



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

document technique

Les coliformes totaux

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 coliformes totaux*. 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 0K9Ottawa (Ontario) K1A 0K9
CANADA

Tél. : (613) 948-2566
Fax : (613) 952-2574
Courriel : 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	Traitement	4
3.0	Application de la recommandation	5
3.1	Systèmes publics d'approvisionnement en eau potable	5
3.1.1	Conditions d'analyse	5
3.1.2	Notification	5
3.1.3	Mesures correctives	6
3.2	Systèmes semi-publics et privés d'approvisionnement en eau potable	8
3.2.1	Conditions d'analyse	8
3.2.2	Notification	8
3.2.3	Mesures correctives : approvisionnements désinfectés (sources d'approvisionnement en eau de surface et eaux souterraines assujetties à l'influence directe des eaux de surface)	9
3.2.4	Mesures correctives : puits non désinfectés	9
4.0	Importance de la présence de coliformes totaux dans l'eau potable	10
4.1	Description	10
4.2	Sources	11
5.0	Rôle des coliformes totaux dans le maintien de la qualité de l'eau potable	13
5.1	Systèmes publics	13
5.2	Systèmes semi-publics et privés	14
6.0	Rôle des concentrations résiduelles de désinfectant dans le maintien de la qualité de l'eau potable	14
7.0	Méthodes d'analyse pour la détection des coliformes totaux	15
7.1	Méthode présence-absence	16
7.2	Filtration sur membrane	17
7.3	Fermentation multitube	18

8.0	Échantillonnage pour la détection des coliformes totaux	20
8.1	Taille de l'échantillon	20
8.2	Fréquence d'échantillonnage	20
8.3	Points d'échantillonnage	22
8.4	Traitement des échantillons	22
9.0	Techniques de traitement	23
9.1	Techniques de traitement municipales	24
9.2	Techniques de traitement résidentielles	26
10.0	Conclusions et recommandations	27
10.1	Qualité de l'eau potable	27
	10.1.1 Systèmes publics d'approvisionnement en eau potable	27
	10.1.2 Systèmes semi-publics et privés d'approvisionnement en eau potable ..	28
10.2	Fréquence de l'échantillonnage et taille des échantillons	28
10.3	Facteurs dont il faut tenir compte dans le traitement des approvisionnements en eau brute	29
11.0	Bibliographie	31
Annexe A : Arbre décisionnel relatif à l'analyse microbiologique régulière des systèmes publics		36
Annexe B : Arbre décisionnel relatif à l'analyse microbiologique régulière des systèmes semi- publics et privés		37
Annexe C : Liste de sigles		38

Les coliformes totaux

1.0 Recommandation

La concentration maximale acceptable (CMA) de coliformes totaux dans l'eau sortant d'une usine de traitement dans les systèmes publics, semi-publics et privés d'approvisionnement en eau potable est d'aucun coliforme détectable par 100 ml.

Dans les réseaux de distribution où l'on prélève moins de 10 échantillons au cours d'une période d'échantillonnage donnée, aucun échantillon ne doit contenir de coliformes totaux. Dans les réseaux de distribution où l'on prélève plus de 10 échantillons au cours d'une période d'échantillonnage donnée, il ne faut pas détecter la présence de coliformes totaux dans deux échantillons consécutifs prélevés au même endroit ni dans plus de 10 % des échantillons prélevés.

Des analyses de détection de la présence de coliformes totaux doivent être effectuées dans tous les systèmes d'approvisionnement en eau potable. La fréquence de l'échantillonnage, le nombre et le lieu de prélèvement des échantillons varient selon le type et la taille du réseau, ainsi que selon les exigences des secteurs de compétence concernés.

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'éclosion 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

3.1 Systèmes publics d'approvisionnement en eau potable

3.1.1 Conditions d'analyse

Il faut déterminer la concentration résiduelle de désinfectant et la turbidité au moins une fois par jour dans l'eau qui sort d'une usine de traitement. Ces recommandations ne s'appliquent pas aux systèmes alimentés par des eaux souterraines d'excellente qualité dans lesquels on pratique la désinfection pour augmenter la marge de sécurité. Dans la mesure du possible, en plus de l'analyse quotidienne visant à déterminer la concentration résiduelle de désinfectant et la turbidité, il faut effectuer au moins une fois par semaine des analyses de détection de la présence de coliformes totaux. Dans les réseaux publics de distribution d'eau potable, le nombre d'échantillons prélevés aux fins de la détection des coliformes totaux doit tenir compte de la taille de la population desservie, avec un minimum de quatre échantillons par mois. La fréquence de l'échantillonnage et de l'analyse pour la détermination de la présence de coliformes totaux, de la concentration résiduelle de désinfectant et de la turbidité dans l'eau traitée qui entre et passe dans les réseaux de distribution sera décidée par les autorités compétentes.

3.1.2 Notification

La présence de coliformes totaux dans l'eau qui sort d'une usine de traitement indique une sérieuse défaillance du traitement et est donc inacceptable. Il faut intervenir immédiatement. Dans un réseau de distribution, il ne faut pas détecter la présence de coliformes totaux dans deux échantillons consécutifs prélevés au même endroit ni dans plus de 10 % des échantillons prélevés au cours d'une période d'échantillonnage donnée, en se fondant sur un minimum de 10 échantillons. Dans les réseaux de distribution où l'on prélève moins de 10 échantillons, aucun échantillon ne doit contenir de coliformes totaux. La présence de coliformes totaux dans un réseau de distribution indique une dégradation de la qualité de l'eau qui peut être attribuable à une recroissance ou à une contamination consécutive au traitement. Il faut par conséquent faire enquête.

Si les conditions ci-dessus sont dépassées, le propriétaire du réseau doit prévenir toutes les autorités compétentes, réanalyser immédiatement les échantillons positifs pour y détecter la présence de coliformes et soumettre les sites qui ont donné un résultat positif à un nouvel échantillonnage et à une nouvelle analyse pour confirmer la présence ou l'absence à la fois d'*E. coli* et de coliformes totaux (voir l'annexe A : Arbre décisionnel relatif à l'analyse microbiologique régulière des systèmes publics). On suggère une méthode quantitative pour les

nouvelles analyses, car elle donne des renseignements utiles sur la contamination à chaque endroit. Le document *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique – Escherichia coli* (Santé Canada, 2006a) décrit les mesures à prendre lorsque l'on confirme la présence d'*E. coli*. Si l'on confirme la présence de coliformes totaux (en l'absence d'*E. coli*), une partie ou la totalité des mesures correctives ci-dessous peuvent s'imposer.

3.1.3 Mesures correctives

Il faut discuter avec les organismes compétents de l'envergure de la réponse à la présence de coliformes totaux (en l'absence d'*E. coli*), qui dépendra des facteurs suivants :

- évaluation fondée sur les risques de l'importance et de l'ampleur du problème, compte tenu de l'historique du réseau au complet;
- antécédents et variabilité de la qualité de la source d'approvisionnement en eau brute;
- efficacité historique documentée du procédé de traitement et intégrité du réseau de distribution.

L'historique du réseau permet au personnel qualifié d'envisager des interventions appropriées lorsque l'on détecte à l'occasion de faibles concentrations ou fréquences de coliformes totaux en l'absence d'*E. coli*. Ces niveaux et fréquences varieront en fonction des dossiers historiques du réseau.

Si l'on juge que des mesures correctives s'imposent, le propriétaire du système d'eau doit, en consultation avec les autorités compétentes, prendre les mesures correctives appropriées, qui pourraient consister notamment à :

- 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, purger les conduites principales, nettoyer les réservoirs d'eau traitée (réservoirs municipaux et citernes domestiques) et vérifier s'il y a des jonctions fautives et des fuites de pression. L'eau doit être déchlorée avant d'être déversée dans des cours d'eau contenant des poissons. Les autorités compétentes doivent être consultées concernant les méthodes de déchloration disponibles et la procédure adéquate;
- effectuer des échantillonnages et des analyses à des endroits voisins de ceux où l'on a prélevé les échantillons positifs. Les analyses doivent porter sur les coliformes totaux, *E. coli*, la concentration résiduelle de désinfectant et la turbidité. Il faut analyser au moins un échantillon en amont et un autre en aval des endroits où l'on a prélevé les échantillons à l'origine, ainsi que l'eau prête au débit qui sort de l'usine de traitement au point où elle pénètre dans le réseau de distribution. Il faut également prélever d'autres échantillons et les analyser en suivant un plan d'échantillonnage convenant au réseau de distribution;
- enquêter pour déterminer le problème et éviter qu'il se répète, et mesurer entre autres la qualité de l'eau brute (p. ex. caractéristiques bactériologiques, couleur, turbidité, conductivité) et sa variabilité;

· continuer d'effectuer des échantillonnages à tous les endroits identifiés pendant l'enquête et d'analyser les échantillons (p. ex. caractéristiques bactériologiques, concentration résiduelle de désinfectant, turbidité) pour confirmer l'ampleur du problème et vérifier si les mesures correctives portent fruit. Les analyses quantitatives sont meilleures que les analyses de présence-absence à cet égard.

Si une meilleure surveillance sanitaire indique qu'une éclosion d'origine hydrique peut être en cours, ou s'il existe des conditions susceptibles d'entraîner une telle éclosion, il faut discuter immédiatement avec les responsables de l'exploitation du service de distribution d'eau et avec l'autorité compétente de l'opportunité de diffuser un avis* d'ébullition de l'eau. Si le propriétaire est au courant d'un incident qui a pu contaminer le réseau de distribution ou nuire au traitement, on peut prévenir immédiatement les consommateurs afin de leur recommander de faire bouillir leur eau potable. Il convient de signaler qu'il faut annuler un avis d'ébullition de l'eau seulement après que deux séries d'échantillons prélevés à 24 heures d'intervalle ont donné des résultats négatifs démontrant l'intégrité du réseau au complet (y compris une qualité bactériologique, des concentrations résiduelles de désinfectant et/ou une turbidité acceptables). L'autorité locale compétente peut exiger des résultats négatifs supplémentaires. Le document de Santé Canada intitulé *Conseils pour l'émission et l'annulation des avis d'ébullition de l'eau* contient d'autres renseignements sur les avis d'ébullition de l'eau (Santé Canada, 2001).

Sauf les exemptions spécifiques à des systèmes, il faut désinfecter tous les approvisionnements publics pour produire une eau potable salubre sur le plan microbiologique, et maintenir une concentration résiduelle de désinfectant dans tout le réseau de distribution en tout temps. En outre, tous les approvisionnements publics alimentés par des sources d'eau de surface ou 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).

* Pour les besoins du présent document, on entend par « avis d'ébullition de l'eau » un conseil donné à la population 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 éclosion 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.

3.2 Systèmes semi-publics et privés d'approvisionnement en eau potable**

3.2.1 Conditions d'analyse

La fréquence d'analyse de l'eau dans les systèmes semi-publics d'approvisionnement est déterminée par l'autorité compétente et doit inclure les périodes où le risque de contamination est le plus élevé, comme le dégel de printemps, les fortes pluies et les périodes sèches. Il faut encourager les propriétaires de systèmes d'approvisionnement privés à faire analyser leur eau pendant ces mêmes périodes pour y détecter une éventuelle présence de coliformes totaux. L'eau des puits nouvellement créés ou réhabilités doit également être analysée avant l'utilisation du puits, pour confirmer sa salubrité microbiologique.

3.2.2 Notification

Aucun échantillon provenant de systèmes semi-publics ou privés d'approvisionnement en eau potable ne doit contenir de coliformes. Si un échantillon contient des coliformes totaux, il faut l'analyser de nouveau immédiatement, et prélever un nouvel échantillon dans le site qui a produit un résultat positif et l'analyser pour confirmer la présence ou l'absence à la fois d'*E. coli* et de coliformes totaux. Si un nouvel échantillonnage confirme que le système est contaminé par *E. coli*, il faut prendre les mesures décrites dans *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique – Escherichia coli* (Santé Canada, 2006a).

