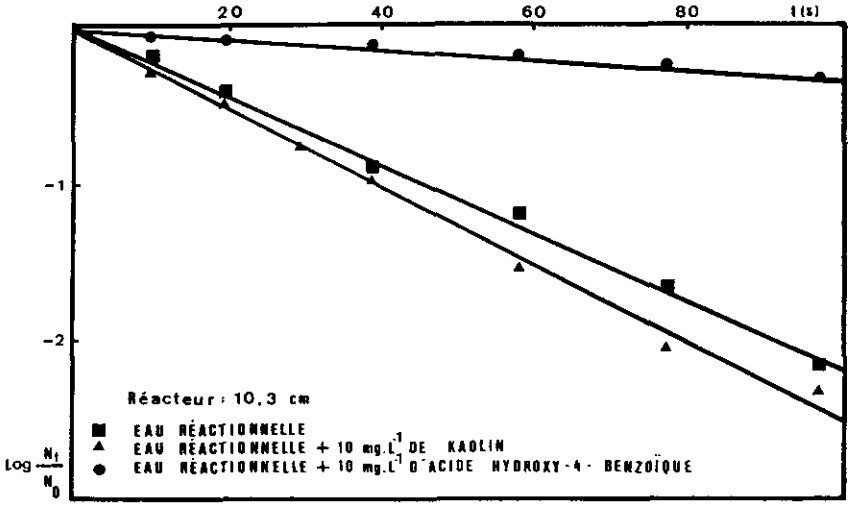


*Figure 2.- Droites de létalité du phage $f_2$ (réacteur 10,3 cm)*

## RÉSULTATS

La loi de Bunsen-Roscoe est suivie dans tous les cas. Le tableau 2 résume les létalités observées respectivement dans l'eau réactionnelle, en présence d'acide parahydroxybenzoïque et de kaolin. Les constantes cinétiques de pseudo-premier ordre qui en résultent y sont énumérées.

L'absorbance A, et respectivement l'extinction E à 254 nm, des différentes solutions s'établissement comme suit :

Eau réactionnelle : A = 2 $m^{-1}$ E = 4,6 $m^{-1}$

Eau réactionnelle + APHB : A = 80 $m^{-1}$ E = 184 $m^{-1}$

Eau réactionnelle + kaolin : A = 5,8 $m^{-1}$ ; E = 13,4 $m^{-1}$

*Tableau 2.- Létalité $f_2$ : $Log \frac{N_t}{N_o} = - k_1 t + k_o$*

| Réacteur | Eau réactionnelle | | | Présence d'acide parahydroxybenzoïque | | | Présence de kaolin | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ø mm | $k_1 (s^{-1})$ | $k_o$ | $r^2$ | $k_1 (s^{-1})$ | $k_o$ | $r^2$ | $k_1 (s^{-1})$ | $k_o$ | $r^2$ |
| 4,54 | - 0,0429 | - 0,001 | 0,995 | - 0,0255 | + 0,001 | 0,998 | - 0,0487 | + 0,056 | 0,997 |
| 6,49 | - 0,0370 | + 0,014 | 0,999 | - 0,0107 | - 0,008 | 0,994 | - 0,0352 | + 0,017 | 0,999 |
| 8,42 | - 0,0295 | - 0,001 | 0,998 | - 0,0055 | + 0,003 | 0,973 | - 0,0305 | + 0,0004 | 0,998 |
| 10,30 | - 0,0221 | + 0,013 | 0,999 | - 0,0033 | - 0,009 | 0,994 | - 0,025 | - 0,0288 | 0,997 |
| 11,75 | - 0,0204 | + 0,021 | 1 | - 0,0025 | - 0,009 | 0,994 | - | - | - |
| 11,75(*) | - 0,0196 | + 0,007 | 0,997 | | | | | | |

(*) Tests effectués jusqu'à une durée d'exposition de maximum 20 secondes, de manière à vérifier l'absence d'une phase de latence de la létalité.

## INTERPRÉTATION - DISCUSSION

SEVERIN *et al.*, (1984) ont établi un facteur de correction de l'intensité qui intègre, pour des réacteurs cylindriques, à la fois l'absorbance par l'eau et l'atténuation due à l'agrandissement des surfaces théoriques irradiées au fur et à mesure de l'augmentation de la distance par rapport à la lampe. Le facteur (m) traduit le rapport de l'intensité dans le réacteur ($I_r$) par rapport à l'intensité à la paroi de la lampe ($I_o$) et s'exprime comme suit :

$$m = \frac{I_r}{I_o} = \frac{2\, r_o (1 - \exp\,[-\,E\,(\bar{r} - r_o)])}{E(\bar{r}^2 - r_o^2)} \qquad (2)$$

Le tableau 3 reprend l'ensemble des facteurs géométriques pour les différents cas.

