

PROBLÈMES LIÉS À LA QUALITÉ MICROBIOLOGIQUE DE L'EAU

La contamination microbiologique de l'eau est due à la présence d'organismes de nature variée : virus, bactéries, protozoaires, algues, champignons... Ils ne sont pas tous pathogènes, c'est-à-dire pouvant être à l'origine de maladies. Dans les pays où les conditions sanitaires sont respectées, les organismes pathogènes sont le plus souvent à l'origine de gastro-entérites qui restent, en général, à des niveaux endémiques ; dans les pays où les conditions sanitaires sont douteuses, les maladies d'origine hydrique peuvent entraîner des épidémies nettement plus graves : dysenterie, fièvre typhoïde, choléra, ...

Ainsi, pour assurer la mise à disposition d'une eau saine aux robinets des consommateurs, il convient de la traiter efficacement, mais aussi de la protéger lors de son transport et de son stockage contre toute dégradation de sa qualité bactériologique.

DIFFÉRENTES MÉTHODES DE DÉTECTION ET/OU D'ANALYSE

Des analyses spécifiques à chaque type de micro-organismes

Il n'existe pas de méthode universelle pour la détection et/ou le dénombrement de tous les micro-organismes contenus dans l'eau : les mises en culture nécessitent des milieux nutritifs, des températures et des temps d'incubation différents, car les métabolismes mis en jeu sont spécifiques aux micro-organismes cultivés. Dans certains cas, la culture des micro-organismes est trop fastidieuse, trop longue ou trop coûteuse, voire impossible.

La nécessité d'avoir des indicateurs

La diversité des micro-organismes, leur présence aléatoire et en faible quantité dans l'eau, rendent impossible, au niveau des contrôles de routine, l'identification et le dénombrement de chaque type. L'utilisation de "micro-organismes indicateurs de contamination fécale" pallie ces difficultés. Ils sont en effet spécifiques de la flore intestinale de l'homme ou des animaux, et leur présence indique l'existence d'une contamination fécale, et donc d'un risque potentiel pour la santé. Les deux germes test principaux sont :

- les coliformes fécaux, dont *Escherichia coli* (*E. coli*) : ils sont directement reliés à une pollution fécale, mais ne permettent, ni de la dater, ni d'en évaluer l'importance ;
- les entérocoques : ils sont considérés comme des indicateurs fiables d'une contamination fécale ancienne, car ils sont plus résistants qu'*E. coli*.

Par ailleurs, d'autres indicateurs, microbiologiques ou non, sont ou peuvent être utilisés tout au long d'une chaîne de potabilisation de l'eau, parmi lesquels :

- les coliformes totaux : ils permettent d'évaluer l'efficacité d'une filière de traitement, mais ne sont pas directement corrélés à une pollution fécale ;
- *Clostridium perfringens* : ils ne sont pas caractéristiques d'une pollution fécale ; par contre, ils peuvent indiquer une contamination ancienne ;
- le compte de particules : cette technique est de plus en plus utilisée, notamment après la filtration ;
- la turbidité : une corrélation positive a été établie avec les kystes de *Cryptosporidium* ;
- les spores aérobies (type *Bacillus subtilis*) et microsphères en polystyrène : en cours d'évaluation comme indicateur de performance des procédés de traitement pour l'élimination de *Giardia* et *Cryptosporidium*.

RÉGLEMENTATION

LIMITE DE QUALITÉ		RÉFÉRENCE DE QUALITÉ	
<i>Escherichia coli</i>	0/100 ml	Bactéries coliformes	0/100 ml
Entérocoques	0/100 ml	Bactéries sulfite-réductrices (y compris les spores)	0/100 ml
		Germes aérobies revivifiables à 22 et 37°C	Variations dans un rapport de 10 par rapport à la valeur habituelle

Tableau 1

Le décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001, codifié en 2003 dans le code de la santé publique (voir Memotec n°12), fixe les limites et références de qualité pour les eaux destinées à la consommation humaine, reprises dans le tableau 1, en ce qui concerne les paramètres bactériologiques.

Par ailleurs, les eaux douces superficielles destinées à être utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine sont classées en trois catégories, A1, A2 et A3, en fonction de leurs caractéristiques. Pour chaque catégorie il est fixé les valeurs guides, ainsi que les traitements que doit subir l'eau (tableau 2).

PARAMÈTRES	VALEUR GUIDE		
	A1	A2	A3
Coliformes totaux 37°C (/100 ml)	50	5 000	50 000
<i>Escherichia coli</i> (/100 ml)	20	2 000	20 000
Entérocoques (/100 ml)	20	1 000	10 000
Salmonelles	Abs dans 5 000 ml	Abs dans 1 000 ml	-
Traitements préconisés	Physique simple + désinfection	Physico-chimique + désinfection	Physico-chimique + affinage + désinfection

Tableau 2

DIFFÉRENTES TECHNIQUES D'ÉLIMINATION OU D'INACTIVATION DES MICRO-ORGANISMES

Il existe deux types de procédés : ceux qui éliminent partiellement les micro-organismes par voie physique (décantation, filtration granulaire ou membranaire), et ceux qui les inactivent, soit chimiquement (désinfection par injection d'un oxydant comme le chlore, par exemple), soit physiquement (rayonnement ultraviolet), soit thermiquement.

La clarification-filtration : un procédé à l'efficacité éprouvée

Il est clairement établi qu'une filière conventionnelle, coagulation-floculation-décantation-filtration, est efficace pour l'élimination de la turbidité. Elle contribue également à l'abattement des micro-organismes pathogènes : par exemple, les taux d'abattement atteints pour les kystes de Giardia sont en général proches de 3 log. La réglementation américaine a fixé des crédits d'abattelements pour chaque processus unitaire : elle accorde 2,5 log d'abattement pour les kystes de Giardia et 2 log d'abattement pour les virus dans le cas d'une filtration sur sable.

