

Les principes de désinfection

Les méthodes de désinfection peuvent être classées selon leur application comme méthodes focalisées ou comme méthodes systémiques.

Une méthode focalisée concerne une partie du système de distribution, en général au niveau de l'alimentation ou alors de la robinetterie de distribution.

Les méthodes de désinfection de type focalisées sont les systèmes de traitement par ultraviolets et les systèmes de chauffe en production instantanée. Ces méthodes sont faciles à mettre en place, mais ne sont pas toujours efficaces notamment si le système de distribution d'eau est déjà contaminé par des légionelles dont la présence dans les biofilms est persistante. Les méthodes de désinfection focalisées ne sont efficaces qu'à l'endroit où elles sont appliquées.

Les méthodes de désinfections systémiques font référence à l'ensemble des méthodes qui permettent de maintenir un résiduel de désinfectant bactéricide ou bactériostatique dans l'ensemble du système de distribution d'eau y compris dans les points non à proximité du lieu d'application de la méthode. Ces méthodes regroupent l'hyperchloration en continu, et l'ionisation cuivre-argent. L'éradication thermique qui consiste à monter l'eau en température et à alimenter l'ensemble du circuit est considérée comme une méthode systémique mais n'est efficace que sur le court terme. Chaque méthode systémique est très dépendante d'une bonne distribution de l'eau traitée dans l'ensemble du système, l'efficacité totale du traitement pouvant être affectée par l'impossibilité du désinfectant à atteindre l'ensemble des zones contaminées.

Les méthodes de désinfection

L'éradication thermique

La montée en température de l'eau chaude alimentaire fut la première méthode utilisée pour le contrôle de la multiplication des légionelles dans les systèmes d'eau chaude sanitaire des hôpitaux. Dans le cas d'une éradication faisant suite à une prolifération soudaine de légionelles dans un système alors l'éradication thermique peut se justifier en tenant compte des contraintes suivantes :

Une température supérieure à 60° inhibe la prolifération des légionelles. Des études ont montré que les temps nécessaires pour réduire la population de légionelles d'une puissance de 10 à 45°C, 50°C, 60°C et 70°C sont respectivement de 2500, 380, 5 et 1 minute. Les effets inhibiteur de la température ont été démontrés dans les hôpitaux. Les systèmes opérant à une température supérieure à 50°C sont moins susceptibles d'être contaminés par la *Legionella pneumophila*.

Méthodologie

La méthode de base consiste à monter la température des ballons d'eau chaude à 70 °C puis la distribuer sur l'ensemble des canalisations, robinets et sorties de douche pendant 30 minutes pour permettre d'éliminer les légionelles contaminant ces sites. Il est impératif que la température de l'eau de tous les puisages soit supérieure à 60°C. Si cette condition n'était pas réalisée, la désinfection serait un échec. Après la vidange du circuit on fera des cultures spécifiques de la *L. pneumophila* sur des échantillons à différents endroits qui doivent toutes être négatives, faute de quoi on doit recommencer la procédure dans son intégralité. Certains hôpitaux maintiennent cette température de 60°C après la vidange de manière à retarder la recontamination.

Expérience clinique

De nombreux hôpitaux ont utilisé cette technique comme méthode de désinfection de la *Legionella*. Cependant la recolonisation après éradication a été rapportée et confirmée par de nombreux cas hospitaliers. Le maintien de la température au-dessus de 60°C a permis d'assurer la négativité des tests de croissance sur les cultures spécifiques de la *Legionella* ainsi l'absence de cas de légionellose. Seul deux hôpitaux ont fait face à une recrudescence de la *Legionella pneumophila* dans les 2 années suivant une éradication thermique combinée à un maintien de température de 60°C dans le système.

Avantages

L'éradication thermique ne nécessite pas l'installation d'équipements particuliers et peut être mise en œuvre instantanément. Ce qui constitue un avantage certain dans le cas d'une résurgence de la contamination du système. Le coût peut être relativement faible à condition de maîtriser les coûts salariaux associés à l'opération.

