

# Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada :

## document technique

### Les bactéries hétérotrophes

Préparé par  
Le Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable  
du  
Comité fédéral-provincial-territorial sur la santé et l'environnement

Santé Canada  
Ottawa (Ontario)

Février 2006

Le présent document fait partie d'une série de documents qui remplacent le document technique (auparavant désigné par « pièce à l'appui ») précédent de la recommandation sur la qualité bactériologique, publié en juin 1988. Il peut être cité comme suit :

Santé Canada (2006). *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique – Les bactéries hétérotrophes*. Bureau de la qualité de l'eau et de la santé, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ontario).

Ce document a été rédigé par le Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable du Comité fédéral-provincial-territorial sur la santé et l'environnement.

---

Vous pouvez faire parvenir vos questions ou vos commentaires à l'adresse suivante :

Bureau de la qualité de l'eau et de la santé  
Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs  
Santé Canada  
269, avenue Laurier Ouest (indice de l'adresse : 4903D)  
Ottawa (Ontario) K1A 0K9  
CANADA

Tél. : (613) 948-2566  
Fax : (613) 952-2574  
Courriel : [water\\_eau@santecanada.gc.ca](mailto:water_eau@santecanada.gc.ca)

Vous trouverez d'autres documents techniques relatifs aux *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada* sur le site Web du Bureau de la qualité de l'eau et de la santé, à l'adresse <http://www.santecanada.gc.ca/eauqualite>.

## Table des matières

1.0	Recommandation	1
2.0	Sommaire relatif à la qualité microbiologique de l'eau potable	1
2.1	Introduction	1
2.2	Informations générales	1
2.3	Bactéries	2
2.4	Effets sur la santé	3
2.5	Exposition	4
2.6	Traitements	4
3.0	Application de la recommandation	4
3.1	Mesures correctives	5
4.0	Importance de la numération des bactéries hétérotrophes dans l'eau potable	6
4.1	Description et sources	6
4.2	Effets sur la santé	7
5.0	Rôle des bactéries hétérotrophes dans le maintien de la qualité de l'eau potable	8
6.0	Rôle des concentrations résiduelles de désinfectant dans le maintien de la qualité de l'eau potable	9
7.0	Méthodes de numération des bactéries hétérotrophes	10
7.1	Méthode du milieu coulé en boîte de Pétri	11
7.2	Méthode de la plaque préparée par étallement	11
7.3	Méthode de la filtration sur membrane	11
8.0	Techniques de traitement	11
9.0	Conclusions et recommandations	12
9.1	Qualité de l'eau potable	12
9.2	Liens avec les micro-organismes pathogènes	12
9.3	Facteurs dont il faut tenir compte dans le traitement des approvisionnements en eau brute	13
10.0	Bibliographie	14
	Annexe A : Liste de sigles	16

## **Les bactéries hétérotropes**

### **1.0 Recommandation**

*Aucune concentration maximale acceptable (CMA) n'est spécifiée pour les bactéries hétérotropes présentes dans l'eau fournie par des systèmes publics, semi-publics ou privés d'approvisionnement en eau potable. On considère plutôt comme indésirable toute augmentation des concentrations de bactéries hétérotropes au-dessus des niveaux de référence.*

Remarque : De plus amples informations sur la mise en application de cette recommandation peuvent être trouvées dans la section 3.0, Application de la recommandation.

### **2.0 Sommaire relatif à la qualité microbiologique de l'eau potable**

#### **2.1 Introduction**

Les informations contenues dans ce sommaire portent sur la qualité microbiologique de l'eau en général. Elles comportent des renseignements généraux sur les micro-organismes, leurs effets sur la santé, les sources d'exposition et les méthodes de traitement. Les informations propres aux bactéries sont données dans un paragraphe séparé. Il est recommandé de lire ce document avec d'autres documents portant sur la qualité microbiologique de l'eau potable, dont le document technique de la recommandation sur la turbidité.

#### **2.2 Informations générales**

Il existe trois principaux types de micro-organismes qu'on peut trouver dans l'eau potable : les bactéries, les virus et les protozoaires. Ils peuvent exister à l'état naturel ou être le résultat d'une contamination par des matières fécales d'origine humaine ou animale. Certains d'entre eux peuvent provoquer des maladies chez les humains. Les sources d'eau de surface, comme les lacs, les rivières et les réservoirs sont plus susceptibles de contenir des micro-organismes que les sources d'eaux souterraines, à moins que ces dernières ne soient sous l'influence directe des eaux de surface.

Le traitement de l'eau potable a pour but principal d'éliminer ou de détruire ces micro-organismes en vue de réduire le risque de maladie. S'il est impossible d'éliminer complètement le risque de maladie d'origine hydrique, l'adoption d'une approche à barrières multiples, de la source au robinet, permettra de réduire le nombre de micro-organismes dans l'eau potable. Cette approche englobe la protection de la source d'eau (dans la mesure du possible), l'emploi de méthodes de traitement appropriées et efficaces, des réseaux de distribution bien entretenus et la vérification régulière de la qualité de l'eau potable. Tous les approvisionnements en eau potable doivent être désinfectés, sauf en cas d'exemption spécifique émanant des autorités compétentes.

De plus, les sources d'eau de surface et les sources d'eaux souterraines assujetties à l'influence directe des eaux de surface doivent être filtrées. L'eau potable provenant de sources d'eau de surface intactes peut être exemptée de filtration (Santé Canada, 2003).

On évalue habituellement le rendement d'un système de filtration de l'eau potable en surveillant les niveaux de turbidité, une mesure de la clarté relative de l'eau. La turbidité est causée par des matières telles que l'argile, le limon, les matières organiques et inorganiques fines, le plancton et d'autres organismes microscopiques en suspension dans l'eau. Les matières en suspension peuvent protéger les micro-organismes pathogènes contre la désinfection chimique ou aux rayons ultraviolets (UV).

Les méthodes de détection dont on dispose à l'heure actuelle ne permettent pas l'analyse régulière de tous les micro-organismes qui pourraient être présents dans une eau potable inadéquatement traitée. Elles consistent plutôt à déterminer la qualité microbiologique en analysant l'eau potable afin d'y détecter *Escherichia coli*, une bactérie qui se trouve en permanence dans les intestins des humains et des animaux et dont la présence dans l'eau indique une contamination par des matières fécales. La concentration maximale acceptable d'*E. coli* dans l'eau potable a été établie à « aucun micro-organisme détectable par volume de 100 ml ».

