

La sécurisation microbiologique de l'eau à son point d'usage : l'apport de la technologie BEHRING™

E. Squinazi¹, X. Pellet²

1- Laboratoire d'hygiène de la ville de Paris

2- Société RC-lux

Dr Fabien Squinazi - 11, rue George Eastman - 75013 Paris - E-mail : fabien.squinazi@paris.fr

Contexte

Dans les réseaux intérieurs de distribution d'eau, les parties périphériques sont très souvent des lieux de contamination microbiologique difficiles à maîtriser. Le problème est particulièrement aigu dans les milieux sensibles tels que les hôpitaux, les cliniques et les établissements hébergeant des personnes âgées où la lutte contre les infections nosocomiales et la légionellose est permanente [1,2]. Le *Guide technique de l'eau dans les établissements de santé* définit les qualités bactériologiques recommandées pour chaque usage de l'eau (eau de boisson, eau pour soins standards, rinçage terminal des endoscopes, douches...) et selon la vulnérabilité de certains patients.

Le facteur principal favorisant la contamination de l'eau est sa rétention dans un réservoir ou sa stagnation dans les canalisations (bras morts, faible ou non-utilisation de l'eau, formation d'un biofilm, rétro-contamination...). Les solutions globales actuelles nécessitent l'utilisation de désinfectants chimiques (chlore, autres biocides) qui ont leurs limites ou de chocs thermiques, opérations lourdes et coûteuses. La solution classique de sécurisation locale

du point d'usage, comme la microfiltration à 0,2 micromètre par exemple, entraîne des contraintes d'exploitation et des coûts associés : remplacements réguliers des filtres, mobilisation de personnel, traçabilité...

Objectifs

La formation d'un biofilm dans les réseaux intérieurs de distribution d'eau est un phénomène bien connu des hygiénistes [3]. Le biofilm est le mode de vie « normal » des microorganismes en particulier à la surface des canalisations, dans les réservoirs et dans les filtres [4]. Il est considéré comme une stratégie de survie développée par les microorganismes (Figures 1 et 2).

L'état attaché ou biofilm est propice à la croissance des microorganismes tandis que l'état libre ou planctonique est favorable à leur dissémination par le flux d'eau. L'alternance de ces deux phases permet de comprendre leur persistance et leur croissance dans les réseaux de distribution d'eau. Quelques jours peuvent suffire pour que certains microorganismes pathogènes comme *Pseudomonas aeruginosa* ou *Legionella* colonisent une partie du réseau d'eau.

RÉSUMÉ

La technologie BEHRING™ associe au point d'usage de l'eau une cavitation hydrodynamique pour dissocier les agrégats bactériens présents dans l'eau et une tête UV traitant l'eau uniquement lors de son passage. Les essais réalisés en laboratoire sur des inoculum bactériens et dans des conditions réalistes sur le terrain avec présence de biofilm ont montré l'efficacité de la tête de débactérisation sur diverses bactéries (*Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Legionella* spp. et flore aérobie revivifiable). Ce nouveau dispositif de traitement terminal de l'eau est d'un intérêt majeur dans des environnements sensibles.

MOTS-CLÉS

Cavitation hydrodynamique – Biofilm – Ultraviolets – Sécurité de l'Eau.

ABSTRACT

Water microbiological safety at the Point of Use: the contribution of Behring™ technology

BEHRING™ point of use technology uses hydrodynamic cavitation to split up bacterial clusters in water together with a UV disinfection head that processes water as it is dispensed. Laboratory tests conducted on inoculum and field tests in the presence of biofilm have demonstrated the efficacy of the disinfection head on several bacteria (*Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Legionella* spp. and HPC bacteria). This new point of use system will be very useful in sensitive environments.

KEY-WORDS

Hydrodynamic Cavitation – Biofilm – Ultraviolet – Water Safety.