Les mesures à prendre lorsque l'on confirme la présence de coliformes totaux dans des échantillons en l'absence d'*E. coli* peuvent varier selon le secteur de compétence. En guise de précaution, des secteurs de compétence recommanderont toujours au propriétaire de faire bouillir l'eau potable ou d'utiliser provisoirement une autre source sûre en attendant qu'on prenne des mesures correctives. Dans d'autres secteurs de compétence, les avis sur les mesures provisoires sont spécifiques au site et dépendent de facteurs comme la concentration en coliformes totaux, les données historiques sur la qualité de l'eau, l'état de santé des utilisateurs et les retards d'enquête. Que l'on diffuse ou non un avis d'ébullition de l'eau, il faut trouver la source de la contamination de l'eau et prendre les mesures qui s'imposent (voir l'annexe B : Arbre décisionnel relatif à l'analyse microbiologique régulière des systèmes semi-publics et privés). Celles-ci peuvent comprendre une partie ou la totalité des mesures correctives indiquées dans les sections 3.2.3 et 3.2.4.

** 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.

3.2.3 Mesures correctives : approvisionnements désinfectés (sources d'approvisionnement en eau de surface et eaux souterraines assujetties à l'influence directe des eaux de surface)

Il faut d'abord procéder à une inspection sanitaire pour vérifier la salubrité du système d'eau potable le cas échéant, y compris l'entrée d'eau, le puits, la tête de puits, la pompe, le système de traitement (y compris l'équipement d'alimentation en produits chimiques), la plomberie et la zone voisine. Avant d'aller plus loin, il faut corriger toute défaillance repérée. Si toutes les conditions physiques sont acceptables, une partie ou l'ensemble des mesures correctives suivantes peuvent s'imposer.

- Vérifier qu'il reste une concentration résiduelle de désinfectant dans tout le système;
- Augmenter la dose de chlore, purger à fond le système et nettoyer les réservoirs d'eau traitée et les citernes domestiques. L'eau doit être déchlorée avant d'être déversée dans des cours d'eau contenant des poissons. Les autorités compétentes doivent être consultées concernant les méthodes de déchloration disponibles et la procédure adéquate;
- Procéder à une nouvelle analyse pour confirmer que l'eau est propre à la consommation.

Si l'on détecte la présence de coliformes totaux après avoir pris les mesures correctives décrites ci-dessus, il faut diffuser un avis d'ébullition de l'eau si ce n'est pas déjà fait. Il faut par ailleurs utiliser une source d'eau sûre jusqu'à ce que le problème soit corrigé. La présence de coliformes totaux après la prise de mesures correctives indique que le système demeure vulnérable à la contamination. Si l'on ne peut corriger le problème, il faut envisager d'autres traitements ou l'utilisation d'une nouvelle source d'eau potable.

Sauf les exemptions spécifiques à des systèmes, il faut désinfecter tous les approvisionnements semi-publics pour produire une eau potable salubre sur le plan microbiologique. Les autorités compétentes peuvent également recommander la désinfection d'approvisionnements privés. Outre la désinfection, les systèmes semi-publics et privés alimentés par des sources d'eau de surface ou des eaux souterraines assujetties à l'influence directe des eaux de surface devraient être soumis à une filtration adéquate (ou utiliser des techniques permettant d'obtenir une qualité équivalente). L'eau potable provenant de sources d'eau de surface intactes peut être exemptée de filtration (Santé Canada, 2003).

3.2.4 Mesures correctives : puits non désinfectés

Si ce n'est pas encore fait, il faut d'abord procéder à une inspection sanitaire pour vérifier la salubrité du puits, de la tête de puits, de la pompe, de la plomberie et de la zone voisine. Avant d'aller plus loin, il faut corriger toute défaillance repérée. Si toutes les conditions physiques sont acceptables, il faut alors prendre les mesures correctives qui suivent :

- Donner un choc de chlore au puits et au réseau de plomberie. Le document de Santé Canada intitulé *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) contient d'autres renseignements à ce sujet;
- Purger le système à fond et procéder à une autre analyse pour confirmer que l'eau est propre à la consommation. Des analyses de confirmation doivent être effectuées au moins

48 heures après que des analyses ont indiqué l'absence de résidus de chlore ou cinq jours après le traitement du puits. Les conditions locales peuvent déterminer la pratique acceptable. L'eau doit être déchlorée avant d'être déversée dans des cours d'eau contenant des poissons. Les autorités compétentes doivent être consultées concernant les méthodes de déchloration disponibles et la procédure adéquate.

Si l'on détecte la présence de coliformes totaux après avoir pris les mesures correctives décrites ci-dessus, il faut diffuser un avis d'ébullition de l'eau si ce n'est pas déjà fait. Il faut par ailleurs utiliser une source d'eau propre à la consommation jusqu'à ce que le problème soit corrigé. La présence de coliformes totaux après un choc de chlore et l'opération de purge indique que le puits demeure vulnérable à la contamination. Si l'on ne peut déterminer ou corriger raisonnablement le problème, il faut envisager d'installer un dispositif approprié de désinfection, de reconstruire le puits ou de le remplacer.

Il convient de signaler qu'un seul résultat négatif concernant la présence de coliformes totaux dans un système semi-public ou privé n'indique pas nécessairement que l'approvisionnement en eau est salubre. Il faut obtenir au moins deux résultats négatifs consécutifs à l'échantillonnage. Il faut procéder à une autre analyse trois à quatre mois plus tard pour vérifier que la contamination n'est pas réapparue. Seules des données historiques permettent de confirmer l'intégrité à long terme d'un système d'approvisionnement lorsqu'on les conjugue à des inspections sanitaires. La section 8.0, Échantillonnage pour la détection des coliformes totaux, contient de plus amples renseignements sur la surveillance régulière.

4.0 Importance de la présence de coliformes totaux dans l'eau potable

4.1 Description

Dans la 20^e édition de *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et coll., 1998), on définit comme suit le groupe des coliformes totaux, qui appartiennent à la famille des Entérobactériacées :

(1) toute bactérie anaérobie facultative, en forme de bâtonnet, non sporulée et gram-négative qui fermente le lactose et produit du gaz et de l'acide dans les 48 heures à 35 °C;

(2) de nombreuses bactéries anaérobies facultatives, en forme de bâtonnet, non sporulées et gram-négatives qui forment des colonies rouges à reflets métalliques (or) dans les 24 heures à 35 °C dans un milieu de type Endo contenant du lactose;

(3) toutes les bactéries dotées de l'enzyme β -galactosidase, qui clive un substrat chromogène (p. ex., *ortho*-nitrophényl- β -D-galactopyranoside), ce qui libère un agent chromogène (*ortho*-nitrophénol).

Il ne faut pas considérer que ces définitions sont identiques : elles désignent plutôt trois groupes à peu près équivalents. Les trois groupes contiennent diverses espèces des genres *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Citrobacter* et *Serratia*, notamment (Leclerc et coll., 2001). Des membres de ces groupes sont naturellement présents dans l'environnement et sont d'origine fécale, tandis que d'autres se trouvent exclusivement dans l'environnement (Tableau 1).

Les coliformes totaux (février 2006)

Même s'ils ne sont pas inclus dans le groupe des coliformes, les membres du genre *Aeromonas* peuvent fermenter le lactose, ont une enzyme β -galactosidase et peuvent donc produire des résultats faussement positifs pour les coliformes totaux. Les espèces *Aeromonas* sont très répandues dans l'environnement; on les trouve entre autres dans les lacs, les rivières, les mers, les effluents d'eaux usées et l'eau potable (Allen et coll., 1983; Nakano et coll., 1990; Poffe et Op de Beeck, 1991; Payment et coll., 1993; Ashbolt et coll., 1995; Bernagozzi et coll., 1995; Chauret et coll., 2001; El-Taweel et Shaban, 2001). On peut exclure ces résultats faussement positifs en utilisant le test de la cytochrome oxydase.

Tableau 1 : Coliformes choisis de la famille des Entérobactériacées^a

	ONPG ^b	Origine fécale	Origine non fécale
<i>Budvicia</i>	+	–	+
<i>Citrobacter</i>	+	+	+
<i>Enterobacter</i>	+	+	+
<i>Erwinia</i>	+	–	+
<i>Escherichia</i>	+	+	–
<i>Klebsiella</i>	+	+	+
<i>Leclercia</i>	+	–	+
<i>Serratia</i>	+	–	+

^a Adapté de Leclerc et coll. (2001).

^b *ortho*-Nitrophényl- β -D-galactopyranoside.

On a utilisé un sous-ensemble du groupe des coliformes totaux, celui des coliformes thermotolérants (auparavant appelés coliformes fécaux), comme substitut de la présence d'*E. coli* au cours d'analyses de la qualité de l'eau. On considérait en effet que les coliformes thermotolérants étaient plus spécifiques aux matières fécales que les coliformes totaux; de plus, comme les analyses portant sur *E. coli* étaient difficiles, on a utilisé couramment la détection des coliformes thermotolérants. Ces derniers se distinguent des coliformes totaux par leur capacité à tolérer des températures d'incubation élevées pendant la culture. Par définition, les coliformes thermotolérants comprennent les coliformes totaux capables de produire du gaz dans les 24 heures à 44,5 °C ou une colonie bleue sur un bouillon m-FC dans les 24 heures à 44,5 °C (APHA et coll., 1998). Ce groupe comprend des membres des genres *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter* et *Citrobacter*. Des progrès récents des méthodes de détection d'*E. coli* ont rendu redondant le test de dépistage des coliformes thermotolérants dans la gestion de la qualité de l'eau potable.

4.2 Sources

Comme on l'a déjà mentionné, le groupe des coliformes totaux est constitué de divers genres qui ont des caractéristiques semblables. Les créneaux naturels des membres de ce groupe sont variables, allant de ceux qui sont spécifiques aux matières fécales, comme *E. coli*, à ceux

qui sont très répandus dans l'eau, le sol et la végétation (Leclerc et coll., 2001; Rompré et coll., 2002). Beaucoup de coliformes totaux ne sont pas spécifiques à une source en particulier et sont présents dans des environnements à la fois fécaux et non fécaux. La comparaison des coliformes totaux dans un environnement spécifique a révélé que certains membres du groupe des coliformes sont constamment présents en concentrations plus élevées dans la source en question. Par exemple, l'analyse de l'effectif coliforme des matières fécales a révélé la présence de *Klebsiella*, *Citrobacter* et *Enterobacter* en petites quantités comparativement à celle d'*E. coli* (Edberg et coll., 2000). On a constaté par ailleurs que *Klebsiella* constituait la majorité des coliformes thermotolérants isolés dans un réseau de distribution (Edberg et coll., 2000).

À la différence de l'environnement naturel, la présence de coliformes totaux dans un réseau de distribution découle d'un traitement inadéquat de l'eau de la source d'approvisionnement, qui laisse des coliformes totaux passer du réseau de traitement au réseau de distribution, de la recroissance subséquente ou de l'intrusion de ces organismes dans l'eau après le traitement. Une étude réalisée par Kirmeyer et coll. (1999) a montré qu'il était possible de détecter la présence de coliformes dans les conduits du réseau de distribution. La contamination après le traitement pourrait donc découler de nombreux problèmes, comme des fuites de conduits à la suite d'événements à pression négative, des ruptures de conduits, un nettoyage et une désinfection inadéquats après des réparations, ainsi que des jonctions fautives, y compris le refoulement, avec de l'eau non potable. Les montées d'eau dans les conduites principales à la suite d'activités comme les essais de bornes fontaines et la lutte contre les incendies peuvent en outre provoquer la desquamation du film biologique et l'augmentation subséquente du nombre de coliformes totaux.