### **2.3 Bactéries**

*E. coli* fait partie du groupe des coliformes totaux et constitue le seul membre de ce groupe que l'on trouve exclusivement dans les matières fécales des humains et des animaux. Sa présence dans l'eau indique non seulement une contamination récente par des matières fécales, mais aussi la présence possible de bactéries, virus et protozoaires pathogènes. La détection d'*E. coli* dans l'eau doit conduire à la diffusion immédiate d'un avis d'ébullition de l'eau et à l'adoption de mesures correctives. À l'inverse, l'absence d'*E. coli* dans l'eau potable indique généralement que celle-ci ne contient pas de bactéries intestinales pathogènes. Cependant, comme *E. coli* est moins résistant à la désinfection que les virus et protozoaires intestinaux, son absence n'indique pas nécessairement que l'eau potable ne contient pas de virus et protozoaires intestinaux. Bien qu'il soit impossible d'éliminer totalement le risque de maladies d'origine hydrique, l'adoption d'une approche à barrières multiples pour une eau potable sûre réduira au minimum la présence de micro-organismes pathogènes, et en ramènera les concentrations dans l'eau potable à aucun micro-organisme détectable ou à des niveaux n'ayant pas été associés à des maladies.

*E. coli* est le seul membre du groupe des coliformes totaux que l'on trouve exclusivement dans les matières fécales; on trouve les autres membres du groupe dans l'eau, le sol et la végétation, ainsi que dans les matières fécales. Les coliformes totaux sont facilement éliminés par la désinfection. Leur présence dans l'eau potable à la sortie d'une usine de traitement indique une faille grave au niveau du traitement et doit conduire à la diffusion immédiate d'un avis d'ébullition de l'eau et à l'adoption de mesures correctives. La présence de coliformes totaux dans l'eau dans le réseau de distribution (mais non dans l'eau sortant de l'usine de traitement) indique que le réseau de distribution est vulnérable à la contamination ou simplement qu'il s'y produit une recroissance bactérienne. Il faut dans ce cas déterminer l'origine du problème et prendre les mesures correctives qui s'imposent.

Dans les systèmes semi-publics et privés d'approvisionnement en eau potable, tels que les écoles et les foyers ruraux, la présence de coliformes totaux peut donner des indications quant aux points vulnérables du réseau, en signalant une contamination de la source, ainsi qu'une recroissance bactérienne ou un traitement inadéquat (le cas échéant). En cas de détection de la présence de coliformes totaux dans l'eau potable, les autorités locales compétentes peuvent émettre un avis d'ébullition de l'eau et recommander des mesures correctives. Il est important de relever que les décisions concernant les avis d'ébullition de l'eau doivent être prises localement et être fondées sur une connaissance du site et sur les conditions propres à celui-ci.

La numération des bactéries hétérotrophes (NBH) constitue une autre méthode pour surveiller la qualité bactériologique de l'eau potable. Ses résultats ne sont pas un indicateur de la salubrité de l'eau et ne doivent donc pas être utilisés comme indicateurs d'éventuels effets indésirables sur les humains. Chaque système aura un niveau et une plage de référence NBH qui lui sont propres, selon les caractéristiques du site; il faut remédier à toute augmentation des concentrations qui dépasserait les niveaux de référence.

Certaines bactéries d'origine hydrique, telles que *Legionella* spp. et *Aeromonas hydrophila*, se trouvent naturellement dans l'environnement et peuvent potentiellement causer des maladies. L'absence d'*E. coli* n'indique pas nécessairement l'absence de ces micro-organismes; pour nombre de ces derniers, on ne connaît pas actuellement d'indicateurs microbiologiques adéquats. Cependant, une approche à barrières multiples, incluant un traitement approprié et un réseau de distribution bien entretenu, peut réduire la concentration de ces bactéries pathogènes à des niveaux non détectables, ou à des niveaux n'ayant jamais été associés à des maladies humaines.

## **2.4 Effets sur la santé**

Les effets sur la santé de l'exposition à des bactéries, virus et protozoaires pathogènes dans l'eau potable varient. Une maladie d'origine hydrique se manifeste le plus souvent par des troubles gastro-intestinaux (nausées, vomissements et diarrhée), habituellement de courte durée. Cependant, chez les personnes sensibles, telles que les bébés, les personnes âgées et les personnes présentant un déficit immunitaire, les effets peuvent être plus graves, chroniques (p. ex. lésions rénales) ou même mortels. Les bactéries (comme *Shigella* et *Campylobacter*), les virus (comme les norovirus et le virus de l'hépatite A) et les protozoaires (comme *Giardia* et *Cryptosporidium*) peuvent être responsables de troubles gastro-intestinaux graves. D'autres agents pathogènes peuvent infecter les poumons, la peau, les yeux, le système nerveux central ou le foie.

Si la qualité de l'eau potable est remise en question au point d'être considérée comme pouvant constituer une menace pour la santé publique, les autorités chargées de l'approvisionnement en eau concerné doivent avoir en place un protocole pour la diffusion (et l'annulation) d'un avis recommandant à la population de faire bouillir l'eau. Il faut également surveiller l'apparition éventuelle de maladies d'origine hydrique. Si un lien est établi entre l'élosion d'une maladie et un approvisionnement en eau, les autorités doivent disposer d'un plan pour endiguer rapidement et efficacement la maladie.

## **2.5 Exposition**

L'eau potable contaminée par des matières fécales humaines ou animales ne constitue qu'une seule des différentes voies d'exposition à des micro-organismes pathogènes. Des éclosions causées par de l'eau potable contaminée se sont déjà produites, mais elles sont rares comparativement aux éclosions causées par des aliments contaminés. D'autres voies importantes d'exposition incluent les eaux utilisées à des fins récréatives (p. ex. les plages et les piscines) et les objets contaminés (p. ex. les poignées de porte) ou un contact direct avec des humains ou des animaux domestiques infectés (animaux de compagnie ou bétail). Bien que les eaux de surface et les eaux souterraines assujetties à l'influence directe des eaux de surface puissent contenir des micro-organismes pathogènes en quantité, le traitement efficace de l'eau potable peut produire de l'eau qui n'en contient pour ainsi dire aucun.