En circulant, l'eau arrache des agrégats bactériens qui peuvent atteindre une taille supérieure à 100 microns et contenir plusieurs milliers de bactéries. Par rapport aux microorganismes planctoniques, ces agrégats bactériens ont une très forte résistance aux agressions extérieures (chlore, ozone, antibiotiques, ultraviolets [UV]...), ce qui limite fortement l'efficacité des traitements de désinfection traditionnels et les rend aléatoires [5].

La société RC-lux a développé une technologie innovante de sécurisation microbiologique de l'eau à son point d'usage, appelée BEHRING™. Cette technologie combine une dissociation des amas bactériens par cavitation hydrodynamique, avec un traitement UV spécifique aux débits intermittents. L'objectif de cet article est de

présenter cette technologie et les résultats des essais bactériologiques qui ont permis d'en mesurer l'efficacité.

La technologie BEHRING™

La cavitation hydrodynamique pour dissocier les agrégats bactériens

La cavitation est une formation de micro-bulles dans un liquide soumis à une très forte accélération. Elle est connue dans le monde des turbines hydrauliques ou des hélices de bateaux et a fait l'objet de nombreuses études [6]. La technologie BEHRING™ utilise ce phénomène pour détruire les agrégats bactériens relargués par les biofilms. En effet, les micro-bulles subissent pendant environ 30 millièmes de secondes une pression supérieure à 1 000 atmosphères et une température supérieure à 1 000 °C, alors que le liquide environnant reste sous conditions ambiantes. Quand les bulles implosent, elles produisent des ondes de choc qui peuvent endommager les turbines des pompes ou des hélices. La cavitation qui est un phénomène physique peu appréciable pour les pompes ou les hélices devient une arme redoutable contre les agrégats bactériens.

Grâce à la seule pression du réseau d'eau et sans apport d'énergie extérieure, le cavitateur dissocie les agrégats bactériens de 100 microns en petits morceaux, voire en bactéries isolées, pour les rendre plus sensibles aux traitements conventionnels (UV ou chimiques) (Figure 3). L'efficacité de la cavitation a été observée et mesurée par microscopie au laboratoire de bactériologie de l'université de Grenoble (LAPM/UJF).

La tête de débactérisation BEHRING™

Malgré leur efficacité reconnue sur les inoculum bactériens en laboratoire, les solutions UV traditionnelles ont souvent déçu sur le terrain lorsqu'elles sont utilisées au point d'usage. Quatre raisons majeures sont à l'origine de ce constat :

- la présence de biofilm et d'agrégats bactériens relargués par les biofilms, qui ont une très forte résistance aux traitements UV traditionnels ;

Figure 1 - Principales étapes de formation du biofilm : adhésion, multiplication et dispersion des bactéries (Davies Lab).

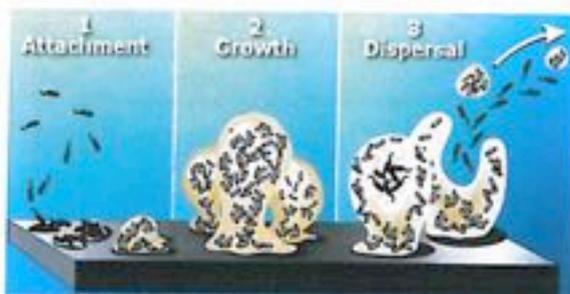
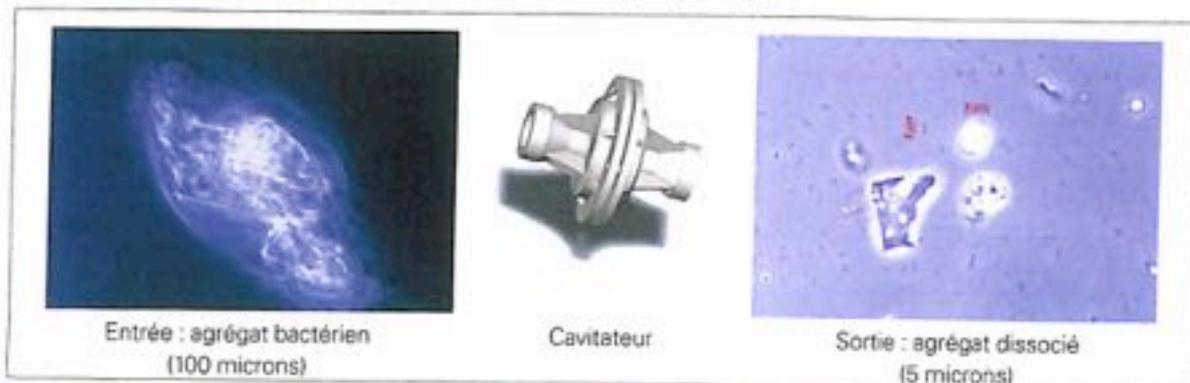