Désavantages

Le principal désavantage de la méthode est l'implication temps du nombreux personnel nécessaire à sa mise en œuvre pour surveiller l'ensemble des points éloignés, les températures des ballons et les temps de vidange. L'ébouillantage est un risque bien que l'expérience montre qu'il n'y a pas eu de cas déclarés et ce, que le personnel ou les patients aient été prévenus ou non.

L'éradication thermique est un mode temporaire de désinfection systémique. Il y a recolonisation du système après quelques mois voire quelques semaines surtout lorsque la température de l'eau chaude est inférieure à 50°C

Coût

Parmi toutes les méthodes systémiques, l'éradication thermique est la moins coûteuse. Le poste le plus coûteux étant le poste de la main d'œuvre et des heures supplémentaires nécessaires à la mise en œuvre de la méthode.

Dans un hôpital de 500 lits le coût moyen de l'éradication thermique est de \$20.000. Dans un hôpital de 900 lits ces coûts montent à \$31.000. Les coûts d'énergie pour maintenir l'eau chaude sanitaire à 60°C sont étonnamment identiques à ceux d'une eau moins chaude, en effet le surcoût d'énergie de chauffe est compenser par une moindre consommation pour l'obtention des températures de confort

La société américaine des ingénieurs en plomberie reconnaît que le maintien de la température à 60°C / 43°C consomme à terme moins d'énergie et est donc plus rentable.

Ionisation Cuivre/Argent

Les métaux lourds comme les ions cuivre et argent sont connus comme agents bactéricide. Les ions cuivre (Cu^{2+}) et argent (Ag^+) positivement chargés forment une liaison électrostatique avec les sites chargés négativement des organismes cellulaires. Ces liaisons électrostatiques sont suffisamment fortes pour déformer l'enveloppe cellulaire et sa perméabilité. Cette action, couplée avec la dégradation protéinique, conduit à la destruction de la cellule. Les ions cuivre et les ions argent tuent les légionelles in vitro et in vivo.

Méthodologie.

Les ions cuivre et argent générés par électrolyse sont introduits dans le circuit d'eau chaude à partir d'une chambre d'ionisation contenant des électrodes composées d'un alliage de cuivre et d'argent. La dose d'ions générée est contrôlée par un micro processeur. La concentration d'ions cuivre et argent nécessaire pour une éradication complète de la *L pneumophila* dépend de la nature du système bien que les fabricants recommandent des concentrations en ions cuivre et argent de 0.2 ~ 0.4 et 0.02 ~ 0.04 ppm respectivement. Ces concentrations sont largement inférieures aux normes maximum autorisées par le l' US Environmental Protection Agency pour l'eau potable. Ces concentrations sont ajustées par un contrôle périodique des ions cuivre et argent et l'ajustement du courant et du voltage. Les ions cuivre et argent peuvent être contrôlés par absorption atomique, les ions cuivre pouvant également être mesurés par un test kit fourni par les fabricants.

Expérience clinique.

Une évaluation de l'ionisation cuivre-argent a montré la totale efficacité de la technologie pour l'éradication de *L pneumophila* d'un système de distribution d'eau d'un hôpital. La colonisation par la *Legionella* constatée sur différents points de puisage a été réduite de 75% à 0%. (Fig. 1). Bien que Liu et al aient observé une décroissance rapide de la colonisation des sites distants à des concentrations d'ions cuivre et argent respectivement de 0.4 et 0.04 mg/ L, des dosages inférieurs semblent être effectifs. En réalité, on peut considérer une fourchette de 0.2 – 0.8 pour le cuivre et de 0.02 – 0.08 pour l'argent. Dans cette étude lorsque l'ionisation est désactivée la recolonisation est retardée et le système reste stérile pendant 2 mois supplémentaires.

Colville et al mentionnent également l'absence de recolonisation après 12 mois d'ionisation continue et la disparition complète de cas de légionellose dans l'hôpital. Plus de trente hôpitaux utilisent l'ionisation cuivre-argent pour prévenir la *L pneumophila* dans les systèmes de distribution d'eau en milieu hospitalier.