## **2.6 Traitement**

L'approche à barrières multiples constitue une façon efficace de réduire le risque de maladie due à la présence d'agents pathogènes dans l'eau potable. Dans la mesure du possible, les programmes de protection de l'approvisionnement en eau devraient être la première ligne de défense. Les recommandations sur la qualité microbiologique de l'eau fondées sur des micro-organismes indicateurs (p. ex. *E. coli*) et les techniques de traitement font aussi partie de cette approche. Le traitement visant à éliminer ou à inactiver les agents pathogènes constitue la meilleure façon de réduire le nombre de micro-organismes dans l'eau potable; il devrait inclure une filtration et une désinfection efficaces et un résidu de désinfection adéquat. Par ailleurs, les systèmes de filtration devraient être conçus et exploités de manière à réduire au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre, sans fluctuations importantes.

Il faut souligner que tous les désinfectants chimiques (p. ex. le chlore, l'ozone) utilisés dans l'eau potable peuvent former des sous-produits susceptibles d'avoir des effets sur la santé humaine. Cependant, les données scientifiques actuelles montrent que les avantages de la désinfection de l'eau potable (taux réduit de maladies infectieuses) l'emportent largement sur tout risque pour la santé associé à des sous-produits de désinfection. Certes, on doit tout mettre en œuvre pour réduire au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre les concentrations de sous-produits de désinfection, mais la méthode de contrôle utilisée, quelle qu'elle soit, ne doit pas nuire à l'efficacité de la désinfection.

## **3.0 Application de la recommandation**

Les résultats de la numération des bactéries hétérotrophes donnent une idée de la qualité globale de l'eau dans les systèmes publics, semi-publics\* et privés d'approvisionnement en eau

---

\*Pour les besoins du présent document, on entend par système semi-public d'approvisionnement en eau un système sans réseau de distribution ou doté d'un réseau minimal qui fournit de l'eau au public à partir d'une installation non reliée à une source d'approvisionnement publique. Les écoles, les foyers de soins, les garderies, les hôpitaux, les puits communautaires, les hôtels et les restaurants constituent des exemples de ce type d'installation. La définition d'un système semi-public d'approvisionnement peut varier selon les secteurs de compétence

potable. Ils servent à surveiller la qualité globale de l'eau, immédiatement après le traitement et dans le réseau de distribution. Ces résultats ne constituent toutefois pas un indicateur de la salubrité de l'eau et ne doivent donc pas être utilisés comme indicateur d'effets indésirables possibles chez les humains.

Dans les eaux souterraines non assujetties à l'influence directe des eaux de surface, les concentrations de bactéries hétérotrophes sont en général faibles et stables au fil du temps. Dans les eaux de surface et les eaux souterraines assujetties à l'influence directe des eaux de surface, il faut réduire au minimum les concentrations de bactéries hétérotrophes par des moyens efficaces de traitement et de désinfection et les concentrations doivent demeurer constantes au fil du temps.

Autant dans les systèmes d'approvisionnement en eau désinfectés que dans ceux qui ne le sont pas, des montées subites des concentrations de bactéries hétérotrophes qui dépassent les niveaux de référence normaux peuvent indiquer un changement de la qualité de l'eau brute ou un problème comme la recroissance bactérienne dans le réseau de distribution ou la tuyauterie. Les augmentations régulières des concentrations de bactéries hétérotrophes au fil du temps indiquent une dégradation graduelle de la qualité de l'eau brute ou de l'état du réseau. Les augmentations des concentrations de bactéries hétérotrophes dans les systèmes d'approvisionnement désinfectés peuvent aussi indiquer un problème de traitement de l'eau potable.

Lorsque les concentrations de bactéries hétérotrophes augmentent, il faut inspecter le système d'approvisionnement et déterminer la cause de l'augmentation. Il ne faut pas diffuser d'avis d'ébullition de l'eau\* en se fondant uniquement sur les résultats de la numération des bactéries hétérotrophes. Il faut prendre les mesures correctives jugées nécessaires après en avoir discuté avec l'autorité compétente.

### **3.1 Mesures correctives**

Il faut mettre en œuvre une partie ou la totalité des mesures correctives suivantes (le cas échéant) :

- vérifier l'intégrité du procédé de traitement et du réseau de distribution;
- vérifier que tout le réseau de distribution contient la concentration résiduelle nécessaire de désinfectant;
- augmenter la dose de chlore, administrer un choc de chlore dans le puits ou le réseau de plomberie, purger le réseau, nettoyer les réservoirs d'eau et les citerne domestiques et vérifier s'il y a des jonctions fautives et des fuites de pression. Les autorités compétentes doivent être consultées concernant les méthodes de déchloration disponibles et la procédure adéquate. Pour de plus amples informations à ce sujet, voir le manuel

---

\* Pour les besoins du présent document, on entend par « avis d'ébullition de l'eau » un conseil donné au public par les autorités compétentes lui recommandant de faire bouillir son eau potable, que cet avis soit émis par mesure de précaution ou à la suite d'une élosion de maladies. L'utilisation de ce terme peut varier selon les secteurs de compétence. Il arrive également que le terme « ordre d'ébullition de l'eau » soit utilisé à la place du terme « avis d'ébullition de l'eau » ou conjointement avec lui.

*Qu'est-ce qu'il y a dans votre puits? Un guide de traitement et d'entretien de l'eau de puits* (Santé Canada, 2004);

- chercher les zones mortes (eaux stagnantes) dans les conduites principales et les réservoirs;
- enquêter pour déterminer le problème et éviter qu'il se répète, y compris mesurer la qualité de l'eau brute (p. ex., caractéristiques bactériologiques, couleur, turbidité, conductivité) et sa variabilité;
- continuer d'effectuer des échantillonnages dans tous les sites identifiés pendant l'enquête et d'analyser les échantillons pour confirmer l'ampleur du problème et vérifier si les mesures correctives portent fruit.

## **4.0 Importance de la numération des bactéries hétérotrophes dans l'eau potable**

### **4.1 Description et sources**

Les bactéries hétérotrophes sont des micro-organismes qui utilisent des composés organiques pour tirer la majeure partie ou la totalité du carbone dont ils ont besoin (Singleton et Sainsbury, 2001). La plupart des bactéries, y compris un grand nombre des bactéries associées aux systèmes d'approvisionnement en eau potable, sont hétérotrophes.