Figure 2 - Amas bactérien issu d'un biofilm (USDA Agricultural Research Service).



Figure 3 - Dissociation des agrégats bactériens par cavitation hydrodynamique.



- l'absence d'effet rémanent des UV. Un bras mort, situé en aval d'un traitement UV se trouve donc rapidement colonisé par un biofilm;
- la dose UV active. Le vieillissement des lampes, l'entartrage ou la turbidité accidentelle de l'eau du réseau peuvent perturber dans le temps le bon fonctionnement des UV;
- l'allumage en continu de la lampe UV. Un robinet est utilisé en moyenne quinze minutes par jour. Lorsque l'eau ne s'écoule pas, les lampes UV traditionnellement allumées 24 heures/24, réchauffent l'eau du réservoir autour de 40 °C et favorisent donc le développement bactérien. La solution proposée (Figure 4) repose sur cinq principes simples et ciblés afin d'assurer une sécurisation permanente et contrôlée de l'eau à son point d'usage :



Figure 4 - Tête de débactérisation Behring™

- 1- installée à la sortie de la canalisation, la tête de débactérisation sécurise l'eau juste avant son utilisation. La rémanence n'est donc plus un problème;
- 2- le cavitateur intégré à l'entrée de la tête dissocie les amas bactériens pour rendre au traitement UV toute son efficacité;
- 3- grâce à une électronique spécifique, la lampe UV n'est allumée que lorsque l'eau coule. La durée de vie moyenne de la lampe est multipliée par cinq. La consommation électrique est réduite au minimum. Il n'y a plus d'eau réchauffée stagnante dans la tête;
- 4- le capteur UV, intégré à la tête, contrôle en permanence la dose d'UV (mJ/cm²) et pilote l'ouverture et la fermeture de l'élec-

trovanne. L'eau n'est distribuée que si les normes internationales les plus exigeantes sont respectées (NSF 55 Class A et EN 14897 catégorie désinfection);

5- pour assurer la permanence de la sécurité pendant les périodes de non-utilisation, la tête déclenche des purges et des flashes UV automatiques.

Essais bactériologiques

Matériels et méthodes

La technologie BEHRING™ a été développée en collaboration avec le laboratoire Nosocotech de l'université de pharmacie de Lyon, le laboratoire de bactériologie de l'université de Grenoble (LAPM/UJF), le laboratoire d'hygiène de la ville de Paris et le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB).

Son efficacité a d'abord été testée en laboratoire sur des inoculum bactériens. Ensuite, elle a été testée en conditions réalistes, c'est-à-dire dans la durée, sur des fontaines réfrigérantes ou sur banc d'essais, avec des souches bactériennes connues pour leur capacité à former des biofilms (*Pseudomonas aeruginosa*, *Legionella pneumophila*...). Les analyses bactériologiques ont été réalisées à l'entrée et à la sortie de la tête de débactérisation.