*Tableau 3.- Facteurs géométriques applicables aux expériences*

| Réacteur | Eau réactionnelle | | + Kaolin | | + APHB | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ø cm | E(cm$^{-1}$) | m | E(cm$^{-1}$) | m | E(cm$^{-1}$) | m |
| 4,54 | 0,046 | 0,712 | 0,134 | 0,684 | 1,84 | 0,340 |
| 6,49 | 0,046 | 0,546 | 0,134 | 0,503 | 1,84 | 0,155 |
| 8,42 | 0,046 | 0,442 | 0,134 | 0,391 | 1,84 | 0,087 |
| 10,3 | 0,046 | 0,369 | 0,134 | 0,315 | 1,84 | 0,057 |
| 11,75 | 0,046 | 0,327 | 0,134 | 0,270 | 1,84 | 0,043 |

$$I_o = \frac{\text{puissance UV de la lampe}}{\text{surface immergée}} = \frac{0{,}085\ \text{W}}{2 \times 1{,}3 \times 3{,}14 \times 7 \times 10^{-4}} = 14{,}9\ \text{W/m}^2 \qquad (3)$$

La dose est donnée par $D = m\, I_o\, t$ (4)

Le calcul des doses moyennes pour une mortalité de 99 % dans l'eau réactionnelle s'établit comme exprimé dans le tableau 4.

Les expériences en présence de l'acide parahydroxybenzoïque n'ont pas abouti à une mortalité de 99 % après plus d'une minute d'irradiation. C'est pourquoi une comparaison a été effectuée sur les doses nécessaires pour 50 % de mortalité dans les différents milieux (tableau 5).

De l'ensemble de ces observations, il ressort que les doses nécessaires pour une mortalité donnée dans une eau donnée est identique pour les réacteurs de différents diamètres. Nous en concluons à la valeur du calcul des doses par la méthode du facteur géométrique m. De plus, il s'avère que les doses pour une mortalité donnée sont sensiblement les mêmes, qu'il y ait ou non présence d'acide parahydroxybenzoïque. Fait

remarquable, la présence de kaolin, sans effet propre sur les bactériophages, apparaît diminuer marginalement les doses UV occasionnant une mortalité donnée. La turbidité ne présente donc pas nécessairement un effet négatif dans la désinfection au moyen de lumière UV. L'explication de l'effet légèrement positif reste encore problématique : accroissement de la cible efficace par adsorption des bactériophages sur les colloïdes, allongement du trajet optique par réflexion ou diffusion. A noter dans ce contexte, une légère tendance de diminution de la dose nécessaire quand le diamètre du réacteur augmente. Cette tendance ne se retrouve pas dans l'eau réactionnelle exempte de kaolin. L'absence d'effet sur le dénombrement des phages par la concentration en kaolin employée a été vérifiée expérimentalement.

*Tableau 4.- Calcul de la dose moyenne (Létalité 99 %)*

| Réacteur | Eau | | | Eau + kaolin | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $I_r$ | t | Dose | $I_r$ | t | Dose | Dose corrigée |
| (cm) | ($W/m^2$) | (s) | ($J/m^2$) | ($W/m^2$) | (s) | ($J/m^2$) | ($J/m^2$) |
| 4,54 | 10,6 | 47,4 | 503 | 10,2 | 42,0 | 428 | 434 |
| 6,49 | 8,1 | 53,4 | 434 | 7,5 | 57,2 | 429 | 441 |
| 8,42 | 6,6 | 68,0 | 448 | 5,8 | 66,0 | 385 | 401 |
| 10,30 | 5,5 | 90,8 | 499 | 4,7 | 78,8 | 370 | 391 |
| 11,75 | 4,9 | 98,8 | 481 | - | - | - | - |
| | | | 473 ±31 | | | 403 ±30 | 417 ± 15 |