La numération des bactéries hétérotrophes est une méthode d'analyse microbienne qui utilise la formation de colonies dans des milieux de culture pour calculer approximativement les concentrations de la flore hétérotrophe. Cette méthode ne donne toutefois pas d'indication sur les types d'organismes présents ou leurs sources. Il faut aussi signaler que les résultats obtenus par cette méthode ne constituent pas une évaluation exacte des concentrations totales de bactéries hétérotrophes : ils indiquent plutôt les organismes cultivables présents. On a démontré, par exemple, que les méthodes de numération des bactéries hétérotrophes dénombraient environ un pour cent seulement des bactéries totales déterminées par microscopie directe (Wagner et coll., 1993). La présence de certaines bactéries dans un état viable mais non cultivable et le fait que les milieux NBH ne fournissent pas les éléments nutritifs complexes nécessaires pour la multiplication de toutes les bactéries hétérotrophes peuvent expliquer cette différence.

La composition et les concentrations des espèces récupérées pendant la numération des bactéries hétérotrophes varieront en fonction de nombreux facteurs, y compris les caractéristiques physiques et chimiques de l'eau. Le nombre et les types de micro-organismes récupérés au même point d'échantillonnage varieront aussi. Les micro-organismes récupérés peuvent inclure ceux qui sont présents naturellement dans l'environnement hydrique et d'autres qui proviennent de diverses sources de pollution. Ils peuvent inclure notamment des espèces des genres *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Acinetobacter*, *Klebsiella*, *Flavobacterium* et *Chromobacterium*. Les analyses de numération des bactéries hétérotrophes récupèrent un vaste éventail d'espèces bactériennes, dont certaines peuvent être des bactéries pathogènes opportunistes. Cette question sera examinée plus en détail dans la section 4.2.

Contrairement à d'autres indicateurs, comme *Escherichia coli* ou les coliformes totaux, les bactéries hétérotrophes demeurent présentes en faibles concentrations même après le traitement de l'eau potable. En général, les services de distribution d'eau peuvent parvenir à des concentrations de bactéries hétérotrophes de 10 unités formant colonie (ufc) par millilitre ou moins dans l'eau prête au débit (Fox et Reasoner, 1999). Dans un réseau de distribution, les augmentations de la densité des bactéries hétérotrophes découlent habituellement d'une recroissance bactérienne. La qualité bactérienne de l'eau prête au débit qui pénètre dans le réseau, la température, la durée de résidence (c.-à-d. la stagnation), la présence ou l'absence d'une concentration résiduelle de désinfectant, les matériaux de construction, les ratios surface/volume, les conditions de débit, la disponibilité de nutriments pour la multiplication (Prévost et coll., 1997; Payment, 1999) et, dans les réseaux chloraminés, le ratio chlore/ammoniac et l'activité des bactéries nitrifiantes peuvent influer sur la densité.

#### **4.2 Effets sur la santé**

Comme mentionné ci-dessus, la population de bactéries hétérotrophes dans l'eau potable peut inclure un vaste éventail de genres, y compris certaines bactéries pathogènes opportunistes. De nombreuses études ont démontré que des bactéries hétérotrophes isolées de l'eau ont très peu de facteurs de virulence (Lye et Dufour, 1991; Payment et coll., 1994; Edberg et coll., 1996, 1997) et n'ont donc aucun effet sur la santé humaine. Au cours d'une récente réunion sur la gestion des bactéries hétérotrophes dans l'eau potable, les experts ont aussi conclu que la présence de bactéries hétérotrophes dans l'eau potable ne constituait pas un risque pour la santé de la population en général (OMS, 2002).

Dans certaines circonstances, toutefois, les agents pathogènes opportunistes de la flore hétérotrophe peuvent constituer un risque pour la santé des personnes dont le système immunitaire est compromis, y compris les enfants très jeunes. Certaines espèces de *Pseudomonas*, par exemple, peuvent devenir de sérieux envahisseurs pathogènes secondaires au cours d'infections postopératoires, chez les brûlés et chez les sujets très jeunes (Hunter et Ensign, 1947; Wilson et coll., 1961; Fierer et coll., 1967; Culp, 1969; Lowbury et coll., 1970). On a aussi signalé que le *Flavobacterium* pouvait constituer un micro-organisme pathogène primaire chez certains patients en chirurgie (Herman et Himelsback, 1965). Cependant, s'ils constituent des sujets de préoccupation sérieux pour la santé, ces problèmes ne découlent pas de la consommation d'eau potable par la population générale. Des précautions supplémentaires s'imposent dans de tels cas pour assurer la sécurité des utilisateurs.

D'autres bactéries hétérotrophes opportunistes ont attiré l'attention à cause de leur capacité de se multiplier dans les systèmes d'approvisionnement en eau potable. Des agents pathogènes secondaires comme *Legionella* et les mycobactéries non tuberculeuses, par exemple, font partie de la flore hétérotrophe (même si les méthodes NBH standard ne permettent pas de les dénombrer) et peuvent se multiplier dans les systèmes d'approvisionnement en eau. Rien ne prouve toutefois que les concentrations de bactéries hétérotrophes ont un lien direct avec leur présence (OMS, 2002). L'Environmental Protection Agency des États-Unis a placé sur sa liste des contaminants *Aeromonas hydrophila*, une autre bactérie hétérotrophe capable de se multiplier

dans un réseau de distribution. Les micro-organismes figurant sur la liste des contaminants sont ceux dont l'ingestion par l'eau potable peut poser des risques pour la santé et qu'il faut évaluer en vue de les réglementer au besoin (Hilborn et coll., 2002). On trouve d'autres renseignements sur *Aeromonas*, *Legionella* et les mycobactéries non tuberculeuses dans *Recommandations pour la qualité de l'eau potable : document technique – Les bactéries pathogènes d'origine hydrique : micro-organismes préoccupants courants et émergents* (Santé Canada, 2006). Dans l'ensemble, des concentrations élevées de bactéries hétérotrophes dans l'eau potable n'ont pas causé d'éclosion de maladies d'origine hydrique et l'on n'a pas établi de lien épidémiologique entre leur présence et les maladies endémiques dans la population générale. L'exposition au microbiote des bactéries hétérotrophes en général est beaucoup plus importante par les produits alimentaires que par l'eau potable (OMS, 2002).