Après leur arrivée dans le réseau de distribution, la survie des coliformes totaux et leur croissance possible dépendent de nombreux facteurs, y compris, notamment, la température et la durée de rétention de l'eau, le type et la concentration du désinfectant (le cas échéant), la présence de nutriments, et plus particulièrement de carbone organique assimilable et de concentrations de carbone organique biodégradable en solution, les caractéristiques du matériau des conduits et la présence de sédiments. Les membres du groupe des coliformes ne durent pas tous aussi longtemps dans des conditions semblables (APHA et coll., 1998). *E. coli*, par exemple, est généralement le plus sensible aux agresseurs environnementaux et ne se multiplie habituellement pas en dehors du tractus intestinal humain ou animal (Geldreich, 1996). Par contre, *Klebsiella*, *Citrobacter* et *Enterobacter* sont plus susceptibles de persister dans l'environnement et peuvent, dans des conditions favorables, se multiplier dans l'eau. Dans des réseaux de distribution d'eau, par exemple, *Klebsiella* a pu survivre et même se reproduire dans des films biologiques d'eau potable à la surface intérieure de conduites d'eau principales et dans des réservoirs (LeChevallier et coll., 1987; LeChevallier et McFeters, 1990; Edberg et coll., 1994). La présence de coliformes totaux dans des films biologiques peut entraîner une résistance à la désinfection et à d'autres mesures d'éradication (Martin et coll., 1982; Geldreich et Rice, 1987).

5.0 Rôle des coliformes totaux dans le maintien de la qualité de l'eau potable

Dès la fin du 19^e siècle, on a reconnu *E. coli* comme la seule espèce du groupe des coliformes qu'on trouve exclusivement dans le tractus intestinal des êtres humains et des animaux à sang chaud. À l'époque, les méthodes de détection d'*E. coli* n'étaient pas pratiques pour la surveillance régulière. On a donc utilisé les coliformes totaux comme substituts d'*E. coli* pour indiquer la contamination fécale d'approvisionnements en eau potable. On a reconnu, même à l'époque, que les coliformes totaux n'étaient pas spécifiques aux matières fécales; *E. coli* constituait toutefois la majorité des coliformes totaux que l'on trouvait alors dans l'eau potable.

Les coliformes totaux sont demeurés un indicateur de contamination fécale pendant une grande partie du 20^e siècle. Ce n'est qu'au milieu du 20^e siècle que l'on a mis au point des méthodes plus spécifiques de détection des coliformes thermotolérants, qui comprennent *E. coli* et des membres des genres *Klebsiella*, *Enterobacter* et *Citrobacter*. Le test de dépistage des coliformes thermotolérants comme substituts d'*E. coli* s'est répandu, mais il est devenu rapidement évident que la majorité des organismes isolés dans les réseaux de distribution appartenaient principalement au genre *Klebsiella* (Edberg et coll., 2000).

La disponibilité des méthodes fondées sur les enzymes pour les tests de dépistage d'*E. coli* permet maintenant aux fournisseurs d'eau potable d'effectuer des analyses régulières pour dépister la présence de cette bactérie indicatrice de contamination fécale. C'est pourquoi on ne recommande plus le test de dépistage des coliformes thermotolérants, qui est moins spécifique. D'autres études ont en outre confirmé que les coliformes totaux n'étaient pas de bons indicateurs de contamination fécale. Une étude au cours de laquelle on a comparé des réseaux d'approvisionnement en eau en termes d'éclosions et de violations de la règle sur les coliformes totaux n'a révélé, par exemple, aucune différence significative au niveau des violations reliées aux coliformes totaux entre les régions où il y a eu des éclosions de maladies d'origine hydrique et celles où il n'y en a pas eu (Nwachuku et coll., 2002). Il existe des recherches appuyant l'existence d'un lien entre la présence de virus et de coliformes totaux dans les eaux souterraines, mais de plus amples renseignements sont nécessaires (Abbaszadegan et coll., 2003).

5.1 Systèmes publics

Comme indicateurs opérationnels, les coliformes totaux fournissent de l'information sur le caractère adéquat du traitement de l'eau potable et sur la condition microbienne du réseau de distribution. Par exemple, la présence de coliformes totaux dans l'eau qui quitte une usine de traitement ou dans toute eau traitée immédiatement après le traitement signifie que le traitement est inadéquat; cette présence est inacceptable et impose de prendre des mesures correctives sans tarder. Si l'on trouve des coliformes totaux dans le réseau de distribution, mais que l'analyse de l'eau immédiatement après le traitement révèle qu'elle ne contient pas de coliformes totaux, cela peut indiquer qu'il y a eu recroissance ou contamination après le traitement. De nombreuses études (LeChevallier et coll., 1987; LeChevallier et McFeters, 1990; Edberg et coll., 1994) ont démontré qu'*Enterobacter* et *Klebsiella* colonisaient souvent les surfaces intérieures des conduites principales d'eau et des réservoirs lorsque les conditions étaient favorables. Il ne faut

néanmoins pas ignorer la présence de coliformes qui semblent issus d'une recroissance. Des mesures correctives doivent être prises dans ces cas pour maintenir l'utilité des coliformes totaux comme indicateurs de la qualité globale de l'eau. Il convient cependant de signaler qu'en l'absence d'*E. coli*, la présence de coliformes totaux dans le réseau de distribution n'a pas d'importance immédiate pour la santé publique. Elle devrait toutefois conduire à la prise de mesures supplémentaires.

D'autres pays ont adopté la même position. L'Inspectorat de l'eau potable de l'Angleterre et du Pays de Galle a inclus dans ses règlements une valeur obligatoire de 0 coliforme par 100 ml dans l'eau qui quitte l'usine de traitement et de 0 coliforme par 100 ml dans 95 % des échantillons d'eau prélevés dans des réservoirs en service, et une valeur non obligatoire de 0 coliforme par 100 ml au robinet du consommateur. Il n'est pas nécessaire de se conformer aux valeurs non obligatoires prévues dans ces règlements, mais il faut enquêter sur tout dépassement et intervenir si celui-ci représente un risque pour la santé (DWI, 2000). Ces règlements reposent sur la *Directive relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine* du Conseil de l'Union européenne (Conseil de l'Union européenne, 1998).

5.2 Systèmes semi-publics et privés

Dans les systèmes semi-publics et privés désinfectés, on considère aussi les coliformes totaux comme des indicateurs opérationnels. Leur présence témoigne de l'insuffisance de la désinfection ou de la dégradation de la qualité de l'eau dans le système. La présence de coliformes totaux dans des puits non désinfectés indique que le puits est vulnérable à l'infiltration des eaux de surface et, par conséquent, à risque de contamination fécale, ou qu'il y a recroissance des bactéries dans le puits ou la plomberie. Des mesures correctives comme le choc de chlore et la purge donnent des renseignements précieux sur la source des coliformes totaux. Ces mesures doivent généralement régler les problèmes de recroissance. La présence continue de coliformes totaux est probablement attribuable à une infiltration, ce qui indique que le système est vulnérable à la contamination par des micro-organismes pathogènes. L'étendue de la contamination peut aider à en déterminer la cause et à décider des mesures de protection provisoires et des mesures correctives à prendre. La section 3.2, Systèmes semi-publics et privés d'approvisionnement en eau potable, contient des exemples de mesures correctives.

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 et 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 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 d'analyse pour la détection des coliformes totaux

Au Canada, on utilise actuellement trois méthodes différentes pour détecter de façon régulière la présence de coliformes totaux dans l'eau : la méthode présence-absence (P-A), la filtration sur membrane (FM) et la fermentation multitube (FMT). La 20^e édition de *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et coll., 1998) présente une description détaillée de ces méthodes.

Les trois méthodes de détection reposent sur la culture pour détecter ou confirmer la présence de coliformes totaux. On peut classer les milieux de culture en deux catégories : les milieux contenant des enzymes bactériennes, destinés à détecter et à confirmer spécifiquement la présence de coliformes totaux en une seule étape (Feng et Hartman, 1982; Ley et coll., 1988) et les milieux de détection de la présence présumée de coliformes, qui exigent une deuxième étape pour confirmer la présence de coliformes totaux.

Les méthodes qui détectent et confirment la présence de coliformes totaux en une seule étape sont basées sur l'utilisation de l'enzyme β -galactosidase. Par définition, toutes les bactéries qui contiennent l'enzyme β -galactosidase appartiennent au groupe des coliformes totaux (APHA et coll., 1998). Une méthode répandue utilise l'activité de la β -galactosidase provoquée par les coliformes totaux pour hydrolyser un substrat chromogène, par exemple l'*ortho*-nitrophenyl- β -D-galactopyranoside, dans le milieu pour produire de l'*ortho*-nitrophénol (jaune), qui fait virer le milieu au jaune. Lorsque le milieu vire au jaune, il indique donc la présence de coliformes totaux. Ces nouvelles méthodes fondées sur les enzymes peuvent aussi détecter simultanément les coliformes totaux et *E. coli* (Edberg et coll., 1988).

Les méthodes fondées sur les enzymes offrent un avantage particulier, puisqu'elles ne nécessitent pas une étape de confirmation. Certaines d'entre elles, telles que les méthodes qui

utilisent des substrats définis, inhibent la croissance des bactéries non coliformes, qui ne peuvent donc pas nuire à la récupération des coliformes. Dans les méthodes à substrats définis, seul le micro-organisme cible, les coliformes totaux en l'occurrence, peut trouver des nutriments vitaux dans le milieu employé (Rompré et coll., 2002). C'est pourquoi il faut en encourager l'utilisation.

Pour la détection de la présence de coliformes totaux, on peut utiliser des milieux indicateurs de la présence présumée de coliformes, comme le bouillon de lauryl tryptose et les milieux m-Endo ou LES Endo (APHA et coll., 1998). Lorsqu'on utilise des milieux à base de lactose pour le test P-A ou la méthode FMT, la formation d'acide ou de gaz après une incubation pouvant atteindre 24 heures à 35 °C constitue un résultat positif indiquant la présence présumée de coliformes totaux. Il faudra peut-être procéder à des analyses supplémentaires pour confirmer la présence de coliformes totaux. Dans la procédure FM, les caractéristiques de la colonie, comme la couleur et la brillance en surface, servent à en établir la présence présumée (APHA et coll., 1998). D'autres méthodes de vérification des coliformes totaux récupérés au moyen de la technique FM ont été décrites (Evans et coll., 1981b; Standridge et Delfino, 1982; LeChevallier et coll., 1983b).

Toutes les analyses de détection des coliformes totaux doivent être effectuées 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 trousse d'essai commerciales, pour analyser les échantillons rapidement. À des fins de contrôle de qualité, des échantillons de validation doivent alors être envoyés à des laboratoires accrédités pour y être analysés; si cela n'est matériellement pas possible, il faut procéder à l'analyse d'échantillons supplémentaires à l'aide de la trousse d'essai. Les conditions de l'échantillonnage de validation doivent être définies par les autorités compétentes. De plus, toutes les trousse d'essai utilisées doivent remplir les conditions minimales de précision et de détection (sensibilité) requises; de même, l'opérateur doit s'assurer que le matériel est régulièrement étalonné et que les trousse d'essai sont utilisées avant leur date de péremption.

