

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

documentation à l'appui

Les virus entériques

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)

Avril 2004

Le présent document constitue un nouveau document à l'appui. Il peut être cité comme suit :

Santé Canada (2004) Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : Documentation à l'appui — Les virus entériques. 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 de la sécurité des milieux
Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs
Santé Canada
Édifice Sir-Charles-Tupper, 4^e étage
2720, chemin Riverside (indice de l'adresse : 6604B)
Ottawa (Ontario)
Canada
K1A 0K9

Tél. : (613) 948-2566
Fax : (613) 952-2574
Courriel : water_eau@hc-sc.gc.ca

Vous trouverez d'autres documents à l'appui des 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.hc-sc.gc.ca/hecs-sesc/eau/rqep.htm>.

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	Virus entériques	2
2.4	Effets sur la santé	2
2.5	Exposition	3
2.6	Traitements	3
3.0	Identité et propriétés physiques	4
3.1	Norovirus	4
3.2	Virus de l'hépatite	4
3.3	Rotavirus	4
3.4	Entérovirus	5
3.5	Autres virus entériques	5
4.0	Sources dans l'environnement	5
4.1	Sources	5
4.2	Survie	6
5.0	Exposition	6
6.0	Méthodes d'analyse	7
6.1	Détection directe de virus	7
6.2	Indicateurs viraux	8
6.2.1	Dans les eaux de surface ou les eaux souterraines non traitées	8
6.2.2	Dans l'eau potable traitée	8
7.0	Techniques de traitement	10
7.1	Techniques municipales	10
7.2	Techniques de traitement résidentielles	14
8.0	Effets sur la santé	15
8.1	Effets chez l'être humain	15
8.1.1	Norovirus	15
8.1.2	Virus de l'hépatite	15
8.1.3	Rotavirus	16
8.1.4	Entérovirus	16
8.1.5	Autres virus entériques	17

Les virus entériques (avril 2004)

8.2	Éclosions	17
9.0	Évaluation des risques	18
10.0	Justification	19
	Bibliographie	20

Les virus entériques

1.0 Recommandation

Même si les virus entériques reconnus pour infecter les êtres humains peuvent causer des maladies graves et parfois mortelles, il est impossible pour le moment d'en déterminer les concentrations maximales acceptables (CMA) dans l'eau potable. Il faudrait mettre en œuvre des techniques de traitement et des mesures de protection des bassins hydrographiques ou des puits reconnues pour réduire le risque d'éclosions d'origine hydrique et les maintenir lorsque la source d'eau est sujette à la contamination par des matières fécales ou a déjà causé des éclosions d'origine hydrique attribuables à la présence de virus entériques. Lorsqu'un traitement est nécessaire, les techniques de traitement devraient réduire ou inactiver la charge virale dans une proportion d'au moins quatre log.

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 voies d'exposition et les méthodes de traitement. Les informations propres aux virus entériques sont données dans une partie séparée. Il est recommandé de lire ce document avec d'autres documents portant sur la qualité microbiologique de l'eau potable, dont le document d'appui 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. Les sources d'eaux 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 subissent l'influence des eaux de surface.

Le traitement de l'eau potable a pour but premier 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 systématique de la qualité de l'eau potable. Tous les approvisionnements en eau potable doivent être désinfectés, sauf en cas d'exemption spécifique. De plus, les sources d'eaux de surface et les sources d'eaux souterraines assujetties à l'influence des eaux de surface doivent être filtrées.

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.

Les méthodes de détection dont on dispose à l'heure actuelle ne permettent pas l'analyse systématique de tous les micro-organismes qui pourraient être présents dans une eau potable traitée de façon inadéquate. 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 Virus entériques

Les virus entériques sont des micro-organismes extrêmement petits qui ne se multiplient que dans le tractus intestinal des êtres humains et des animaux. Il y a plus de 140 types différents de virus entériques reconnus pour infecter les êtres humains, dont beaucoup sont impossibles à cultiver. Les virus entériques ne peuvent pas se multiplier dans l'environnement, mais peuvent survivre dans l'eau plus longtemps que la plupart des bactéries intestinales; ils sont en outre plus infectieux et plus résistants à la désinfection que la plupart des autres micro-organismes.