## **5.0 Rôle des bactéries hétérotrophes dans le maintien de la qualité de l'eau potable**

La mise au point de milieux de culture à la fin du 19<sup>e</sup> siècle a rendu possible l'analyse rudimentaire des micro-organismes hétérotrophes. À la fin du siècle, on utilisait des épreuves NBH comme indicateur indirect de la qualité de l'eau en produisant de l'information sur le procédé de traitement – c.-à-d. que ces tests indiquaient le niveau d'élimination des bactéries par filtration. En se fondant sur les observations des concentrations de bactéries hétérotrophes et des éclosions de choléra, Robert Koch a suggéré que si l'eau potable contenait moins de 100 ufc de la bactérie hétérotrophe par millilitre, il n'y aurait pas d'éclosion (c.-à-d. de choléra et de typhoïde). L'utilisation de la numération des bactéries hétérotrophes comme indicateur de la salubrité a diminué au 20<sup>e</sup> siècle avec l'avènement des analyses spécifiques aux matières fécales.

Les exploitants d'usines de traitement peuvent actuellement mesurer les concentrations de bactéries hétérotrophes dans l'eau pendant le traitement et immédiatement à la sortie de l'usine. Cette mesure constitue un des nombreux tests courants servant à surveiller le fonctionnement de l'usine. D'autres tests comprennent notamment ceux qui portent sur les coliformes, la turbidité et les concentrations résiduelles de désinfectant. La numération des bactéries hétérotrophes peut aussi servir à mesurer la dégradation de la qualité dans les puits, les conduites de distribution et les réservoirs (Geldreich et coll., 1972; Fiksdal et coll., 1982; Reasoner et Geldreich, 1985). Dans les réseaux de distribution, la numération des bactéries hétérotrophes donne une idée de la stagnation, de la tuberculation, de la concentration résiduelle de désinfectant et de la disponibilité de nutriments pour la multiplication des bactéries. Dans les réseaux chloraminés, les résultats peuvent aussi indiquer un mauvais ratio chlore/ammoniac ou un problème de nitrification. En 1989, l'Environmental Protection Agency des États-Unis a décidé que les municipalités ne pouvaient avoir des concentrations résiduelles non détectables de désinfectant dans plus de 5 % de leurs échantillons mensuels pendant deux mois consécutifs. Lorsque le nombre de bactéries hétérotrophes est de 500/ml ou moins, on considère que l'échantillon correspondant contient une concentration résiduelle détectable conforme au règlement (EPA des États-Unis, 1989). En se fondant sur la directive du Conseil de l'Union européenne relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine (Conseil de l'Union européenne, 1998), l'Inspectorat de l'eau

potable de l'Angleterre et du Pays de Galles n'a pas établi de limite numérique pour les concentrations de bactéries hétérotrophes dans l'eau potable, mais a plutôt prescrit que les concentrations de bactéries hétérotrophes ne devaient pas montrer de changements anormaux au niveau du robinet du consommateur, ni dans les usines de traitement ou les réservoirs (DWI, 2000). Une montée subite de la concentration de bactéries hétérotrophes dans les échantillons prélevés dans un site qui a toujours présenté de faibles concentrations devrait être une source de préoccupation. Même si l'on n'a pas établi de lien entre des concentrations élevées de bactéries hétérotrophes et l'incidence de maladies, ni de lien direct entre des éclosions et des concentrations élevées de flore hétérotrophe dans l'eau du robinet, des concentrations élevées de bactéries hétérotrophes indiquent des conditions favorables à la recroissance bactérienne et il faut y remédier. La recroissance bactérienne peut favoriser ou provoquer la corrosion des tuyaux, donner un mauvais goût à l'eau ou causer sa décoloration, et favoriser la formation d'une pellicule biologique. On peut donc utiliser les bactéries hétérotrophes comme marqueurs des causes sous-jacentes de certains problèmes d'ordre esthétique (OMS, 2002). La recroissance bactérienne peut en outre héberger des agents pathogènes respiratoires secondaires comme l'espèce *Legionella*, et augmenter la demande de désinfectant.

Traditionnellement, dans certains secteurs de compétence, on a utilisé le dénombrement des colonies secondaires sur membrane filtrante pour coliformes totaux comme substitut commode et peu coûteux de la numération des bactéries hétérotrophes. Le dénombrement des colonies secondaires ne doit plus être employé comme substitut de la numération des bactéries hétérotrophes, mais peut être utile pour déterminer l'existence d'interférences nuisant à la récupération des coliformes lors de l'utilisation de milieux à base de lactose (Geldreich et coll., 1972). Il convient de signaler que l'inhibition des coliformes totaux par des bactéries hétérotrophes ne se produit pas au cours des tests sur substrat enzymatique qui utilisent des substrats définis; il n'est donc pas nécessaire de dénombrer les bactéries hétérotrophes ou les colonies secondaires à des fins de détection d'une éventuelle inhibition.

## **6.0 Rôle des concentrations résiduelles de désinfectant dans le maintien de la qualité de l'eau potable**

On traite l'eau potable afin d'offrir un produit dont la consommation ne pose aucun danger microbiologique ni chimique. Dans tous les systèmes publics et semi-publics qui pratiquent la désinfection, il faut maintenir en tout temps une concentration résiduelle de désinfectant dans tout le réseau de distribution. Le maintien et la surveillance d'une concentration résiduelle de désinfectant offrent deux avantages. Premièrement, une concentration résiduelle limite la multiplication des micro-organismes à l'intérieur du système et peut protéger contre la contamination de l'extérieur. Deuxièmement, la disparition de la concentration résiduelle de désinfectant constitue une indication immédiate de la pénétration de matières oxydables dans le réseau ou d'une défaillance du traitement. Il est donc recommandé de maintenir une concentration résiduelle de désinfectant dans tout le réseau et de la surveiller tous les jours. Les concentrations résiduelles minimales de désinfectant à maintenir sont déterminées par l'autorité compétente et peuvent varier selon les secteurs de compétence. On reconnaît