Les procédés membranaires : des utilisations différentes en fonction des seuils de coupure

Étant donné les seuils de coupure de la microfiltration (entre 0,1 et 1 µm), ou de l'ultrafiltration (entre 0,01 et 0,03 µm), les résultats obtenus en terme d'abattement d'organismes sont tels que, bien souvent, les études ont été limitées par la concentration initiale des micro-organismes : on a mesuré des taux d'élimination de 7,2 log pour des virus, 7,4 log pour des bactéries et 5,1 log pour des kystes de Giardia avec une membrane d'ultrafiltration (UF). L'élimination des coliformes totaux ou de E. coli montre des résultats tout aussi probants. Les membranes de microfiltration (MF), et surtout d'UF, se posent ainsi en barrière extrêmement efficace contre les micro-organismes, dans la mesure où leur intégrité est vérifiée (voir Memotec n°31).

La désinfection chimique : la plus utilisée à l'heure actuelle

L'étape de désinfection est dédiée à l'inactivation des micro-organismes. Les oxydants les plus couramment utilisés en France sont le chlore (Cl₂), l'ozone (O₃), et le dioxyde de chlore (ClO₂) : leur efficacité dépend notamment des conditions d'exploitation. Dans le cas du chlore par exemple, un pH voisin de la neutralité favorise la concentration en acide hypochloreux HOCl, principe actif de la désinfection ; dans le cas de l'ozone, la température modifie sa cinétique de décomposition et peut en diminuer l'efficacité.

SOUCHES	VALEURS DE CT (mg.min.l ⁻¹)		
	OZONE	CHLORE	DIOXYDE DE CHLORE
Eschérichia coli	0,02	0,034 à 0,05	0,4 à 0,75
Giardia	1,8 à 2	30 à 630	7,2 à 18,5
Cryptosporidium	> 20	7 200	-
Polio I	0,1 à 0,2	1,1 à 2,5	0,2 à 6,7
Rotavirus	0,006 – 0,06	0,01 – 0,05	0,2 – 2,1

Tableau 3

Le tableau 3 permet de classer les oxydants en fonction de leur efficacité d'inactivation : plus le CT (concentration × temps de contact) est élevé, moins l'oxydant est efficace pour un organisme cible donné. Les valeurs de CT correspondent à l'inactivation de 99% de micro-organismes à T=5°C et pour un pH de 6-7. Se reporter également aux Memotec n°s 4, 14, 29.

Les UV : un rapport coût-efficacité très avantageux, notamment pour les kystes de Cryptosporidium

En traitement d'eau potable, l'utilisation des UV suppose une bonne qualité de l'eau, car la turbidité peut constituer un écran entre la source UV et les micro-organismes à inactiver. En France, seules les lampes basse pression sont autorisées pour l'eau potable, les lampes moyenne pression devant faire l'objet d'un agrément.

Les UV sont particulièrement efficaces pour l'inactivation des kystes de Cryptosporidium : les derniers résultats publiés montrent qu'une dose de 10 mJ/cm² permet d'atteindre un abattement de 4 log, soit une réduction de 99,99%. En comparaison, la réglementation française impose une dose minimale de 25 mJ/cm². Cette valeur doit cependant être relativisée en fonction des micro-organismes cibles car ceux-ci sont en effet plus ou moins sensibles aux UV. Ainsi, l'abattement de 4 log de bactéries sporulantes nécessite une dose comprise entre 25 et 50 mJ/cm².

Les conditions d'opération des UV sont assez simples dans la mesure où les lampes sont nettoyées régulièrement. Par contre, en l'absence d'effet rémanent, leur utilisation ne permet pas de s'affranchir d'une post-chloration afin de garantir l'existence d'un résiduel de chlore lors du transport de l'eau traitée dans les réseaux de distribution. Pour plus de détails se reporter au Memotec n°28.

Les procédés thermiques adaptés à l'inactivation de la légionelle dans les réseaux internes de distribution

Une enquête a mis en évidence que la maladie du légionnaire pouvait être due, dans 7 % des cas, à une contamination du réseau intérieur d'eau potable. La maladie du légionnaire touche les populations fragilisées par inhalation d'une bactérie aérobie, la *Legionella pneumophila*, qui se développe en présence de fer (corrosion des canalisations et des équipements) et d'un acide aminé, la L-cystéine sécrétée par les autres micro-organismes présents dans l'eau. Une des techniques les plus efficaces pour supprimer la source de contamination est le traitement par chocs thermiques (70°C pendant 30 minutes) réalisé au niveau du réseau contaminé. Néanmoins, cette technique « curative » ne peut être employée que pour des réseaux dont le matériau de construction résiste à la température élevée du traitement. Une autre technique, la désinfection thermique en continu, permet de limiter la température à 50°C en tout point du réseau.

CONCLUSION

La mise à disposition des consommateurs d'une eau exempte de germes pathogènes implique de mettre en œuvre à la fois des procédés de traitements efficaces et des méthodes de mesures fiables permettant de s'assurer de l'absence de tout risque microbiologique. Outre ces problèmes sanitaires, il est aussi important de veiller à la qualité de l'eau lors de son transport et de son stockage afin d'éviter les phénomènes de reviviscence bactérienne et de croissance de biofilm qui peuvent altérer la qualité de l'eau et endommager les infrastructures.