Santé Canada a récemment terminé une étude des risques pour la santé associés à la présence de virus dans l'eau potable. En fonction de cette étude, aucune concentration maximale acceptable n'a été proposée pour les virus entériques dans l'eau potable. Le document d'appui recommande plutôt l'utilisation d'une approche à barrières multiples comprenant une protection de la source et le traitement de l'eau pour réduire l'exposition aux virus entériques dans l'eau potable et protéger les sources d'approvisionnement en eau. La surveillance systématique de la qualité de l'eau en vue d'y détecter la présence d'*E. coli* est également importante. La présence d'*E. coli* est une indication de la présence possible de virus entériques. Cependant, comme ces derniers sont plus résistants à la désinfection, l'absence d'*E. coli* ne signifie pas nécessairement que les virus entériques sont également absents.

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 réseau d'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 les eaux de surface et les eaux souterraines assujetties à l'influence 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 (*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 minimum les niveaux de turbidité, 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 minimum 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 Identité et propriétés physiques

Parasites intracellulaires stricts, les virus sont constitués d'un génome d'acide nucléique (ARN ou ADN) entouré d'une capsule protéique protectrice, la capsid. Certains virus ont aussi une enveloppe de lipoprotéines qui entoure la capsid. Les virus qui se multiplient dans le tractus gastro-intestinal humain ou animal sont appelés « virus entériques ». Les virus entériques ont un éventail limité d'hôtes, mais certains peuvent infecter à la fois les êtres humains et les animaux. On a décrit plus de 140 types sérologiques de virus entériques reconnus pour infecter les êtres humains (AWWA 1999a). Les virus entériques reconnus pour infecter les êtres humains qu'on associe à des maladies d'origine hydrique comprennent les norovirus, le virus de l'hépatite A (VHA), le virus de l'hépatite E (VHE), les rotavirus et les entérovirus (poliovirus, virus Coxsackie A et B, échovirus et quatre entérovirus non groupés). Les êtres humains sont le seul réservoir naturel de VHA, de norovirus, d'entérovirus et de rotavirus. Le VHE est d'origine zoonotique (transmis des animaux aux êtres humains, avec des réservoirs naturels non humains) (AWWA 1999a).

3.1 Norovirus

Le terme norovirus a été approuvé récemment comme nom officiel du groupe de virus communément appelés virus semblables à Norwalk ou petits virus ronds structurés (CDC 2003). Ce groupe de virus inclut une série de quatre petits virus à ARN pathogènes. Ils sont stables dans l'environnement et survivent à la chloration de l'eau, au gel et à des températures allant jusqu'à 60 °C. Les norovirus sont des virus à ARN monocaténaire sans enveloppe, d'un diamètre de 27 à 32 nm, dont la morphologie ressemble à celle des picornavirus, mais dont l'observation au microscope électronique ne révèle aucune sous-structure clairement définie. Les norovirus font partie de la famille des calicivirus et on les désigne habituellement en fonction de l'endroit où se produit une éclosion ou de la région géographique où ils sont découverts (p. ex., Hawaii, Snow Mountain, Colorado, Norwalk, Ohio, etc.).

3.2 Virus de l'hépatite

Le VHA est un petit virus de 27 nm de diamètre à ARN monocaténaire, sans enveloppe et à symétrie icosaédrique. Le VHE est un virion sans enveloppe, d'un diamètre de 32 à 34 nm, et à ARN polyadénylé monocaténaire. On trouve souvent, dans les matières fécales des patients, des particules plus petites (27 à 30 nm) apparentées sur le plan sérologique. On suppose qu'il s'agit de virions dégradés. Compte tenu de ses caractéristiques physicochimiques, on suppose que le VHA est un calicivirus.

3.3 Rotavirus

Les rotavirus sont des virus à ARN bicaténaire d'environ 70 nm de diamètre. Au microscope électronique, les virions intacts ressemblent à une roue, d'où le préfixe « rota ». On a défini six groupes sérologiques de rotavirus, dont trois (groupes A, B et C) infectent les êtres humains.

3.4 Entérovirus

Les entérovirus constituent un grand groupe de virus appartenant au genre *Enterovirus* et à la famille des Picornaviridés. Il s'agit de virus à ARN monocaténaire sans enveloppe, de 20 à 30 nm de diamètre et à symétrie icosaédrique. Ce groupe comprend les poliovirus (trois sérotypes), les virus Coxsackie A (23 sérotypes) et B (six sérotypes), les échovirus (31 sérotypes) et quatre entérovirus non groupés (types 68 à 71). Ces virus sont très résistants aux agresseurs environnementaux et stables en milieu acide (jusqu'à un pH de 3).