toutefois qu'un excès de désinfectant peut causer des problèmes de goût et d'odeur. Dans de tels cas, l'autorité compétente peut donner des conseils sur le type et la concentration résiduelle de désinfectant nécessaires pour garantir l'innocuité microbiologique de l'eau. Lorsque la concentration résiduelle mesurée en un point d'échantillonnage est inférieure à celle exigée par l'autorité compétente, il faut prélever un nouvel échantillon immédiatement. Si cet échantillon donne lui aussi un résultat insatisfaisant, il faut purger la conduite et poursuivre l'échantillonnage jusqu'à ce que l'on obtienne une concentration satisfaisante. Si l'on ne parvient pas à rétablir la concentration résiduelle à la valeur minimale admissible, il faut augmenter la dose de désinfectant. Si cette augmentation ne produit aucun résultat, ou si une désinfection excessive s'impose, il faut entreprendre, en collaboration avec l'autorité compétente, une enquête sanitaire pour déterminer les sources possibles de contamination et procéder à un échantillonnage spécial pour l'analyse des coliformes. Si toutes ces mesures s'avèrent inefficaces, il faut consulter à nouveau l'autorité compétente et prendre les mesures qui s'imposent.

## **7.0 Méthodes de numération des bactéries hétérotrophes**

Les méthodes de numération des bactéries hétérotrophes sont des méthodes simples à base de culture conçues pour récupérer un vaste éventail d'organismes. Bien qu'il n'y ait pas un seul milieu de culture, une seule température ou une seule durée d'incubation qui puisse garantir la récupération de tous les organismes présents dans l'eau, la 20<sup>e</sup> édition de *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et coll., 1998) indique les conditions auxquelles il faut satisfaire pour établir une estimation significative de certaines espèces cultivables.

On utilise actuellement trois méthodes – c.-à-d. milieux coulés en boîte de Pétri, plaques préparées par étalement et filtration sur membrane – pour le dénombrement des bactéries hétérotrophes (APHA et coll., 1998). Selon la méthode utilisée, différents milieux de culture sont disponibles, y compris la gélose pour dénombrement sur plaque, la gélose m-HPC, la gélose R2A, et la gélose NWRI. Tous les milieux sauf la gélose m-HPC peuvent servir avec les méthodes du milieu coulé en boîte de Pétri et de la plaque préparée par étalement. La filtration sur membrane n'utilise toutefois pas de gélose pour dénombrement sur plaque, mais se sert des géloses R2A, NWRI et m-HPC. Il convient de signaler qu'afin d'établir des comparaisons significatives entre les résultats de la numération des bactéries hétérotrophes, il faut utiliser la même méthode et le même milieu, et suivre les mêmes procédures d'incubation.

L'échantillon doit être analysé dans les 8 heures suivant le prélèvement. Toutefois, si on le conserve à une température inférieure à 4 °C mais supérieure au point de congélation, l'analyse dans les 24 heures est jugée acceptable (APHA et coll., 1998).

La numération des bactéries hétérotrophes doit être effectuée conformément aux instructions des autorités compétentes. Dans de nombreux cas, celles-ci recommandent ou exigent le recours à des laboratoires accrédités. Dans certains cas, il peut être nécessaire d'utiliser d'autres moyens, comme les laboratoires non accrédités ou les trousseaux d'essai, pour analyser les échantillons rapidement. Dans de tels cas, des échantillons de validation doivent être envoyés à

des laboratoires accrédités pour une confirmation des résultats. Les conditions de l'échantillonnage de validation doivent être définies par les autorités compétentes.

### **7.1 Méthode du milieu coulé en boîte de Pétri**

La méthode du milieu coulé en boîte de Pétri consiste à ajouter un faible volume d'échantillon (0,1-2,0 ml) à de la gélose fondu (44-46 °C) et à verser le mélange dans des boîtes de Pétri que l'on incube ensuite pendant le temps nécessaire. Comme on le décrit en détail dans *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et coll., 1998), on utilise en général deux méthodes d'incubation. Il est possible de garder les boîtes de Pétri à 35 °C pendant 48 heures ou à 20-28 °C pendant 5 à 7 jours. La méthode du milieu coulé en boîte de Pétri donne en général des colonies petites et compactes, donc plus faciles à compter. Par ailleurs, comme les colonies sont submergées, il leur faut souvent plus de temps pour se multiplier et elles sont difficiles à transférer (au besoin). En outre, comme on ajoute l'échantillon à la gélose dont la température s'établit entre 44 et 46 °C, cela peut causer un choc thermique aux bactéries.

### **7.2 Méthode de la plaque préparée par étalement**

La méthode de la plaque préparée par étalement offre l'avantage d'utiliser une gélose solidifiée, ce qui élimine la possibilité de choc thermique. L'échantillon est étalé sur la surface de la gélose (0,1-0,5 ml) et l'on incube les plaques de la façon requise (détailée ci-dessus). Certains milieux donnent de meilleurs résultats dans des conditions particulières (APHA et coll., 1998). Les colonies ainsi obtenues sont faciles à transférer et il est possible d'en distinguer la morphologie. Comme l'échantillon appliqué doit être absorbé dans la surface de la gélose, on ne peut utiliser qu'un échantillon de faible volume.

### **7.3 Méthode de la filtration sur membrane**

Lorsqu'on utilise la méthode de filtration sur membrane, on fait passer un échantillon d'eau par un filtre de 0,45 µm qui garde à sa surface les micro-organismes hétérotrophes. On dépose ensuite le filtre sur un milieu de culture que l'on incube de la façon requise (décrite ci-dessus). Cette méthode élimine aussi la possibilité de choc thermique, mais comme les colonies ne se forment que dans les limites du filtre utilisé, la méthode limite la superficie d'observation. Des pressions de filtration excessives peuvent aussi endommager les cellules. Cette méthode permet toutefois d'analyser des volumes plus importants d'eau de faible turbidité.

## **8.0 Techniques de traitement**

Comme on l'a déjà mentionné, la flore hétérotrophe inclut tous les micro-organismes qui ont besoin de nutriments de leur environnement pour survivre et se multiplier. Cette catégorie inclut la plupart des bactéries présentes naturellement dans l'eau, ainsi que la majorité des bactéries provenant d'autres sources, y compris de la contamination fécale.