Avantages

Les avantages de l'ionisation cuivre-argent sont le coût peu élevé, la facilité d'installation et le peu de maintenance. L'efficacité de l'ionisation cuivre – argent n'est pas affectée par la température, contrairement aux traitements chlorés et aux traitements par UV. Les ions cuivre - argent sont injectés directement dans l'eau chaude de sorte que contrairement à l'hyperchloration la consommation humaine reste limitée. De plus les légionelles sont détruites plutôt que confinées ce qui limite les risques de recontamination. Liu et Al affirment qu'il n'y a pas de recontamination dans les 6 à 12 semaines suivant l'arrêt de l'ionisation. Par conséquent, une marge de sécurité existe dans l'application de cette méthode (contrairement à l'hyperchloration ou les légionelles réapparaissent rapidement en cas de défaillance du système d'injection).

Désavantages.

Il peut y avoir encrassement des électrodes et celles ci doivent être nettoyées régulièrement pour une optimisation des performances. De plus, la concentration de cuivre et argent peut fluctuer. Un excès d'ions peut conduire à une coloration noirâtre de l'eau et vert pale de la porcelaine des éviers. Un contrôle de la teneur en ions doit être conduit régulièrement. Théoriquement on pourrait s'attendre à un phénomène d'accoutumance de la legionella sur le long terme mais à ce jour ceci n'a jamais été constaté.

Coût.

Les coûts d'installation de l'ionisation cuivre – argent vont de \$ 60 000 à 100 000 selon la taille de l'hôpital. Les coûts de maintenance annuels allant de \$ 1500 à 4000 pour le remplacement des électrodes.

Rayonnement Ultraviolet

Une irradiation par rayons ultraviolets est théoriquement une alternative attractive pour la désinfection de l'eau potable. La lumière ultraviolette (254 nm) tue les bactéries par la production de dimères thymine dans l'ADN ce qui empêche sa duplication. L'efficacité de la lumière UV pour éradiquer la *L pneumophila* a été montrée in vitro et in vivo. La technique par rayonnement UV est une désinfection focalisée qui n'est efficace que si la désinfection doit être localisée. Cette méthode n'est pas adéquate pour traiter l'ensemble d'un hôpital car les légionelles sont présentes dans les biofilms persistant dans les bras morts ou les eaux stagnantes du système.

Méthodologie

Les systèmes à lumière UV sont installés à proximité des points d'utilisation comme les têtes de douches ou les robinets. L'eau circule dans une chambre hydraulique et la stérilisation se fait par exposition aux ultraviolets produits par une lampe à mercure à basse pression. L'éradication thermique ou la chloration peuvent être appliquées avant le traitement UV afin d'éradiquer la *L pneumophila* présente dans le système.

Expérience clinique

Des expériences in vitro et in vivo de désinfection par lumière UV ont montré son effet bactéricide sur la *L pneumophila*. L'installation d'une préfiltration est nécessaire pour éviter une accumulation de dépôt sur les lampes à ultraviolets. Le traitement en continu par UV combiné avec une préfiltration a montré son efficacité pour prévenir la recolonisation de la *Legionella* des réserves d'eau du service de transplantation rénale d'un hôpital. Le traitement UV installé à proximité du point d'utilisation avec une préfiltration peut prévenir pour des mois une recolonisation par la *Legionella* d'un hôpital si elle est combinée avec une éradication thermique. Le traitement UV peut être utilisé en complément de la chloration. L'installation sur les entrées et sorties de ballon d'eau chaude n'ont pas été efficaces pour empêcher la prolifération des légionelles à cause du manque de protection des parties distales.

Avantage.

L'installation aisée et l'absence d'effets secondaires sur la tuyauterie sont les principaux avantages. Contrairement aux autres désinfectants le goût de l'eau n'est pas affecté et il n'y a pas de production de sous-

produits. Si la technique UV est utilisée elle doit être associée avec une désinfection systémique. Elle sera d'autant plus efficace que la Legionella est localisée sur des petits systèmes comme des unités de transplantation ou de soins intensifs.