7.1 Méthode présence-absence

Le test P-A est une méthode qualitative que l'on a mise au point comme moyen sensible, économique et efficace d'analyser des échantillons d'eau potable (Clark et Vlassoff, 1973). Il s'agit essentiellement d'une modification de la technique de fermentation multitube (voir la section 7.3 ci-dessous) au cours de laquelle on utilise une seule bouteille d'analyse par échantillon. Elle n'est donc recommandée que pour l'analyse d'un approvisionnement en eau où l'on a prélevé une série d'échantillons séquentiels ou consécutifs. Dans un échantillon d'eau type de 100 ml, la limite de détection de la méthode s'établit à un organisme par 100 ml. Cette sensibilité équivaut à celle des méthodes classiques FMT et FM. On a aussi démontré que cette méthode permettait de détecter des coliformes qui ont subi des lésions pendant la période de réponse de 24 heures (Rompré et coll., 2002). Cette méthode peut servir avec les milieux à base d'enzymes, tels que les milieux à substrat défini, ou avec les milieux de détection de la présence présumée de coliformes (p. ex., bouillon de lauryl tryptose), qui nécessitent une étape de

confirmation. On a mis au point des troussees d'essai commerciales qui utilisent des méthodes à substrat défini.

Au cours d'essais comparatifs, on a montré que la méthode P-A était au moins aussi sensible que la technique FM pour la récupération des coliformes dans des échantillons d'eau potable (Clark, 1980; Jacobs et coll., 1986; Pipes et coll., 1986). Une évaluation nationale réalisée aux États-Unis a en outre démontré qu'il n'y avait aucune différence statistique entre le nombre d'échantillons positifs pour les coliformes obtenus par la méthode FMT standard et les résultats de la méthode P-A fondée sur des milieux à substrat défini (Edberg et coll., 1989). Sur le plan technique, le test P-A est plus simple que les méthodes FM et FMT, car il faut moins d'une minute pour analyser chaque échantillon. La nature qualitative et le besoin de confirmer des résultats positifs (dans le cas du bouillon de lactose seulement) sont les seules lacunes du test P-A. Comme les coliformes totaux sont des indicateurs opérationnels, les résultats quantitatifs des méthodes d'analyse FM ou FMT seront plus informatifs.

7.2 Filtration sur membrane

On a adopté la technique FM pour l'analyse bactériologique de l'eau en 1951 après que l'on a démontré qu'elle pouvait donner des résultats comparables à ceux de la méthode FMT (Clark et coll., 1951; Goetz et Tsuneishi, 1951). Il s'agit d'une méthode quantitative fondée sur des membranes filtrantes dont les pores peuvent retenir les organismes cibles. On filtre l'échantillon d'eau sur la membrane, que l'on transfère ensuite sur un milieu de croissance approprié pour identification et quantification. Cette méthode présente l'avantage de permettre d'analyser des volumes plus importants que la méthode FMT; elle offre en outre une sensibilité et une fiabilité plus grandes tout en réduisant considérablement le temps, la main-d'œuvre, le matériel, l'espace et les fournitures nécessaires. En raison de ces qualités, la technique FM demeure, dans certains secteurs de compétence, la méthode de choix pour le dénombrement régulier des coliformes dans l'eau potable. Elle présente cependant un inconvénient : on ne peut l'utiliser sur des échantillons d'eau à forte turbidité. Les particules retenues par le filtre peuvent gêner le développement des colonies et la production de reflets à la surface qui permettent de détecter visuellement la présence de colonies de coliformes.

Le principal problème de cette méthode et des techniques fondées sur l'utilisation de milieux sélectifs qui engendrent un stress (c.-à-d. des milieux contenant des produits chimiques inhibiteurs des organismes non visés), c'est qu'elles ne permettent pas de dénombrer les coliformes qui ont subi des lésions sublétales (par chloration, p. ex.) à l'usine de traitement ou dans le réseau de distribution. Il arrive souvent que les micro-organismes ayant subi un stress ne parviennent pas à se multiplier dans les milieux sélectifs pour coliformes, mais ils peuvent se rétablir grâce à un processus de revivification. Des expériences ont montré que jusqu'à 90 % des coliformes totaux présents pouvaient avoir subi des lésions (Clark et coll., 1951). La mise au point d'un nouveau milieu (m-T7) qui améliore la récupération des coliformes ayant subi un stress dans l'eau potable a constitué une amélioration importante de la technique FM (LeChevallier et coll., 1983a). L'évaluation de milieux utilisant des échantillons d'eau potable courants (LeChevallier et coll., 1983b; McFeters et coll., 1986) et des échantillons d'eau de

surface (McFeters et coll., 1986; Freier et Hartman, 1987) a montré que la récupération de coliformes était plus élevée dans le milieu m-T7 que dans le milieu m-Endo. Dans tous les cas ci-dessus, on a utilisé du chlore comme agent agresseur. Des travaux au cours desquels on a utilisé des échantillons monochloraminés (Rice et coll., 1987) et ozonés (Adams et coll., 1989) ont montré que le milieu m-T7 n'a pas donné de meilleurs résultats que la gélose m-Endo pour dénombrer *E. coli* et *Citrobacter freundii*.

Comme on l'a signalé ci-dessus, des bactéries non coliformes peuvent nuire à la récupération des coliformes dans un milieu à base de lactose. Des données tirées de la *U.S. National Community Supply Survey* (Geldreich et coll., 1972) ont montré que la récupération des coliformes totaux par la technique FM diminuait à mesure que la concentration de bactéries hétérotrophes déterminée augmentait. On a observé la réduction la plus importante lorsque les concentrations de bactéries hétérotrophes dépassaient 500 unités formant colonies (ufc)/ml. Des chercheurs ont montré que la composition de la flore hétérotrophe pouvait aussi être importante. Burlingame et coll. (1984) ont montré que la présence de *Pseudomonas aeruginosa* (30 ufc/ml) et d'*A. hydrophila* (2 ufc/ml) entraînait une diminution importante de la production de reflets par les coliformes dans la gélose m-Endo LES. Par contre, *Flavobacterium* sp. et *Bacillus* sp. n'avaient pas d'effet inhibiteur sur les coliformes, même à des concentrations de plus de 1 000 ufc/ml. Standridge et Sonzogni (1988) ont évalué deux modifications de la technique FM pour la recherche des coliformes totaux dans l'eau potable contenant une flore secondaire abondante. Dans les deux cas, environ 8 % des milieux classés au début comme négatifs, mais présentant une croissance excessive, c.-à-d. une croissance confluyente ou supérieure à 100 ufc secondaires par 100 ml, ont donné des coliformes. Il convient de signaler que dans la plupart des approvisionnements en eau où l'on maintient une concentration résiduelle totale de chlore de 0,2 mg/l, la concentration des bactéries hétérotrophes n'atteint pas 500 ufc/ml.

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 si les concentrations de bactéries hétérotrophes présentes peuvent nuire à la récupération des coliformes. Le document *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique – Les bactéries hétérotrophes* (Santé Canada, 2006b) contient d'autres renseignements sur la numération des bactéries hétérotrophes et des colonies secondaires, ainsi que sur l'importance pour la santé publique de leur présence dans l'eau potable.

7.3 Fermentation multitube

La technique de fermentation multitube (FMT) manque de précision, est plus difficile à appliquer et produit des résultats moins rapidement que la technique de filtration sur membrane (FM), qui l'a donc remplacée dans une grande mesure pour les analyses régulières de l'eau potable. La FMT demeure toutefois utile comme méthode comparative ou lorsque les conditions

ne permettent pas d'utiliser la technique FM : en présence d'eau trouble, colorée ou très contaminée, par exemple.

Dans la méthode FMT, on ajoute de l'eau à analyser, diluée à un coefficient de 10, dans des éprouvettes contenant les milieux appropriés (5 ou 10 éprouvettes par dilution) et l'on fait incuber. On peut utiliser aussi bien des milieux à base d'enzymes que des milieux de détection de la présence présumée de coliformes. Il ne devrait pas être nécessaire de diluer l'eau potable parce qu'on s'attend à ce que les valeurs de dénombrement soient faibles. Lorsqu'on utilise des milieux à base d'enzymes, le recours à une étape de confirmation n'est pas nécessaire. En effet, comme on l'a mentionné ci-dessus, la couleur des milieux contenant l'enzyme β -galactosidase propre aux coliformes change de façon spécifique pour indiquer la présence confirmée de coliformes totaux. Lorsqu'on utilise des milieux de détection de la présence présumée de coliformes, il faut procéder à des analyses supplémentaires pour confirmer la présence de coliformes totaux. On peut, par exemple, confirmer la présence de coliformes totaux au moyen d'un bouillon lactosé bilié au vert brillant. La formation de gaz dans cette éprouvette de fermentation dans les 48 heures à une température de 35 ° constitue une confirmation positive (Rompré et coll., 2002). Les résultats sont exprimés sous forme de nombre le plus probable (NPP), quel que soit le type de milieu utilisé. Le NPP représente une estimation *statistique* seulement du nombre de bactéries qui, plus probablement qu'un autre, donnerait les résultats observés. Il ne s'agit pas du nombre réel de bactéries présentes. Des troussees commerciales pour la détermination du NPP sont disponibles. Les plus répandues utilisent des plaques à cupules contenant un milieu spécifique et l'enzyme β -galactosidase. On ajoute un échantillon d'eau à la plaque. Les cupules qui contiennent des coliformes totaux subissent un changement de couleur spécifique. Le nombre de cupules positives est alors utilisé pour calculer le NPP.

Les densités élevées de non-coliformes et la nature inhibitrice de certains des milieux utilisés pour la technique FMT peuvent avoir un effet défavorable sur les méthodes habituelles de surveillance des coliformes. Seidler et coll. (1981) ont montré que la récupération des coliformes totaux par la technique FMT diminuait avec l'augmentation de la concentration de bactéries hétérotrophes et que la réduction la plus importante survenait lorsque les concentrations de bactéries hétérotrophes dépassaient 250 ufc/ml. Le Chevallier et McFeters (1985) ont posé comme hypothèse que la concurrence dont le carbone organique est l'objet et qui constitue un facteur limitatif était à l'origine de cet effet des bactéries hétérotrophes sur la récupération des coliformes totaux. La récupération de coliformes à partir de tubes FMT ayant donné des résultats négatifs quant à la production de gaz, mais présentant une certaine turbidité, a démontré la présence de composés inhibiteurs dans les milieux FMT. Lorsque l'on utilisait comme milieu primaire le bouillon de lauryl-tryptose, l'isolement de coliformes dans des tubes troubles ayant donné des résultats négatifs quant à la production de gaz augmentait le nombre de tubes positifs dans une analyse FMT d'une proportion pouvant aller jusqu'à 28 % (McFeters et coll., 1982). Des études comparatives réalisées avec du bouillon lactosé bilié au vert brillant et de la gélose m-Endo LES comme milieux de confirmation ont également démontré que le bouillon lactosé bilié au vert brillant pouvait inhiber la croissance de certains coliformes. Evans et coll. (1981a) ont mis au point une méthode pour déceler les réactions faussement négatives. Une technique FMT modifiée

a doublé la fréquence de détection des coliformes comparativement à la méthode standard pour l'eau potable. C'est pourquoi l'on recommande, dans l'édition actuelle des *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et coll., 1998), de considérer que tous les tubes présentant une turbidité, qu'il y ait ou non production de gaz, indiquent la présence présumée de coliformes.

8.0 Échantillonnage pour la détection des coliformes totaux

8.1 Taille de l'échantillon

Il faut analyser au moins 100 ml d'eau pour établir une estimation fiable du nombre d'organismes (au moyen des méthodes FMT ou FM) ou pour obtenir un résultat P-A exact, aux faibles concentrations attendues dans l'eau potable traitée. Dans les *Normes internationales pour l'eau de boisson* de l'OMS, on recommande, dans le cas d'une eau qui devrait être de bonne qualité, une série d'échantillons comprenant un volume de 50 ml et 5 volumes de 10 ml pour la méthode FMT (OMS, 1971). Pratique avec la méthode FM, l'utilisation de volumes plus importants augmente la sensibilité et la fiabilité de l'analyse. Des volumes plus petits, des dilutions ou d'autres combinaisons FMT conviendront peut-être mieux pour des eaux de qualité douteuse.