*Tableau 5.- Calcul de la dose moyenne (Létalité 50 %)*

| Réacteur | Eau | | Kaolin | | APHB | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | t | Dose | t | Dose | $I_r$ | t | Dose |
| | (s) | ($J/m^2$) | (s) | ($J/m^2$) | ($W/m^2$) | (s) | ($J/m^2$) |
| 4,54 | 7,2 | 76 | 6,8 | 69 | 5,1 | 11,2 | 57 |
| 6,49 | 8,4 | 68 | 8,8 | 66 | 2,3 | 27,0 | 62 |
| 8,42 | 10,0 | 66 | 9,6 | 56 | 1,3 | 54,0 | 70 |
| 10,30 | 14,0 | 77 | 11,2 | 53 | 0,8 | 90,9 | 77 |
| 11,75 | 16,0 | 78 | - | - | 0,6 | 120,0 | 77 |
| | | 73 ± 6 | | 61 ± 8 | | | 68 ± 7 |

En ce qui concerne l'effet du kaolin, nous avons mesuré l'absorption de la lumière en apportant les corrections pour la transmission par réflexion au moyen d'une sphère d'intégration Pye-Unicam 7908/24. La valeur de l'extinction mesurée est ainsi de $E = 10.2\ m^{-1}$ contre $E = 13,4\ m^{-1}$ sans cette correction. Les valeurs de m qui en résultent aboutissent à des valeurs de doses corrigées indiquées dans le tableau 4.

On observe donc un effet net de la réflexion qui n'est cependant pas entièrement repris par la géométrie de la cellule de mesure employée.

L'ensemble des données conduit à des constantes cinétiques de létalité de $(9,5 \pm 0,7).10^{-3}$ $m^2/J$ pour les expériences à 50 % de létalité et de $(9,8 \pm 0,6).10^{-3}$ $m^2/J$ pour 99 % d'élimination, soit $(9,6 \pm 0,8).10^{-3}$ $m^2/J$ en moyenne générale tant pour l'eau réactionnelle que pour celle contenant de l'acide parahydroxybenzoïque.

## OPTIMALISATION ÉCONOMIQUE

On trouve dans la bibliographie des équations précisant pour des réacteurs annulaires l'énergie UV nécessaire par unité de volume pour obtenir une désinfection donnée (LAMOTTE et ANDRIESSENS, 1986) :

$$U = t\, W_o \frac{r_o}{r^2 E} (1 - e^{-Er}) \ln \frac{r + r_o}{r_o} \qquad (5)$$

$U$ = énergie moyenne nécessaire par unité de volume ($J/m^3$)
$W_o$ = puissance UV dissipée par unité de volume ($W/m^3$)
$r_o$ = rayon de la lampe (m)
$r$ = rayon interne du réacteur (m)
$E$ = coefficient d'extinction du liquide ($m^{-1}$ ; base e)
$t$ = temps d'irradiation (s).

$W_o = \frac{W}{V}$ ; dans notre cas $W = 0,085$ W et $r_o = 0,013$ m

où V représente les volumes de liquide réactionnel. (Dans notre cas, ils correspondent à une profondeur de remplissage de 0,104 m des vases cylindriques). Nous avons appliqué la formule reprise ci-dessus pour déterminer l'apaisseur de couche économiquement intéressante. Les données relatives à l'énergie nécessaire par volume unitaire sont résumées dans la figure 3. Les courbes peuvent être décrites par des équations exponentielles du type

$$U = U_o \exp a.(r-r_o) \qquad (6)$$

On relève que si la valeur de $(r-r_o)$ est inférieure à 4-5 cm, l'énergie dissipée pour le traitement d'un volume donné s'accroît rapidement. Il en résulte un diamètre économique de réacteur de l'ordre de 8 à 10 cm.

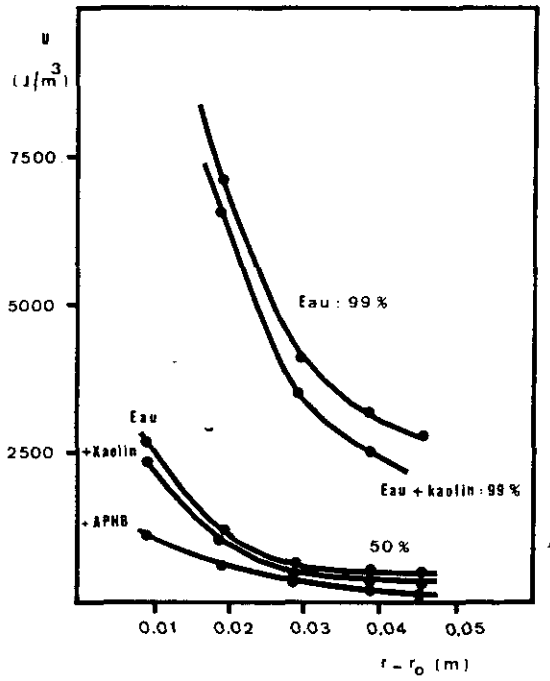


*Figure 3.- Détermination du diamètre économique des réacteurs tubulaires (Courbe pour un pourcentage de létalité donné, resp. 99 % et 50 %)*