Désavantages.

Le principal désavantage de la méthode UV est son incapacité à protéger les parties éloignées du point d'application. Des désinfections systémiques sont fréquemment nécessaires pour pallier ce manque de protection. Les manchons de quartz des lampes UV peuvent facilement s'encrasser et doivent être nettoyés régulièrement. Une préfiltration est hautement recommandée pour éviter l'encrassement des manchons de quartz et diminuer l'intensité de l'irradiation UV. Dans un hôpital on a constaté une recolonisation par les légionelles après une semaine avec un système sans préfiltration alors que l'ajout d'une préfiltration a permis de retarder la recolonisation pendant 3 mois.

Coût

Le coût d'un traitement ultraviolet est estimé à \$50 000 pour un hôpital de 500 lits comprenant 4 unités de 60 m³ / heure et deux de 7 m³ / heure. (aquafine, Valencia, CA, Pureflow, Inc, GA). Le coût de la préfiltration nécessaire est à ajouter.

Elévation de température instantanée.

On porte la température de l'eau à 88° ou plus pour tuer la L pneumophila puis on ramène la température de l'eau à la température désirée par dilution à l'eau froide. Dans certains hôpitaux de tels systèmes à production instantanée sont plus économiques que les systèmes classiques à ballon d'eau chaude car l'encombrement des équipements est moindre dans la mesure où il n'y a plus de ballon de stockage. Le chauffage instantané est plus efficace lorsqu'il est mis en place pour une nouvelle installation. En effet l'efficacité dans les vieux systèmes est limitée à cause de la présence persistante de biofilm de L pneumophila qui ne seront pas affectés par l'eau chaude traitée thermiquement en amont. Si un système de chauffage instantané doit être installé sur un circuit déjà contaminé alors le système nécessite une décontamination préalable.

Expérience clinique.

Deux hôpitaux avec un système de chauffage instantané (Leslie Controls, Tampa, FL) ne présentaient pas de contamination de Legionella contrairement aux 9 hôpitaux (sur 13) utilisant les systèmes à ballon d'eau traditionnels. La prévention de la Legionella s'est avérée inefficace avec cette technique dans un hôpital de 700 lits qui était préalablement contaminé. Dans un autre hôpital, le remplacement de volumineux ballons d'eau chaude par un système de chauffage instantané a été peu efficace sur le réseau distal.

Avantages

Le chauffage instantané ou semi instantané offre une meilleure efficacité et requiert un moindre encombrement que les systèmes classiques à ballon de stockage. La gestion de ces systèmes ne nécessite pas de compétences particulières. De plus les réchauffeurs instantanés évitent les ballons de stockage d'eau où la legionella a tendance à se développer sous les dépôts de tartre et sédiments.

Désavantages

Comme l'éradication thermique et le traitement UV, il n'y a pas de rémanence de la protection avec les réchauffeurs instantanés car le traitement ne concerne que l'eau alimentaire chauffée. Il ne peut y avoir éradication complète de la L pneumophila dans l'ensemble du système à moins que la température de l'eau soit supérieure à 60°C sur toutes les sorties. De plus il s'avère qu'il est quasiment impossible de pratiquer l'éradication thermique avec les seules installations de chauffage instantané qui ne permettent pas d'assurer la température minimum pendant un temps suffisamment long sur une quantité d'eau suffisante pour assurer les conditions de l'éradication ;

Coûts.

Pour un hôpital de 300 lits avec trois systèmes de chauffage semi-instantané les coûts par unité sont de \$12000 – \$15000 non compris les coûts d'installation.

Hyperchloration

Le chlore est un agent oxydant reconnu efficace comme un désinfectant des agents pathogènes de l'eau potable domestique. Une concentration de chlore libre de 0.4 mg/l peut inactiver in vitro les légionelles en suspension en moins de 15 minutes. Cependant les légionelles localisées sur les surfaces des canalisations sont beaucoup plus résistantes au chlore. L'inactivation et la suppression des légionelles demandent des dosages en chlore supérieur à 3 ppm, alors que le chlore résiduel dans les eaux domestiques est en général inférieur à 1 ppm. De plus le chlore se décompose avec l'élévation de la température.