Un échantillon de 500 ml suffit pour dénombrer les coliformes (coliformes totaux ou *E. coli*) par l'une des trois méthodes indiquées, ainsi que pour la numération des bactéries hétérotrophes. De plus, si l'on a bien entreposé l'échantillon, il en restera suffisamment s'il faut procéder à une filtration sur membrane pour compléter un test P-A.

8.2 Fréquence d'échantillonnage

L'Organisation mondiale de la santé considère qu'il faut tenir compte des facteurs suivants pour déterminer la fréquence d'échantillonnage dans le cas des systèmes publics (OMS, 1971, 1976, 2004) :

- fréquence antérieure des échantillons insatisfaisants;
- qualité de l'eau des sources d'approvisionnement;
- nombre des sources d'approvisionnement en eau brute;
- qualité du traitement et capacité de l'usine de traitement;
- étendue et complexité du réseau de distribution;
- recours ou non à la désinfection.

À cause de ces variables, il est impossible d'appliquer une formule universelle à la fréquence d'échantillonnage. L'autorité compétente doit plutôt déterminer la fréquence d'échantillonnage et les points de prélèvement des échantillons en tenant dûment compte des conditions locales, comme les variations de la qualité de l'eau brute et les données historiques sur la qualité de l'eau traitée. La fréquence d'échantillonnage doit être conforme aux exigences des secteurs de compétence.

Il faut analyser l'eau qui quitte une usine de traitement au moins une fois par jour pour en déterminer la concentration résiduelle de désinfectant et la turbidité, et la soumettre au moins une

fois par semaine à une analyse de détection des coliformes totaux. Dans le cas des approvisionnements où une analyse hebdomadaire de détection des coliformes totaux n'est pas pratique (p. ex., les petits systèmes), il faut s'en remettre aux déterminations des concentrations résiduelles de désinfectant pour vérifier l'innocuité microbiologique. Les petits systèmes doivent également effectuer périodiquement des enquêtes sanitaires comme mesure supplémentaire pour vérifier la salubrité du système. Les recommandations sur l'échantillonnage quotidien pour la détermination des concentrations résiduelles de désinfectant et de la turbidité ne s'appliquent pas aux systèmes alimentés par des sources d'eaux souterraines d'excellente qualité où la désinfection vise seulement à accroître la marge de sécurité.

Dans un réseau de distribution, le nombre d'échantillons prélevés pour l'analyse bactériologique doit augmenter en fonction de la taille de la population desservie. On recommande toutefois d'analyser au moins quatre échantillons par mois, quelle que soit la taille de la population desservie. On peut se servir du tableau 2 ci-dessous comme guide :

Tableau 2 : Fréquence d'échantillonnage recommandée

Population desservie	Nombre minimal d'échantillons par mois
Jusqu'à 5 000	Au moins 4
5 000–90 000	1 par 1 000 habitants
90 000+	90+ (1 par 10 000 habitants)

Il faut prélever les échantillons à intervalles réguliers pendant tout le mois. Par exemple, si quatre échantillons sont requis par mois, ils doivent être prélevés sur une base hebdomadaire. La concentration résiduelle de désinfectant doit être mesurée au moment où l'on prélève les échantillons pour l'analyse bactériologique. La majorité des échantillons doivent provenir d'endroits susceptibles de poser un problème. Il faut donc surveiller constamment la concentration résiduelle de désinfectant et la qualité bactériologique de l'eau pour pouvoir prendre des mesures correctives immédiatement si de l'eau de qualité douteuse pénètre dans le réseau de distribution. Il faut insister sur le fait que les chiffres ci-dessus constituent une indication générale seulement. Dans le cas des installations qui fournissent une eau d'excellente qualité, il peut être possible de réduire le nombre d'échantillons prélevés pour les analyses bactériologiques. Il se peut par ailleurs qu'il soit nécessaire de procéder à des analyses plus fréquentes dans les approvisionnements où la qualité de l'eau varie.

La pratique générale qui consiste à fonder les échantillonnages requis sur la population desservie reconnaît que les petits systèmes d'approvisionnement en eau peuvent disposer de peu de ressources pour la surveillance. Toutefois, comme ces installations présentent plus de lacunes (McCabe et coll., 1970) et causent plus d'éclosions de maladies que les systèmes de plus grande taille (Taylor et coll., 1972), il faut insister aussi sur les problèmes révélés par des enquêtes sanitaires.

Les recommandations sur l'échantillonnage dans les systèmes semi-publics et privés peuvent varier d'un secteur de compétence à l'autre, mais elles doivent inclure les périodes où le risque de contamination est à son plus fort (p. ex. dégel printanier, fortes pluies ou périodes de sécheresse). Il faut aussi prélever au départ des échantillons dans les puits nouvellement créés ou réhabilités pour confirmer que leur qualité bactériologique est acceptable.

8.3 Points d'échantillonnage

Dans les systèmes publics, il appartient à l'autorité compétente de choisir les points d'échantillonnage. Il faut prélever des échantillons au point de prise d'eau et à des endroits représentatifs dans l'ensemble du réseau de distribution, mais pas nécessairement au même endroit pour tous les échantillonnages. Si l'eau provient de plus d'une source, le choix des points d'échantillonnage dans le réseau doit assurer l'échantillonnage périodique de l'eau de chacune des différentes sources. Les plans des réseaux de distribution peuvent aider à comprendre l'écoulement de l'eau et à choisir les points d'échantillonnage appropriés. La majorité des échantillons doivent provenir d'endroits qui peuvent poser un problème : zones de faible pression, réservoirs, culs-de-sac, endroits périphériques les plus éloignés de l'usine de traitement et endroits déjà contaminés dans le passé.

Dans les systèmes semi-publics et privés, on prélève en général les échantillons aux endroits recommandés par l'autorité compétente. Un échantillonnage plus poussé peut s'imposer, en fonction du réseau et des résultats des échantillonnages précédents.

8.4 Traitement des échantillons

Il faut prélever les échantillons de la façon appropriée si l'on veut qu'ils soient représentatifs de l'eau à analyser. On trouvera dans les *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et coll., 1998) des instructions détaillées sur la façon de prélever les échantillons pour en effectuer l'analyse bactériologique.

En bref, il faut utiliser un contenant stérile pour prélever les échantillons d'eau qui serviront aux analyses bactériologiques. Le contenant est stérile si le bouchon de sécurité est intact immédiatement avant le prélèvement de l'échantillon. Si l'on prélève de l'eau désinfectée, le contenant doit déjà contenir un comprimé ou une poudre d'agent neutralisant (p. ex., thiosulfate de sodium). Pour procéder à l'échantillonnage, il faut avoir enlevé au préalable tous les accessoires, y compris l'aérateur (au besoin), s'être lavé les mains, avoir désinfecté le robinet (au besoin) et laissé l'eau couler pendant plusieurs minutes avant le prélèvement; il ne faut retirer le bouchon de sécurité qu'au moment de prélever l'échantillon (ne jamais déposer le bouchon directement sur une surface); il faut ensuite remettre le bouchon en place immédiatement après avoir rempli la bouteille jusqu'au niveau indiqué, étiqueter dûment la bouteille et remplir les formulaires de chaîne de possession connexes. Comme la façon de prélever les échantillons a un effet important sur les résultats de l'analyse, il est nécessaire de former les responsables du prélèvement des échantillons à cette tâche.

Pour éviter des changements imprévisibles dans la flore bactérienne de l'échantillon, il faut commencer l'analyse le plus tôt possible après le prélèvement. Il faut apporter l'échantillon au laboratoire dans une glacière. Idéalement, l'intervalle de temps entre le prélèvement de l'échantillon et le début de l'analyse ne devrait pas dépasser 24 heures, même si un intervalle de 48 heures peut être acceptable dans le cas des échantillons prélevés dans des endroits éloignés. Lorsqu'on prévoit des retards, il faut procéder à une incubation retardée ou envisager d'effectuer des analyses sur place. La méthode d'incubation retardée décrite dans les *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et coll., 1998) est une modification de la technique FM standard qui permet de transporter la membrane, après filtration, jusqu'à un laboratoire éloigné pour incubation et analyse. Par ailleurs, si le transport prend normalement plus de 24 ou 48 heures (selon les circonstances mentionnées ci-dessus), il faut traiter l'échantillon et prendre les mesures nécessaires dès sa réception pour en faire prélever un deuxième. Ainsi, si le premier échantillon contient des coliformes, un deuxième aura déjà été reçu ou sera en route. Des rapports (Dutka et El-Shaawari, 1980; McDaniels et coll., 1985) appuient la croyance selon laquelle il faut réfrigérer les échantillons pour réduire le plus possible les changements des populations et des concentrations bactériennes. Il faut indiquer pour chaque échantillon l'heure, la date et le lieu du prélèvement, le type d'échantillon (p. ex. eau brute, réseau de distribution, etc.), le nom de la personne qui l'a prélevé, le numéro d'identification (le cas échéant), la concentration résiduelle de désinfectant ainsi que toute condition particulière. Dans la majorité des cas, la plupart de ces renseignements, ainsi que le numéro d'identification de la bouteille d'échantillon, sont consignés sur les formulaires de dépôt connexes, ainsi que sur un formulaire de chaîne de possession lorsque les échantillons sont prélevés à des fins légales. Lorsque l'analyse est retardée, il est particulièrement important de noter la durée et la température de conservation de l'échantillon, vu qu'il faut en tenir compte dans l'interprétation des résultats.

9.0 Techniques de traitement

Aucun système de traitement, aussi perfectionné qu'il soit, ne peut fournir une eau totalement dépourvue de micro-organismes pathogènes en tout temps. Le traitement vise essentiellement à réduire la présence de ces micro-organismes et à ramener les risques qu'ils posent pour la santé à des niveaux acceptables ou sûrs. Un des critères permettant de déterminer la bonne qualité de l'eau est l'absence de coliformes, qui indique l'absence de contamination fécale et des pathogènes entériques qui y sont associés. Il ne faut cependant pas se baser uniquement sur les coliformes comme indicateurs de l'innocuité microbiologique de l'eau, puisque certains pathogènes entériques, tels que les protozoaires, sont plus résistants aux techniques de traitement de l'eau. L'utilisation d'une approche à barrières multiples, incluant un traitement adéquat, un réseau de distribution bien entretenu et une protection de la source d'eau, constitue la meilleure approche pour garantir la salubrité de l'eau.

Il existe tout un éventail de moyens possibles de traiter les eaux de la source d'approvisionnement afin de produire de l'eau potable de grande qualité. La qualité de l'eau de la source d'approvisionnement déterminera l'importance du traitement nécessaire. Dans les systèmes

publics, ces moyens comprennent diverses méthodes de filtration, la désinfection au moyen de composés à base de chlore ou d'autres techniques comme les rayons UV ou l'ozonation. Les systèmes semi-publics et privés peuvent utiliser un grand nombre de ces mêmes techniques, mais à plus petite échelle.