Résultats

ESSAIS EN LABORATOIRE (INOCULUMS BACTÉRIENS)

Le laboratoire Nosocotech de l'université de pharmacie de Lyon a réalisé des tests sur divers inoculum bactériens avec des concentrations d'entrée supérieures à 10⁶ UFC/ml. Les abattements ont été mesurés dans 100 ml et ont été conformes aux attentes de la norme NSF 55 class A qui exige une réduction d'au moins deux logarithmes pour les spores de *Bacillus* (ce qui correspond à une dose UV supérieure à 40 MJ/cm²):

<i>E. coli</i>	ATCC 11229	> log 6
<i>L. pneumophila</i>	ATCC 43660	> log 6
<i>P. aeruginosa</i>	ATCC 15422	> log 6
Spores de <i>Bacillus</i>	ATCC 6633	> log 2

ESSAIS EN CONDITIONS RÉALISTES (PRÉSENCE DE BIOFILM)

Essais sur *Pseudomonas aeruginosa*

Ces essais ont été réalisés sur deux fontaines réfrigérantes (A et B) équipées de la tête de débactérisation et munies d'un filtre au charbon actif 5 microns, contaminé volontairement avec une souche de *Pseudomonas aeruginosa* provenant d'un milieu environnemental et fournie par le laboratoire ICAIRE. Sur les dix semaines de l'essai, la bactérie *Pseudomonas aeruginosa*, n'a pas été retrouvée en sortie des fontaines, l'analyse d'eau étant effectuée selon la norme NF EN ISO 16266 (Tableau I).

Essais sur *Legionella* spp.

Ces essais ont été réalisés par le CSTB sur le banc d'essai ALPHEO situé à Champs-sur-Marne (77) qui permet de simuler le fonctionnement d'un réseau d'eau chaude sanitaire (RECS) dans des conditions maîtrisées. Les concentrations en *Legionella* spp. dans l'eau de la boucle sont restées stables, de l'ordre de 10⁶ UFC/L pendant les onze semaines de l'essai. La tête de débactérisation a été installée sur un piquage de la boucle pour simuler une douche. Les dénombrements en sortie de la tête

Tableau I - Essais sur *Pseudomonas aeruginosa* (UFC/100ml) sur 10 semaines.

Dates	Semaine 2	Semaine 4	Semaine 6	Semaine 8	Semaine 10
Sortie filtre fontaine A	12 800	1 500	300	600	300
Sortie fontaine A	absence dans 100 ml				
Sortie filtre fontaine B	17 300	1 500	900	500	200
Sortie fontaine B	absence dans 100 ml				

de débactérisation ont été effectués selon la norme AFNOR NT90-431 dans 500 ml pour les deux premiers prélèvements et puis dans 5 litres pour les prélèvements suivants. Sur les onze semaines de l'essai, la bactérie *Legionella* spp. n'a pas été retrouvée en sortie de la tête (Tableau II).

Essais sur la flore aérobie revivable à 22 °C et 36 °C

Ces essais ont été effectués en sortie d'une fontaine type « refroidisseur » équipée de la tête de débactérisation et d'un filtre à charbon actif cinq microns. Les analyses bactériologiques ont été réalisées, selon la norme NF EN ISO 6222, dans la situation la plus défavorable, c'est-à-dire sans utilisation du point d'eau entre les prélèvements hebdomadaires et en dénombrant la flore aérobie revivable de l'eau au premier jet et sans flambage.

Pendant les vingt semaines du test, on a observé une forte présence de flore en entrée de fontaine et une présence très limitée en sortie de la fontaine, liée à une contamination périphérique du tube verseur par la flore ambiante (Tableau III).