Méthodologie

L'hyperchloration consiste en une addition de chlore au chlore résiduel existant. Deux approches sont utilisées pour le problème spécifique de la désinfection de la Legionella L'hyperchloration par chocs ou l'hyperchloration en continu. L'hyperchloration par chocs consiste à injecter le chlore de manière à obtenir un dosage de 20 – 50 ppm de chlore dans le système. Après un certain temps l'eau est drainée puis remplacée par l'eau alimentaire jusqu'à retour à des concentrations en chlore comprises entre 0.5 et 1 ppm. L'hyperchloration en continu consiste à injecter le chlore additionnel de manière continue sous forme d'hypochlorite de calcium, d'hypochlorite de sodium ou sous forme gazeuse. Le chlore résiduel, dépendant des variations de la qualité de l'eau alimentaire, des matières résiduelles dans le système et des biofilms peut fluctuer. Si le système présente des problèmes de recirculation, des endroits de stagnation ou peu utilisés alors le Chlore est inefficace contre les légionelles localisées dans ces endroits. Le personnel de maintenance doit être qualifié pour gérer le programme d'application et conduire les analyses du désinfectant résiduel.

Expérience clinique.

L'hyperchloration en continu a été utilisée avec des succès variables pour maîtriser la prolifération des légionelles. Des hyperchlorations entre 2 – 6 mg / litre combinées avec l'éradication thermique ont permis de réduire en six semaines les cultures positives de L pneumophila de 43% à 8 % dans le système d'eau d'un hôpital. Des recontaminations du circuit d'eau sont apparues dans une période de 2 à 5 mois après le retour du chlore à des concentrations normales dans un hôpital ayant pratiqué une hyperchloration Choc.

Avantages.

La chloration d'un circuit est une méthode systémique qui permet d'assurer un résiduel de désinfectant dans l'ensemble du système de distribution et par conséquent permet de minimiser la L pneumophila même sur les points éloignés.

Désavantages

Le principal désavantage de l'hyperchloration est que le chlore est hautement corrosif et cause de sérieux dommages aux canalisations. Le nombre de fuites moyen a été multiplié par trente dans un hôpital de l'Iowa après 3 années de chloration. Bien que ce problème puisse être minimisé en injectant un filmogène chimique, type silicate de sodium, dans les circuits chauds, les coûts de maintenance restent élevés. Après filmage 1 à 3 fuites par mois ont été signalées dans ce même hôpital. A cause de ces problèmes de corrosion et d'une efficacité variable au moins cinq centres académiques majeurs ont abandonné l'hyperchloration au profit de l'ionisation cuivre – argent.

Le chlore empêche le développement de la Legionella plus qu'il ne l'éradique. Il est prouvé que le chlore est relativement tolérant envers la Legionella. Kuchta et al ont montré qu'il fallait 40 minutes pour tuer 99 % de L pneumophila avec 0.1 ppm de chlore libre alors qu'une minute suffit pour la bactérie Escherichia coli. Après un choc la recontamination se fait dès que la concentration en chlore libre redescend. Dans la mesure où le chlore inhibe le développement de la Legionella plus qu'il ne l'éradique, une défaillance du système d'injection de chlore entraîne une croissance rapide de la Legionella. Une autre théorie, qui explique ce phénomène de

recolonisation rapide dès la baisse de concentration du chlore, est la présence des légionelles à l'intérieur des cellules protozoaires de l'acanthamoëbe. Ces cellules résistent à des doses de 50 ppm de Chlore libre.