9.1 Techniques de traitement municipales

Sauf exemptions spécifiques à des systèmes en particulier, il faut désinfecter tous les approvisionnements publics pour produire une eau potable salubre sur le plan microbiologique, quel que soit le type de source d'eau, et toujours y maintenir une concentration résiduelle de désinfectant. En outre, tous les systèmes publics alimentés par des sources d'eau de surface ou 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). Une étude portant sur des systèmes publics (Payment et coll., 1985) a démontré que les bactéries indicatrices, comme les coliformes totaux, étaient essentiellement éliminées avant la filtration (c.-à-d. pendant l'étape qui précède la désinfection, la clarification et la coagulation) et que la filtration éliminait ensuite la plupart des bactéries qui avaient survécu aux traitements précédents. Des traitements après la désinfection, fondés sur la chloration ou l'ozonation, ont éliminé les bactéries indicatrices résiduelles. Dans l'ensemble, l'élimination des coliformes totaux a dépassé 6 log dans toutes les usines de traitement soumises à des tests. Cette élimination suffit pour réduire le nombre de coliformes totaux de manière à respecter la CMA établie, qui est de zéro coliforme détectable dans 100 ml d'eau potable (voir la section 10.0).

Le chlore, la chloramine, les rayons UV, l'ozone et le dioxyde de chlore sont utilisés couramment comme désinfectants de l'eau potable. Le chlore est actuellement le désinfectant le plus répandu dans l'industrie de l'eau potable. C'est un oxydant puissant capable d'inactiver les bactéries et les virus présents dans l'eau brute, même si, comme la plupart des désinfectants à base de chlore, il n'est pas aussi efficace contre les protozoaires. Le chlore est aussi moins efficace pour inactiver les organismes présents dans les films biologiques. La chloramine est plus faible que le chlore comme oxydant. Cette caractéristique est avantageuse, car le désinfectant réside plus longtemps dans le réseau de distribution. Il est donc plus facile d'y maintenir une concentration résiduelle de désinfectant et celui-ci est plus capable de pénétrer dans le film biologique qui se forme dans les conduits et les réservoirs, ce qui permet de mieux contrôler les coliformes (LeChevallier et coll., 1990). La chloramine est toutefois moins efficace contre une flambée subite de contamination (Snead et coll., 1980) et elle peut entraîner une nitrification. La désinfection aux rayons UV semble aussi très efficace pour inactiver de nombreux types d'agents pathogènes, y compris les protozoaires (Wilczak et coll., 1996). Il convient de signaler que lorsqu'on utilise des rayons UV pour inactiver *E. coli* (et d'autres bactéries), les bactéries peuvent se réparer à la lumière (Harris et coll., 1987; Schoenen et Kolch, 1992; Zimmer et Slawson, 2002) et, à un degré moindre, dans l'obscurité. On ne considère toutefois pas que l'importance de la réparation est significative pour le traitement et la distribution d'eau potable. Comparativement aux désinfectants à base de chlore, l'ozone est plus efficace pour inactiver les bactéries, les virus et les

protozoaires. Tout comme les rayons UV, l’ozone est très efficace au point de traitement, mais il faut ajouter d’autres désinfectants (habituellement du chlore ou de la chloramine) pour produire une concentration résiduelle. Le dioxyde de chlore est aussi efficace et, dans certains cas, plus efficace que le chlore. Toutefois, son utilisation est difficile et n’est donc pas très répandue. Il faut souligner que tous les désinfectants chimiques utilisés dans l’eau potable peuvent entraîner la formation de sous-produits de désinfection indésirables.

Il est possible de prévoir l’efficacité de la désinfection si l’on connaît la concentration résiduelle de désinfectant, la température, le pH (dans le cas du chlore et de la chloramine) et la durée du contact jusqu’au premier client. On appelle habituellement cette relation le concept CT, que les systèmes publics d’approvisionnement utilisent notamment pour assurer l’inactivation adéquate des micro-organismes pendant la désinfection. Le coefficient CT est le produit de C (concentration résiduelle de désinfectant, mesurée en mg/L) par T (durée de contact du désinfectant, mesurée en minutes). Le tableau 3 présente des valeurs CT pour une inactivation à 99 % d’*E. coli* par le chlore, le dioxyde de chlore, la chloramine et l’ozone. Dans un système de traitement type, le coefficient CT entraînera une inactivation beaucoup plus élevée que 99 %. Le tableau 4 présente des inactivations logarithmiques découlant de la désinfection aux rayons UV. En raison de son importance comme indicateur de santé publique, on a utilisé *E. coli* comme espèce bactérienne représentative. À des fins de comparaison, les deux tableaux comprennent aussi les valeurs CT et les doses de rayons UV dans le cas de protozoaires et de virus représentatifs.

Tableau 3 : Valeurs CT pour une inactivation à 99 % à 5 °C

Désinfectant	pH	<i>E. coli</i> ^a (mg·min/L)	<i>Giardia lamblia</i> ^b (mg·min/L)	Poliovirus 1 ^a (mg·min/L)
Chlore libre	6–7	0,034–0,05	32–46 ^c	1,1–2,5
Chloramines formées d’avance	8–9	95–180	1470	768–3740
Dioxyde de chlore	6–7	0,4–0,75	17	0,2–6,7
Ozone	6–7	0,02	1,3	0,1–0,2

^a Tiré de Hoff (1986).

^b Tiré de l’EPA des États-Unis (1999).

^c Valeur CT pour une inactivation à 90 %.

Tableau 4 : Dose de rayons UV (mJ/cm²) nécessaire à l'inactivation

Inactivation logarithmique	<i>E. coli</i> ^a	<i>Cryptosporidium</i> ^b	Virus ^b	<i>Giardia</i> ^b
1	1,5–4,4	2,5	58	2,1
2	2,8–6,2	5,8	100	5,2
3	4,1–7,3	12	143	11

^a Fondé sur cinq études distinctes, tiré de l'EPA des États-Unis (2003).

^b Fondé sur des études de validation effectuées par l'EPA des États-Unis (2003).

Le tableau 3 indique clairement que comparativement à la plupart des protozoaires et des virus, les coliformes sont plus faciles à inactiver au moyen des désinfectants chimiques courants. Il convient aussi de signaler que les chloramines ont une valeur CT beaucoup plus élevée que celle des autres désinfectants indiqués. Cela signifie que pour produire la même inactivation avec la chloramine, il faut une concentration plus élevée de désinfectant, une durée de contact plus longue, ou une combinaison des deux, ce qui est conforme aux propriétés de la chloramine comme désinfectant décrites ci-dessus. L'étude des données sur l'inactivation au moyen de rayons UV (tableau 4) montre que parmi les organismes représentatifs, il faut soumettre les bactéries (*E. coli* en l'occurrence) et les protozoaires à des doses comparables de rayons UV pour produire le même niveau d'inactivation, tandis que les virus sont beaucoup plus résistants.

9.2 Techniques de traitement résidentielles

Pour les besoins de ce document, les systèmes semi-publics et privés sont considérés comme étant des systèmes résidentiels. Sauf les exemptions spécifiques à des systèmes, il faut désinfecter tous les approvisionnements semi-publics pour produire une eau potable salubre sur le plan microbiologique. Les autorités compétentes peuvent également recommander la désinfection d'approvisionnements privés. Outre la désinfection, les systèmes semi-publics et privés alimentés par des sources d'eau de surface et des eaux souterraines assujetties à l'influence directe des eaux de surface devraient être soumis à une filtration adéquate (ou utiliser des techniques permettant d'obtenir une eau de qualité équivalente).

Il existe tout un éventail de moyens possibles de traiter les eaux de la source d'approvisionnement afin de produire de l'eau potable de grande qualité ne contenant pas d'agents pathogènes. Au nombre de ces moyens, de nombreuses méthodes de filtration et de désinfection à l'aide de composés à base de chlore ou de techniques de remplacement, telles que les rayons UV et l'ozonation. Les systèmes semi-publics et privés peuvent utiliser un grand nombre de ces techniques, mais à une plus petite échelle que les systèmes publics, ainsi que d'autres moyens, comme la distillation. Les systèmes semi-publics et privés qui utilisent la désinfection ont le plus tendance à employer les rayons UV et, dans une moindre mesure, le chlore.

Ces techniques ont été intégrées dans des dispositifs de traitement au point d'entrée qui traitent toute l'eau pénétrant dans un immeuble, ou dans des dispositifs de traitement au point

d'utilisation, qui traitent l'eau en un seul endroit, par exemple au niveau du robinet de la cuisine d'un foyer. Les techniques de traitement utilisées dans les systèmes semi-publics et privés devraient produire, comme dans les systèmes publics, une réduction d'au moins 6 log de *E. coli*.

Santé Canada ne recommande pas de marques particulières de dispositifs de traitement de l'eau potable, mais conseille vivement aux consommateurs de n'utiliser que les dispositifs certifiés par un organisme de certification accrédité comme étant conformes aux normes appropriées de NSF International (NSF) et de l'American National Standards Institute (ANSI). Ces normes visent à protéger l'eau potable en aidant à garantir l'innocuité des matériaux et l'efficacité des produits qui entrent en contact avec l'eau potable. Les organismes de certification garantissent qu'un produit ou service est conforme aux normes en vigueur. Au Canada, le Conseil canadien des normes a accrédité les organismes suivants, qu'il autorise ainsi à homologuer les dispositifs de traitement de l'eau potable qui satisfont aux normes susmentionnées de NSF et de l'ANSI :

- CSA International (www.csa-international.org);
- NSF International (www.nsf.org);
- Water Quality Association (www.wqa.org);
- Underwriters Laboratories Inc. (www.ul.com);
- Quality Auditing Institute (www.qai.org);
- International Association of Plumbing & Mechanical Officials (www.iapmo.org).

10.0 Conclusions et recommandations

10.1 Qualité de l'eau potable

10.1.1 Systèmes publics d'approvisionnement en eau potable

Un traitement efficace comprenant la désinfection devrait produire une eau ne contenant aucun coliforme, peu importe le degré de pollution de la source d'eau. La présence de n'importe quel type de coliforme dans l'eau quittant une usine de traitement indique donc que le traitement et la désinfection sont inadéquats et est inacceptable. Si l'eau ne contient pas de coliformes totaux à la sortie de l'usine de traitement, mais qu'on détecte la présence de coliformes totaux dans le réseau, ceci indique qu'il y a eu recroissance ou infiltration d'eau dans le réseau de distribution. Même si la présence de coliformes totaux ne constitue pas un indicateur fiable de la présence de contamination fécale, il faut enquêter sur la cause de leur présence et prendre les mesures qui s'imposent au besoin. Dans un réseau de distribution, les décisions relatives à la santé publique ne doivent pas reposer uniquement sur la présence de coliformes totaux en l'absence d'*E. coli*, sauf si l'enquête révèle un problème qui représente une menace pour la santé publique.

Lorsqu'on utilise des milieux lactosés, il faut compléter l'analyse régulière pour la détection des coliformes par la numération des bactéries hétérotrophes ou des colonies secondaires sur membrane filtrante pour coliformes totaux. Il n'est pas nécessaire de procéder

à ces numérations lorsqu'on utilise des méthodes enzymatiques à substrats définis. Il y a toutefois d'autres raisons de mesurer les bactéries hétérotrophes, que l'on peut trouver dans le document technique de la recommandation de Santé Canada sur les bactéries hétérotrophes (Santé Canada, 2006b).

Compte tenu de l'analyse ci-dessus, la concentration maximale acceptable de coliformes dans les systèmes publics d'approvisionnement en eau potable et dans l'eau sortant d'une usine de traitement est d'aucun micro-organisme détectable par 100 ml. Dans les réseaux publics de distribution d'eau, les coliformes totaux sont un indicateur de la qualité de l'eau et ne sont pas utilisés uniquement pour prendre des décisions de santé publique. Leur présence doit toutefois conduire à la prise de mesures supplémentaires.