Contrairement à *E. coli* et aux coliformes totaux, il n'est ni possible ni nécessaire de ramener à zéro la concentration des organismes hétérotrophes dans l'eau potable. Les services de

distribution d'eau doivent toutefois viser à réduire au minimum les concentrations de bactéries hétérotrophes en mettant en œuvre des traitements appropriés et efficaces. Dans l'ensemble, les méthodes d'élimination physique (y compris la coagulation, la flocculation, la sédimentation, la filtration sur sable lente ou rapide et la filtration directe avec ou sans aide) peuvent éliminer de 90 à 99,9 % (1 à 3 log) des bactéries hétérotrophes. La désinfection peut permettre une élimination supplémentaire de 99-99,99 % (2 à 4 log), pour donner une élimination totale de 99,999-99,99999 % (5 à 7 log) (Fox et Reasoner, 1999). À ce niveau d'élimination, il est possible d'obtenir des concentrations de bactéries hétérotrophes de 10 ufc/ml ou moins dans l'eau prête au débit (Fox et Reasoner, 1999). On peut aussi réduire au minimum les concentrations de bactéries hétérotrophes dans un réseau de distribution en fournissant de l'eau contenant de faibles quantités de carbone organique assimilable et une concentration résiduelle de désinfectant et en mettant en œuvre des pratiques exemplaires pour assurer l'entretien approprié du réseau de distribution.

## **9.0 Conclusions et recommandations**

### **9.1 Qualité de l'eau potable**

La numération des bactéries hétérotrophes peut être utilisée en tant qu'une des nombreuses méthodes disponibles pour surveiller la qualité globale de l'eau. Elle n'indique toutefois pas sa salubrité ni, par conséquent, la présence possible d'agents pathogènes pour les êtres humains. Les avis d'ébullition de l'eau ne doivent pas reposer uniquement sur des résultats de dénombrement des bactéries hétérotrophes.

On n'a pas établi de recommandation au sujet des concentrations de bactéries hétérotrophes dans l'eau potable, mais un traitement efficace avec désinfection peut produire de l'eau contenant des concentrations d'à peine 10 ufc/ml. L'augmentation importante des concentrations de bactéries hétérotrophes au-dessus des concentrations normales indique des changements au niveau de la qualité de l'eau brute, du traitement ou de la désinfection, une recroissance, une conception inadéquate ou un mauvais entretien du réseau de distribution.

### **9.2 Liens avec les micro-organismes pathogènes**

On a démontré que certaines bactéries hétérotrophes spécifiques présentes dans l'eau constituaient des agents pathogènes opportunistes chez les sujets dont le système immunitaire est compromis, ou lors d'une exposition par des voies autres que la consommation. Rien ne prouve toutefois, à la suite d'études épidémiologiques ou de liens établis avec la présence d'agents pathogènes opportunistes, que les valeurs de numération des bactéries hétérotrophes à elles seules sont directement liées à un risque pour la santé (OMS, 2002). C'est pourquoi la présence de bactéries hétérotrophes dans l'eau potable ne constitue pas un risque pour la santé de la population générale.

### **9.3 Facteurs dont il faut tenir compte dans le traitement des approvisionnements en eau brute**

Comme les techniques modernes de traitement de l'eau peuvent produire de l'eau potable de grande qualité même à partir de sources très contaminées, on ne propose pas de limites numériques en matière de qualité microbiologique des approvisionnements en eau brute. Il faut toutefois tenir compte de la qualité microbiologique de l'eau brute lorsque l'on choisit l'emplacement d'une nouvelle usine de traitement, ou avant de procéder à des mises à niveau majeures d'usines existantes. De même, il faut surveiller de près la qualité de l'eau brute afin de pouvoir modifier en conséquence les méthodes de traitement en vigueur. Il faut en outre mettre en œuvre des mesures de protection des approvisionnements en eau brute contre la contamination là où cela est possible.

Lorsqu'on évalue la qualité bactériologique de l'eau de l'approvisionnement, on préfère utiliser l'analyse de détection d'*E. coli* parce qu'elle constitue un bon indicateur d'une contamination fécale. On utilise les concentrations de coliformes totaux ou de bactéries hétérotrophes pour surveiller la qualité de l'eau pendant le traitement et la distribution.

Sauf les exemptions spécifiques à des systèmes, il faut désinfecter tous les approvisionnements publics pour produire une eau salubre sur le plan microbiologique. Dans tous les systèmes publics et semi-publics où l'on pratique la désinfection, il faut maintenir en tout temps une concentration résiduelle de désinfectant dans tout le réseau de distribution. Le maintien et la surveillance d'une concentration résiduelle de désinfectant offrent deux avantages. Premièrement, une concentration résiduelle limite la multiplication des organismes à l'intérieur du système et peut protéger contre la contamination de l'extérieur. Deuxièmement, la disparition de la concentration résiduelle de désinfectant constitue une indication immédiate de la pénétration de matières oxydables dans le réseau ou d'une défaillance du traitement. Il est donc recommandé de maintenir une concentration résiduelle de désinfectant dans tout le réseau et de la surveiller tous les jours. Les concentrations résiduelles minimales de désinfectant à maintenir sont déterminées par l'autorité compétente et peuvent varier selon les secteurs de compétence. On reconnaît toutefois qu'un excès de désinfectant peut causer des problèmes de goût et d'odeur. Dans de tels cas, l'autorité compétente peut donner des conseils sur le type et la concentration résiduelle de désinfectant nécessaires pour garantir l'innocuité microbiologique de l'eau.

Outre la désinfection, tous les systèmes publics alimentés par des sources d'eau de surface et des eaux souterraines assujetties à l'influence directe des eaux de surface devraient être traités conformément au document technique de la recommandation sur la turbidité (Santé Canada, 2003). Les systèmes semi-publics et privés qui utilisent des sources semblables doivent pratiquer une filtration adéquate (ou utiliser des techniques permettant d'obtenir une qualité équivalente) et la désinfection. L'eau potable provenant de sources d'eau de surface intactes peut être exemptée de filtration (Santé Canada, 2003).

Il ne faut pas déduire que les présentes recommandations garantiront la production d'une eau potable de qualité acceptable à partir de n'importe quelle source d'eau brute. Il peut être nécessaire, par exemple, de protéger l'approvisionnement ou de le soumettre à un traitement partiel pour réduire la turbidité même lorsque le nombre de coliformes est faible. De plus, pour

satisfaire à d'autres critères de qualité de l'eau, il peut être nécessaire de recourir à d'autres traitements qui ne sont pas indiqués ci-dessus.