Discussion

La solution classique de sécurisation locale du point d'usage est la microfiltration à 0,2 micromètre. Elle est souple et rapide à mettre en œuvre. Par contre, elle impose le remplacement régulier des filtres, qui entraîne des contraintes d'exploitation fortes : mobilisation de personnel, stockage des consommables, stérilisation pour certains filtres, traçabilité, gestion des déchets... Le coût total estimé de cette solution varie entre 500 € et 1 000 € par an en fonction du point d'eau et du type de filtre. Son utilisation est donc réservée aux applications les plus sensibles : douches pour immunodéprimés, rinçage d'endoscopes, auge de chirurgie...

La technologie BEHRING™ a montré dans cette étude une efficacité robuste quelle que soit la température de l'eau : froide, chaude ou mitigée. Intégrée dans l'appareil sécurisé (robinet, douche, fontaine...), sa maintenance se limite à une visite de contrôle annuelle, avec

un changement de lampe tous les 100 000 litres (soit trois à cinq ans d'utilisation moyenne d'un point d'eau). Le coût et les contraintes d'exploitation sont donc extrêmement faibles. Cette solution est particulièrement adaptée lorsqu'il est nécessaire d'assurer une sécurité quotidienne dans la durée. Son retour sur investissement est en moyenne inférieur à une année. Sans utilisation de produits chimiques, ni de consommables, la sécurisation BEHRING™ est à la fois économique et écologique.

Conclusion

Dans un environnement médicalisé où les exigences de sécurité sont de plus en plus fortes, la maîtrise des risques d'origine hydrique est devenue un enjeu crucial. La technologie BEHRING™ est une solution simple et sans contrainte pour répondre aux exigences réglementaires. Elle est particulièrement adaptée aux milieux sensibles (hôpitaux, cliniques, établissements hébergeant des personnes âgées, crèches...) pour assurer la sécurisation microbiologique de l'eau à son point d'usage. Elle trouve déjà des applications nombreuses, depuis les fontaines réfrigérantes sécurisées WINTACT™ jusqu'aux robinets pour eau de soins, le lavage de dispositifs médicaux ou encore les douches.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1- SHEPHERD PJ, et al. Efficacy of new point-of-use water filter for preventing exposure to *Legionella* and waterborne bacteria. *Am J Infect Control* 2005; 33: S20-5.
- 2- ORTOLANO GA, et al. Hospital water point-of-use filtration, a complementary strategy to reduce the risk of nosocomial infection. *Am J Infect Control* 2005; 33: S1-19.
- 3- SOURAZI F. Biofilm et matériaux des réseaux intérieurs de distribution d'eau. LHVP 2006.
- 4- Mc LELLAN S, OSAWA S. Accumulation and fate of green fluorescent labeled *Escherichia coli* in laboratory-scale drinking water bofifiers. *Wat Res* 2006; 40: 3023-3028.
- 5- ITO A, TANUCHI A, MAY T, KAWATA K, OKABE S. Increased antibiotic resistance of *Escherichia coli* in mature bofifiers. *Appl Environ Microbiol* 2009; 75: 4083-4100.
- 6- FARHAT M. Contribution à l'étude de l'érosion de cavitation. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Thèse, 1994.

Tableau II - Essais sur *Legionella* spp (UFC/l) sur 11 semaines.

Dates	30/09	12/10	28/10	17/11	16/12
Entrée tête BEHRING™	1 115 000	1 350 000	1 175 000	6 450 000	5 000 000
Sortie tête BEHRING™	Absence dans 500 ml	Absence dans 500 ml	Absence dans 5 litres	Absence dans 5 litres	Absence dans 5 litres

Tableau III - Essais sur la flore aérobie revivable à 22 et 36 °C (UFC/ml) sur 20 semaines.

Dates	05/11	19/11	07/12	21/12	04/01	25/01	15/02
Flore 22 °C entrée fontaine	2 500	950	470	730	1800	176	3 520
Flore 36 °C entrée fontaine	1 000	760	410	1120	1400	360	2 480
Flore 22 °C sortie fontaine	2	21	37	2	0	8	8
Flore 36 °C sortie fontaine	1	6	46	0	0	0	0