## CONCLUSION

Le bactériophage $f_2$ est confirmé comme organisme modèle pour l'évaluation prospective de la désinfection des eaux au moyen de la lumière ultraviolette de 254 nm. Les mortalités, sous l'effet de l'irradiation, suivent parfaitement la loi de Bunsen-Roscoe. Comme l'indique la bibliographie (HAVELAAR *et al.*, 1986), le phage $f_2$ peut par ailleurs constituer un modèle applicable à l'effet virulicide.

Au moyen d'une série de réacteurs cylindriques à mélange complet, nous avons pu mesurer une dose UV 254 nm létale à 99 % de 470 ± 10 J/m$^2$. Cette valeur reste tributaire de celle de la puissance UV émise par la lampe et spécifiée par le fabricant.

Cette étude a permis de préciser la méthodologie de correction des doses moyennes effectives pour les facteurs de géométrie des réacteurs de différentes dimensions et aboutit à une détermination du diamètre économiquement favorable, compte tenu de la puissance dissipée par unité de volume. Dans le cas envisagé, ce diamètre est de l'ordre de 10 cm. Pour des diamètres moindres, une partie importante de la puissance est dissipée de manière inefficace pour la désinfection.

La technologie des réacteurs réels la plus adéquate apparaît celle d'un écoulement longitudinal à piston et à mélange axial complet.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BONNEFOY W., SCHUTZENBERGER H., BOUTIN P., MAURIN J. (1978). Possibilité d'utilisation du rayonnement ultraviolet pour la désinfection des eaux de mer en thalassothérapie et des eaux résiduaires urbaines épurées, *TSM/L'EAU*, 73: 337.

HAVELAAR H.A., POT HOGEBOOM W.M., KOOT W., POT R. (1986). F-Specific bacteriophages as indicators of the disinfection, p. D3, dans *Proceedings of the Symposium I.O.A. on Ozone + UV Water Treatment, Amsterdam*, Ed. IOA-Europe, 9 rue de Phalsbourg, F-75854 Paris Cédex 17.

LAMOTTE J., ANDRIESSENS H. (1986). Design and Engineering for the UV disinfection of low quality water, p. D2, dans *Proceedings of the Symposium I.O.A. on Ozone + UV Water Treatment, Amsterdam*, Ed. IOA-Europe, 9 rue de Phalsbourg, F-75854 Paris Cédex 17.

LATARJET R., MORZENNA P. BERGER R. (1953). Un appareil simple pour le dosage des rayonnements ultraviolets émis par les lampes germicides. *Ann. Inst. Pasteur*, 85: 174.

MASSCHELEIN W.J. (1981). Scope and Limitations of Disinfection of Water by Ultra-Violet Radiation, p. 252, dans *Proceedings of IWSA specialised Conference on Low Cost Technology, Berlin.*

MASSCHELEIN W.J. (1986). Behandeling van water door middel van ultra-violet licht, *$H_2O$*, 19: 350.

QUALLS R.G. and JOHNSON J.D. (1983). Bioassay and Dose Measurement in UV Disinfection, *Appl. & Environ. Microbiol.*, 45: 872.

SCHENCK G.D. (1979). *Technologie der Wasseraufbereitung für pharmazeutische Zwecke*, 1, 5, Ed. Concept Heidelberg.

SEVERIN B.F., SUIDAN M.T., RITTMANN B.E., ENGELBRECHT R.S. (1984). Inactivation kinetics in a flow-through UV reactor, *J. Water Pollut. Control Fed.*, 56: 164.

SEVERIN B.F., SUIDAN M.T., ENGELBRECHT R.S. (1984). Mixing effects in UV disinfection, *J. Water Pollut. Control Fed.*, 56: 881.

Bulletin UV de l'American Ultraviolet Company, Chatham N.J., Form n° 0883/100.

Firmenprospekt 0709/370, BBC Mannheim (1979).

Philips, *TUV-Bulletin* : 611.2.