## **10.0 Bibliographie**

APHA/AWWA/WEF (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater. 20<sup>e</sup> édition. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington, DC.

Conseil de l'Union européenne (1998). Directive 98/83/CE du conseil du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Journal officiel des Communautés européennes L330 : 32.

Culp, R.L. (1969). Disease due to "non-pathogenic" bacteria. *J. Am. Water Works Assoc.*, 61 : 157.

DWI. (2000). Water, England and Wales: The Water Supply (Water Quality) Regulations 2000 No. 3184. Drinking Water Inspectorate (<http://www.dwi.gov.uk/regs/si3184/3184.htm#sch1pA>).

Edberg, S.C., Gallo, P. et Kontnick, C. (1996). Analysis of the virulence characteristics of bacteria isolated from bottled, water cooler, and tap water. *Microbial Ecol. Health Dis.*, 9 : 67-77.

Edberg, S.C., Kopp, S., Kontnick, C. et Escarzaga, M. (1997). Analysis of cytotoxicity and invasiveness of heterotrophic plate count bacteria (HPC) isolated from drinking water on blood media. *J. Appl. Microbiol.*, 82(4) : 455-461.

EPA des États-Unis (1989). Drinking water; national primary drinking water regulations; filtration, disinfection; turbidity, *Giardia lamblia*, viruses, *Legionella* and heterotrophic bacteria – final rule. Environmental Protection Agency des États-Unis. *Fed. Regist.*, 54(124) : 27485.

Fierer, J., Taylor, P.M. et Gezon, H.M. (1967). *Pseudomonas aeruginosa* epidemic traced to delivery-room resuscitation. *N. Engl. J. Med.*, 276 : 991-996.

Fiksdal, L., Vik, E.A., Mills, A. et Staley, J.T. (1982). Non standard methods for enumerating bacteria in drinking water. *J. Am. Water Works Assoc.*, 6 : 313-318.

Fox, K.R. et Reasoner, D.J. (1999). Water quality in source water, treatment, and distribution systems. Dans : AWWA manual of water supply practices. AWWA M48. Waterborne pathogens. American Water Works Association, Denver, CO.

Geldreich, E.E., Nash, H.D., Reasoner, D.J. et Taylor, R.H. (1972). The necessity of controlling bacterial populations in potable waters: community water supply. *J. Am. Water Works Assoc.*, 64 : 596-602.

Herman, L.S. et Himelsback, C.K. (1965). Detection and control of hospital sources of flavobacteria. *Hospitals*, 39 : 72-76.

Hilborn, E.D., Royster, M.O. et Drabkowsky, D.J. (2002). Survey of US public health laboratories: microbial pathogens on the CCL. *J. Am. Water Works Assoc.*, 94(6) : 88-95.

Hunter, C.A. et Ensign, P.R. (1947). An epidemic of diarrhea in a new-born nursery caused by *P. aeruginosa*. *Am. J. Public Health*, 37 : 1166-1169.

---

### *Les bactéries hétérotrophes (février 2006)*

---

Lowbury, E.J.T., Thorn, B.T., Lilly, H.A., Babb, J.R. et Whitall, K. (1970). Sources of infection with *Pseudomonas aeruginosa* in patients with tracheostomy. *J. Med. Microbiol.*, 3 : 39-56.

Lye, D.J. et Dufour, A.P. (1991). A membrane filter procedure for assaying cytotoxic activity in heterotrophic bacteria isolated from drinking water. *J. Appl. Bacteriol.*, 70 : 89-94.

OMS (2002). Heterotrophic plate count measurement in drinking water safety management. Report of an Expert Meeting, Genève, 24-25 avril 2002. Protection de l'environnement humain, Eau, Assainissement et Santé, Organisation mondiale de la santé, Genève.

Payment, P. (1999). Heterotrophic bacteria. Dans : AWWA manual of water supply practices. AWWA M48. Waterborne pathogens. American Water Works Association, Denver, CO.

Payment, P., Coffin, E. et Paquette, G. (1994). Blood agar to detect virulence factors in tap water of heterotrophic bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.*, 60 : 1179-1183.

Prévost, M., Rompré, A., Baribeau, H., Coallier, J. et Lafrance, P. (1997). Service lines: their effect on microbiological quality. *J. Am. Water Works Assoc.*, 89(7) : 78-91.

Reasoner, D.J. et Geldreich, E.E. (1985). A new medium for the enumeration and subculture of bacteria from potable water. *Appl. Environ. Microbiol.*, 49 : 1-7.

Santé Canada (2003). Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : documentation à l'appui – Turbidité. Bureau de la qualité de l'eau et de la santé, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ontario).

Santé Canada (2004). Qu'est-ce qu'il y a dans votre puits? Un guide de traitement et d'entretien de l'eau de puits. Bureau de la qualité de l'eau et de la santé, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ontario) ([http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/water-eau/drink-potab/well\\_water-eau\\_de\\_puits\\_f.html](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/water-eau/drink-potab/well_water-eau_de_puits_f.html)).

Santé Canada (2006). Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique – Les bactéries pathogènes d'origine hydrique : micro-organismes préoccupants courants et émergents. Bureau de la qualité de l'eau et de la santé, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ontario).

Singleton, P. et Sainsbury, D. (2001). Dictionary of Microbiology and Molecular Biology, 3<sup>e</sup> édition. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester, West Sussex. p 368.

Wagner, M., Amann, R., Lemmer, H. et Schleifer, K.H. (1993). Probing activated sludge with oligonucleotide specific for Proteobacteria: Inadequacy of culture-dependent methods for describing microbial community structure. *Appl. Environ. Microbiol.*, 59 : 1520-1525.

Wilson, M.G., Nelson, R.C., Phillips, L.H. et Boak, R.A. (1961). New source of *Pseudomonas aeruginosa* in a nursery. *J. Am. Med. Assoc.*, 175 : 1146-1148.

## **Annexe A : Liste de sigles**

CMA concentration maximale acceptable  
NBH numération des bactéries hétérotrophes  
ufc unité formant colonie