Aussi, des taux de chlore résiduel élevés peuvent réagir avec des matières organiques et accélérer la production de trihalométhanes, qui sont des agents cancérigènes connus. La concentration de chlore pour potabiliser l'eau ne dépasse pas 1 ppm. Il est important de noter qu'il a été démontré dans de nombreuses études épidémiologiques que les risques de cancer augmentaient en cas de consommation d'eau chlorée. Par exemple 10 études épidémiologiques montrent que les risques sont augmentés de 64% avec de l'eau chlorée comparativement à l'eau sans chlore. Une analyse de 10 cas a montré un lien direct entre les maladies néoplasiques et la consommation d'eau chlorée. Les plus hauts risques concernent le cancer du colon et de la vésicule. Considérant l'augmentation du risque cancérigène avec les doses relativement faible de chlore dans l'eau potable, on imagine aisément l'augmentation des risques en cas d'hyperchloration choc.

Coûts

Le coût dépend essentiellement du nombre, du type et de la capacité des chlorateurs ainsi que du matériel d'injection associé. Grosserode et al note un coût de \$75.000 pour l'installation de l'injection de chlore + \$48.000 d'honoraires + \$7.000 de coûts opérationnels annuels. Dans un autre hôpital de 800 lits le coût de la chloration est \$88.000 d'investissement + \$16.000 / an pour la maintenance. Un hôpital de Pittsburgh a constaté que l'hyperchloration en continu leur avait coûté entre \$100.000 et \$150.000 la première année. On doit également ajouter le coût de remplacement des tuyauteries corrodées par le chlore. Si un filmogène à base de silicate est utilisé, des coûts de \$ 54.480 du poste d'injection et des coûts de \$ 10.814 ont été rapportés.

Approche de la désinfection par redondance

Dans certains hôpitaux où la *Legionella* est endémique et les patients à risque (surtout dans les unités de soins intensifs et les unités de transplantation.) Une approche par désinfection multiple peut être souhaitable pour pallier la défaillance d'une des méthodes utilisées. Par exemple, les unités UV peuvent être combinées avec une méthode systémique dans les unités à risques pour assurer une protection maximum. De plus bien que l'hyperchloration soit généralement non efficace il a été démontré in vitro des synergies entre le chlore et les UV ou les ions cuivre et argent ce qui pourrait permettre de réduire les consommations de chlore si en combinaison avec d'autres méthodes. Donc, même en cas de changement de méthode de désinfection, il ne faut pas démanteler les postes existant d'injection de chlore. Une combinaison des deux méthodes pourrait s'avérer plus efficace que la nouvelle méthode utilisée seule.

Les méthodes d'éradication inefficaces.

L'efficacité des méthodes de désinfection localisée à une partie de l'équipement ou une partie de la robinetterie ne peut être que temporaire. La recolonisation est une affaire de jours ou de semaines. L'immersion des têtes de douches ou des robinets dans de l'eau bouillante ou dans un désinfectant chimique est inefficace. La recolonisation de la robinetterie est immédiate dès qu'elle est refixée sur un système contaminé. Un nettoyage physique et une stérilisation chimique de la robinetterie avec le remplacement des joints par des joints de marques agréées s'est avéré inefficace. Des drains automatiques fixés sur les douches n'ont pas non plus permis de réduire la contamination par les légionelles de l'eau de douche.

L'idée largement répandue, que des bonnes pratiques d'ingénierie et qu'une maintenance préventive épargne la colonisation par la *Legionella*, n'est pas vérifiée. Néanmoins, les hôpitaux qui pratiquent un entretien préventif, tel le nettoyage ou la vidange des ballons d'accumulation de manière régulière (d'une fois par semaine à une fois par an) sont moins susceptibles d'être contaminés que ceux qui ne font rien. Malgré la mise en œuvre de bonnes pratiques d'entretien dans 17 hôpitaux au Pays de Galles et en Angleterre, 2 hôpitaux sur 17 ont vu leurs systèmes de distribution d'eau à nouveau contaminés. Les chercheurs ont démontré qu'il était impératif, en plus d'un bon programme de maintenance préventive, de faire des cultures régulières en différents endroits du système d'eau pour évaluer une croissance potentielle des légionelles.