10.1.2 Systèmes semi-publics et privés d'approvisionnement en eau potable

La présence de coliformes totaux dans les systèmes semi-publics et privés d'approvisionnement en eau potable peut être le résultat d'une désinfection et d'un traitement inadéquats, d'une recroissance dans le réseau de distribution, ou d'une infiltration en provenance du réseau lui-même ou de l'eau de la source d'approvisionnement.

La concentration maximale acceptable de coliformes dans les systèmes semi-publics et privés d'approvisionnement en eau potable est d'aucun micro-organisme détectable par 100 ml. Comme les coliformes totaux ne sont pas distribués uniformément dans l'eau et que leur importance pour la santé publique peut varier considérablement, les mesures prises lorsqu'on les détecte dans l'eau en l'absence d'*E. coli* peuvent différer selon les secteurs de compétence, mais l'eau sera cependant considérée comme étant conforme à la CMA.

10.2 Fréquence de l'échantillonnage et taille des échantillons

Dans le cas des systèmes publics, il revient à l'autorité compétente de déterminer la fréquence de l'échantillonnage et les points d'échantillonnage après avoir tenu dûment compte des conditions locales —par exemple, variations de la qualité de l'eau brute et données historiques sur la qualité de l'eau traitée. Il faut analyser l'eau qui quitte une usine de traitement au moins une fois par jour pour en déterminer la concentration résiduelle de désinfectant et la turbidité, et la soumettre au moins une fois par semaine à une analyse de détection des coliformes totaux. Dans le cas des approvisionnements où une analyse hebdomadaire de détection des coliformes totaux n'est pas pratique (p. ex., les petits systèmes), il faut s'en remettre aux déterminations des concentrations résiduelles de désinfectant pour vérifier l'innocuité microbiologique. Les petits systèmes doivent également effectuer périodiquement des enquêtes sanitaires comme mesure supplémentaire pour vérifier la salubrité du système. Les recommandations sur l'échantillonnage quotidien pour la détermination des concentrations résiduelles de désinfectant et de la turbidité ne s'appliquent pas aux systèmes alimentés par des sources d'eaux souterraines d'excellente qualité où la désinfection vise seulement à accroître la marge de sécurité.

Dans le réseau de distribution, le nombre d'échantillons prélevés pour l'analyse bactériologique doit augmenter en fonction de la taille de la population desservie. On

recommande toutefois d'analyser au moins quatre échantillons par mois, quelle que soit la taille de la population desservie. On peut se servir du tableau 5 ci-dessous, qui reproduit le tableau 2, comme guide :

Tableau 5 : Fréquence d'échantillonnage recommandée

Population desservie	Nombre minimal d'échantillons par mois
Jusqu'à 5 000	Au moins 4
5 000–90 000	1 par 1 000 habitants
90 000+	90+ (1 par 10 000 habitants)

Il faut prélever les échantillons à intervalles réguliers pendant le mois. La concentration résiduelle de désinfectant doit être mesurée au moment où l'on prélève les échantillons pour l'analyse bactériologique. La majorité des échantillons doivent provenir d'endroits susceptibles de poser un problème.

Dans les systèmes semi-publics et privés, on prélève les échantillons aux endroits recommandés par l'autorité compétente. Il faut prélever les échantillons lorsque les risques de contamination sont les plus élevés : p. ex., dégel du printemps, fortes pluies ou périodes de sécheresse. Il faut aussi prélever au départ des échantillons dans les puits nouvellement créés ou réhabilités pour confirmer que leur qualité bactériologique est acceptable.

Le volume de l'échantillon doit être suffisant pour permettre d'effectuer tous les tests nécessaires. Dans le cas de l'eau potable traitée, il faut procéder à la détection des coliformes dans un volume d'au moins 100 ml, quelle que soit la méthode utilisée. Le volume maximal pour l'analyse au moyen de la méthode P-A est habituellement de 100 ml. Il faut toutefois prélever un échantillon de 500 ml pour pouvoir procéder au besoin à la numération des bactéries hétérotrophes et à une analyse ultérieure par la technique FM, à condition d'avoir bien entreposé l'échantillon. Lorsqu'on utilise des milieux lactosés, il faut compléter l'analyse régulière visant à la détection des coliformes par la numération des bactéries hétérotrophes ou des colonies secondaires sur membrane filtrante pour coliformes totaux.

10.3 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'approvisionnement, on préfère utiliser l'analyse de détection d'*E. coli* pour déterminer la présence de contamination fécale. La présence de coliformes totaux en l'absence d'*E. coli* est probablement attribuable à la présence de bactéries que l'on trouve naturellement dans le sol et la végétation.

La qualité de l'eau brute varie avec le temps et selon les endroits. C'est pourquoi l'organisme de surveillance doit établir, en collaboration avec l'autorité compétente locale, la fréquence d'échantillonnage pour l'analyse bactériologique d'une source d'approvisionnement en eau en particulier.

Sauf les exemptions spécifiques à des systèmes, il faut désinfecter tous les approvisionnements en eau potable pour produire une eau potable 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 de désinfectant 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. 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 ou 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 (ou utiliser des techniques permettant d'obtenir une qualité équivalente) et une désinfection adéquates. 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 la présente recommandation garantira 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 en réduire la turbidité même lorsqu'elle ne contient pas de coliformes. 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.

11.0 Bibliographie

- Abbaszadegan, M., LeChevallier, M. et Gerba, C. (2003). Occurrence of viruses in US groundwaters. J. Am. Water Works Assoc., 95 : 107-120.
- Adams, J.C., Lytle, M.S., Dickman, D.G., Foster, D.H., Connell, J.P. et Bressler, W.R. (1989). Comparison of methods for enumeration of selected coliforms exposed to ozone. Appl. Environ. Microbiol., 55 : 33-35.
- Allen, D.A., Austin, B. et Colwell, R.R. (1983). *Aeromonas media*, a new species isolated from river water. Int. J. Syst. Bacteriol., 33 : 599-604.
- APHA/AWWA/WEF (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater. 20^e édition. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington, DC.
- Ashbolt, N.J., Ball, A., Dorsch, M., Turner, C., Cox, P., Chapman, A. et Kirov, S.M. (1995). The identification and human health significance of environmental aeromonads. Water Sci. Technol., 31 : 263-269.
- Bernagozzi, M., Bianucci, F. et Sacchetti, R. (1995). Prevalence of *Aeromonas* spp. in surface waters. Water Environ. Res., 67(7) : 1060-1064.
- Burlingame, G.A., McElhaney, J., Bennett, M. et Pipes, W.O. (1984). Bacterial interference with coliform colony sheen production on membrane filters. Appl. Environ. Microbiol., 47 : 56-60.
- Chauret, C., Volk, C., Creason, R., Jarosh, J., Robinson, J. et Warnes, C. (2001). Detection of *Aeromonas hydrophila* in a drinking-water distribution system: a field and pilot study. Rev. Can. Microbiol., 47 : 782-786.
- Clark, H.F., Geldreich, E.E., Jeter, H.L. et Kabler, P.W. (1951). The membrane filter in sanitary microbiology. Public Health Rep., 66 : 951-977.
- Clark, J.A. (1980). The influence of increasing numbers of non-indicator organisms by the membrane filter and presence-absence test. Rev. Can. Microbiol., 26 : 827-832.
- Clark, J.A. et Vlassoff, L.T. (1973). Relationships among pollution indicator bacteria isolated from raw water and distribution systems by the presence-absence (P-A) test. Health Lab. Sci., 10: 163-172.
- Conseil de l'Union européenne (1998). Directive 98/83/EC du Conseil du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Journal officiel des Communautés européennes, L330 : 32.
- Dutka, B.J. et El-Shaarawi, A. (1980). Microbiological water and effluent sample preservation. Rev. Can. Microbiol., 26 : 921-929.
- 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., Allen, M.J. et Smith, D.B. (1988). National field evaluation of a defined substrate method for the simultaneous evaluation of total coliforms and *Escherichia coli* from drinking water: comparison with the standard multiple tube technique. Appl. Environ. Microbiol., 54 : 1595-1601.

Les coliformes totaux (février 2006)

Edberg, S.C., Allen, M.J. et Smith, D.B. (1989). National field evaluation of a defined substrate method for the simultaneous detection of total coliforms and *Escherichia coli* from drinking water: comparison with presence-absence techniques. *Appl. Environ. Microbiol.*, 55 : 1003-1008.

Edberg, S.C., Patterson, J.E. et Smith, D.B. (1994). Differentiation of distribution systems, source water, and clinical coliforms by DNA analysis. *J. Clin. Microbiol.*, 32 : 139-142.

Edberg, S.C., Rice, E.W., Karlin, R.J. et Allen, M.J. (2000). *Escherichia coli*: the best biological drinking water indicator for public health protection. *J. Appl. Microbiol.*, 88 : 106S-116S.

El-Taweel, G.E. et Shaban, A.M. (2001). Microbiological quality of drinking water at eight water treatment plants. *Int. J. Environ. Health Res.*, 11 : 285-290.

EPA des États-Unis (1999). EPA guidance manual: Disinfection profiling and benchmarking. EPA-815-R-99-013, Environmental Protection Agency des États-Unis, Washington, DC.

EPA des États-Unis (2003). Ultraviolet disinfection guidance manual (Draft). EPA 815, Office of Water, Environmental Protection Agency des États-Unis, Washington, DC.

Evans, T.M., Waarvick, C.E., Seidler, R.J. et LeChevallier, M.W. (1981a). Failure of the most probable number technique to detect coliforms in drinking water and raw water supplies. *Appl. Environ. Microbiol.*, 41 : 130-138.

Evans, T.M., Seidler, R.J. et LeChevallier, M.W. (1981b). Impact of the verification media and resuscitation on accuracy of the membrane filter total coliform enumeration technique. *Appl. Environ. Microbiol.*, 41 : 1144-1151.

Feng, P.C.S. et Hartman, P.A. (1982). Fluorogenic assays for immediate confirmation of *Escherichia coli*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 43 : 1320-1329.

Freier, T.A. et Hartman, P.A. (1987). Improved membrane filtration media for enumeration of total coliforms and *Escherichia coli* from sewage and surface waters. *Appl. Environ. Microbiol.*, 53 : 1246-1250.

Geldreich, E.E. (1996). Microbial quality of water supply in distribution systems. Biological profiles in drinking water. CRC Press, Lewis Publishers, Boca Raton, FL. p. 293, 367.

Geldreich, E.E. et Rice, E.W. (1987). Occurrence, significance, and detection of *Klebsiella* in water systems. *J. Am. Water Works Assoc.*, 79 : 74-80.

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.

Goetz, A. et Tsuneishi, N. (1951). Application of molecular filter membrane to bacteriological analysis of water. *J. Am. Water Works Assoc.*, 43 : 943-969.

Harris, D.G., Adams, V.D., Sorensen, D.L. et Curtis, M.S. (1987). Ultra-violet inactivation of selected bacteria and viruses with photoreactivation of bacteria. *Water Res.*, 21 : 687-692.

Hoff, J.C. (1986). Inactivation of microbial agents by chemical disinfectants. EPA/600/S2-86/067, Environmental Protection Agency des États-Unis, Cincinnati, OH.

- Jacobs, N.J., Zeigler, W.L., Reed, F.C., Stukel, T.A. et Rice, E.W. (1986). Comparison of membrane filter, multiple-fermentation-tube, and presence-absence techniques for detecting total coliforms in small community water systems. *Appl. Environ. Microbiol.*, 51 : 1007-1012.
- Kirmeyer, G., Friedman, M., Martel, K., LeChevallier, M.W., Funk, J., Jackman, M. et Harbour, J. (1999). Pathogen intrusion into potable water. Dans : Proceedings of the 1999 American Water Works Association Water Quality Technology Conference, Tampa, FL. American Water Works Association, Denver, CO.
- LeChevallier, M.W. et McFeters, G.A. (1985). Interactions between heterotrophic plate count bacteria and coliform organisms. *Appl. Environ. Microbiol.*, 49 : 1338-1341.
- LeChevallier, M.W. et McFeters, G.A. (1990). Microbiology of activated carbon. Dans : Drinking water microbiology: progress and recent developments. Sous la direction de G.A. McFeters. Springer-Verlag, New York, NY.
- LeChevallier, M.W., Cameron, S.C. et McFeters, G.A. (1983a). New medium for the improved recovery of coliform bacteria from drinking water. *Appl. Environ. Microbiol.*, 45: 484-492.
- LeChevallier, M.W., Cameron, S.C. et McFeters, G.A. (1983b). Comparison of verification procedures for the membrane filter total coliform technique. *Appl. Environ. Microbiol.*, 45 : 1126-1128.
- LeChevallier, M.W., Schiemann, D.A. et McFeters, G.A. (1987). Factors contributing to the reduced invasiveness of chlorine-injured *Yersinia enterocolitica*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 53 : 1358-1364.
- LeChevallier, M.W., Lowry, C.D. et Lee, R.G. (1990). Disinfection of biofilms in a model distribution system. *J. Am. Water Works Assoc.*, 82(7) : 87-99.
- Leclerc, H., Mossel, D.A.A., Edberg, S.C. et Struijk, C.B. (2001). Advances in the bacteriology of the coliform group: their suitability as markers of microbial water safety. *Annu. Rev. Microbiol.*, 55 : 201-234.
- Ley, A.N., Bowers, R.J., et Wolfe, S. (1988) Indoxyl- β -D-glucuronide, a novel chromogenic reagent for the specific detection and enumeration of *Escherichia coli* in environmental samples. *Rev. Can. Microbiol.*, 34 : 690-693.
- Martin, R.S., Gates, W.H., Tobin, R.S., Grantham, D., Sumarah, R., Wolfe, P. et Forestall, P. (1982). Factors affecting coliform bacteria growth in distribution systems. *J. Am. Water Works Assoc.*, 74 : 34-37.
- McCabe, L.J., Symons, J.M., Lee, R.D. et Robeck, G.G. (1970). Survey of community water supply systems. *J. Am. Water Works Assoc.*, 62 : 670-687.
- McDaniels, A.E., Bordner, R.H., Gartside, P.S., Haines, J.R. et Kristen, P. (1985). Holding effects on coliform enumeration in drinking water samples. *Appl. Environ. Microbiol.*, 50 : 755-762.
- McFeters, G.A., Cameron, S.C. et LeChevallier, M.W. (1982). Influence of diluents, media, membrane filters on detection of injured water-borne coliform bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.*, 43 : 97-103.
- McFeters, G.A., Kippin, J.S. et LeChevallier, M.W. (1986). Injured coliforms in drinking water. *Appl. Environ. Microbiol.*, 51 : 1-5.

Nakano, J., Kameyama, T., Venkateswaran, K., Kawakami, J. et Hashimoto, J. (1990). Distribution and characterisation of hemolytic and enteropathogenic motile *Aeromonas* in aquatic environment. *Microbial Immunol.*, 34 : 447-458.

Nwachuku, M., Craun, G.F. et Calderon, R.L. (2002). How effective is the TCR in assessing outbreak vulnerability? *J. Am. Water Works Assoc.*, 94(9) : 88-96.

OMS (1971). Normes internationales pour l'eau de boisson. 3^e édition. Organisation mondiale de la santé, Genève.

OMS (1976). Surveillance de la qualité de l'eau de boisson. Série de monographies de l'OMS n° 63, Organisation mondiale de la santé, Genève.

OMS (2004). Directives pour la qualité de l'eau de boisson. 3^e édition. Vol. 1. Recommandations. Organisation mondiale de la santé, Genève.

Payment, P., Trudel, M. et Plante, R. (1985). Elimination of viruses and indicator bacteria at each step of treatment during preparation of drinking water at seven water treatment plants. *Appl. Environ. Microbiol.*, 49(6) : 1418-1428.

Payment, P., Franco, E. et Siemiatycki, J. (1993). Absence of relationship between health effects due to tap water consumption and drinking water quality parameters. *Water Sci. Technol.*, 27 : 137-143.

Pipes, W.O., Minnigh, H.A., Moyer, B. et Troy, M.A. (1986). Comparison of Clark's presence-absence test and the membrane filter method for coliform detection in potable water samples. *Appl. Environ. Microbiol.*, 52 : 439-443.

Poffe, R. et Op de Beeck, E. (1991). Enumeration of *Aeromonas hydrophila* from domestic wastewater treatment plants and surface waters. *J. Appl. Bacteriol.*, 71 : 366-370.

Rice, E.W., Fox, K.R., Nash, H.D., Read, E.J. et Smith, A.P. (1987). Comparison of media for recovery of total coliform bacteria from chemically treated water. *Appl. Environ. Microbiol.*, 53 : 1571-1573.

Rompré, A., Servais, P., Baudart, J., de-Roubin, M. et Laurent, P. (2002). Detection and enumeration of coliforms in drinking water: current methods and emerging approaches. *J. Microbiol. Meth.*, 49 : 31-54.

Schoenen, D. et Kolch, A. (1992). Photoreactivation of *E. coli* depending on light intensity after UV irradiation. *Zentralbl. Hyg.*, 192 : 565-570.

Seidler, R.J., Evans, T.M., Kaufman, J.R., Waarvick, C.E. et LeChevallier, M.W. (1981). Limitations of standard coliform enumeration techniques. *J. Am. Water Works Assoc.*, 73 : 538-542.

Santé Canada (2001). Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : documentation à l'appui – Conseils pour l'émission et l'annulation des avis d'ébullition de l'eau. 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/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/water-eau/doc-sup-appui/boil_water-eau_ebullition/boil_water-ebullition_eau_f.pdf).

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).

Santé Canada (2006a). Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique – *Escherichia coli*. 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 (2006b). 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).

Snead, M.C., Olivieri, V.P., Kawata, K. et Krusé, C.W. (1980). The effectiveness of chlorine residuals in inactivation of bacteria and viruses introduced by post treatment contamination. *Water Res.*, 14 : 403.

Standridge, J.H. et Delfino, J.J. (1982). Underestimation of the total coliform counts by the membrane filter verification procedure. *Appl. Environ. Microbiol.*, 44 : 1001-1003.

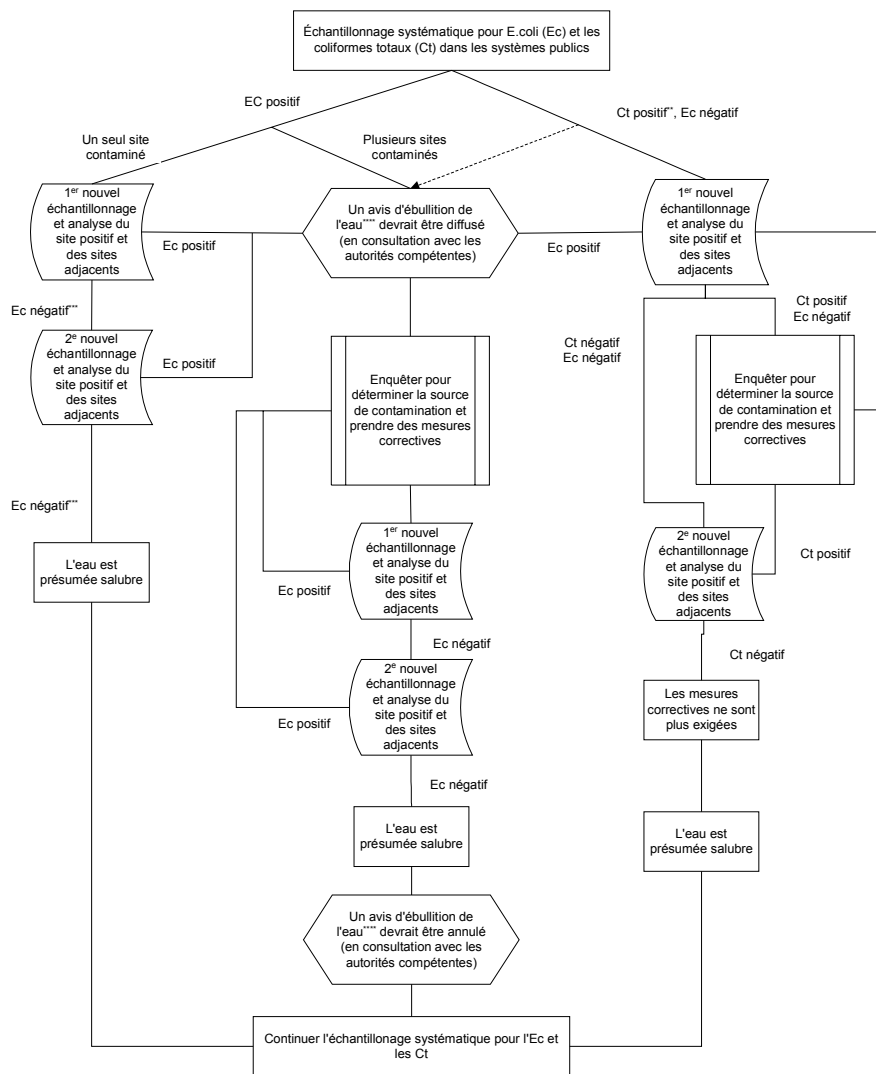
Standridge, J.H. et Sonzogni, W.C. (1988). Evaluating modifications to the MF total coliform method for drinking waters with high non coliform backgrounds. *J. Am. Water Works Assoc.*, 80 : 90-91.

Taylor, A., Craun, G.F., Faich, G.A., McCabe, L.J. et Gangarosa, E.J. (1972). Outbreaks of waterborne disease in the United States, 1961-1970. *J. Infect. Dis.*, 125 : 329-331.

Wilczak, A., Jacangelo, J.G., Marcinko, J.P., Odell, L.H., Kirmeyer, G. J. et Wolfe, R.L. (1996). Occurrence of nitrification in chloraminated distribution systems. *J. Am. Water Works Assoc.*, 88(7) : 74.

Zimmer, J.L. et Slawson, R.M. (2002). Potential repair of *Escherichia coli* DNA following exposure to UV radiation from both medium- and low-pressure UV sources used in drinking water treatment. *Appl. Environ. Microbiol.*, 68(7) : 3293-3299.

Annexe A : Arbre décisionnel relatif à l'analyse microbiologique régulière des systèmes publics



*Un avis d'ébullition de l'eau peut être diffusé si un seul site est contaminé dépendant de l'autorité compétente.
 **Un avis d'ébullition de l'eau peut être diffusé après avoir obtenu un résultat positif pour les coliformes totaux, sans la présence d'*E. coli*, si l'autorité compétente le juge nécessaire.
 ***Si l'on détecte la présence de coliformes totaux dans un échantillon au cours d'un nouvel échantillonnage pour *E. coli*, il faut suivre le processus de décision recommandé lorsqu'un échantillon donne des résultats positifs pour les coliformes totaux en l'absence d'*E. coli* (côté droit de l'arbre décisionnel).
 ****Dépendant de l'autorité compétente, un « ordre d'ébullition de l'eau » peut être diffusé au lieu de, ou en même temps, qu'un « avis d'ébullition de l'eau ».

Annexe C : Liste de sigles

ANSI	American National Standards Institute
CMA	concentration maximale acceptable
FM	filtration sur membrane
FMT	fermentation multitube
NBH	numération des bactéries hétérotrophes
NPP	nombre le plus probable
NSF	NSF International
P-A	présence-absence
ufc	unité formant colonie
UV	ultraviolet