3.5 Autres virus entériques

Les adénovirus sont membres de la famille des Adenoviridés, qui inclut plus de 90 sérotypes, dont 49 peuvent infecter les êtres humains. Les membres de cette famille comprennent des virus icosaédriques sans enveloppe de 90 à 100 nm contenant de l'ADN bicaténaire. Les adénovirus sont très stables dans l'environnement et peuvent survivre longtemps en dehors de l'hôte.

Les astrovirus sont membres de la famille des Astroviridés, qui inclut sept sérotypes capables d'infecter les êtres humains. Les membres de cette famille comprennent des virus sans enveloppe de 28 à 30 nm contenant de l'ARN monocaténaire. Le microscope électronique révèle leur forme en étoile caractéristique.

Les parvovirus sont membres de la famille des parvoviridés, qui inclut deux sérotypes capables d'infecter les êtres humains. Cette famille inclut des virus icosaédriques sans enveloppe de 18 à 26 nm contenant de l'ADN monocaténaire linéaire.

4.0 Sources dans l'environnement

4.1 Sources

Les virus entériques sont excrétés en grandes quantités dans les matières fécales des sujets humains et animaux infectés (symptomatiques et asymptomatiques). Ils se diffusent facilement dans l'environnement par les matières fécales et sont transmissibles à d'autres sujets par la voie fécale-orale. Les matières fécales des sujets infectés peuvent contenir plus d'un milliard (10^9) de virus par gramme. La présence de ces virus dans une population donnée est variable et reflète la conjoncture épidémique et endémique courante (Fields *et al.* 1996). Le nombre de virus entériques est relativement stable dans les eaux usées et atteint son maximum l'automne et l'hiver. On en trouve toujours dans des échantillons d'eaux usées, même dans les petites collectivités, ce qui indique qu'ils sont très répandus. On a détecté, par exemple, le VHA dans des eaux usées, dans des rivières polluées et dans l'eau potable (Gerba *et al.* 1985; Bloch *et al.* 1990; AWWA 1999a; Jothikumar *et al.* 2000; Scipioni *et al.* 2000; Pina *et al.* 2001). La concentration de virus reproductibles par culture dans les eaux d'égout non traitées peut dépasser 10 000 unités infectieuses par litre. Le traitement des eaux usées qui n'inclut pas une étape de désinfection est relativement inefficace lorsqu'il s'agit d'éliminer les virus, sauf dans le cas du traitement par boue activée, qui peut éliminer plus de 95 % des virus présents. La désinfection au chlore, à l'ozone ou aux rayons ultraviolets (UV) peut réduire considérablement la charge virale, surtout lorsqu'on l'applique à des effluents secondaires ou tertiaires. Dans les eaux de surface

contaminées, des concentrations de virus entériques reproductibles par culture de 1 à 100 par litre sont courantes. Dans les eaux de surface moins polluées, leur concentration se rapproche davantage de 1 à 10 par 100 litres (Gerba *et al.* 1985; Bloch *et al.* 1990; AWWA 1999a; Jothikumar *et al.* 2000; Scipioni *et al.* 2000; Pina *et al.* 2001).

Les eaux de surface et les eaux souterraines utilisées comme source d'eau potable au Canada peuvent contenir des virus entériques (Payment *et al.* 2000; Payment et Hunter 2001). Depuis les années 70, à mesure que des méthodes de détection des virus dans l'eau devenaient disponibles, des chercheurs du Manitoba, de l'Ontario et du Québec ont étudié la présence des virus dans les eaux d'égout, les eaux usées, les eaux de surface et l'eau potable (Subrahmanyam 1977; Sattar 1978; Sekla *et al.* 1980; Payment *et al.* 1984, 2000, 2001; Raphael *et al.* 1985a et 1985b; Payment 1988, 1991, 1993; Payment et Franco 1993). Ces études ont indiqué des prévalences et des concentrations variables de virus entériques, mais elles ne sont pas faciles à comparer étant donné l'éventail des méthodes de détection utilisées. Il est essentiel de suivre une méthode normalisée de détection (directe ou indirecte) des virus pour comprendre la prévalence environnementale « réelle » des virus entériques.

Comme ils sont très résistants aux agresseurs environnementaux, les virus entériques peuvent survivre au traitement de l'eau potable et il est possible d'en détecter la présence dans de l'eau potable traitée qui semble ne pas contenir de coliformes. On en a trouvé de faibles concentrations (c.-à-d. de 1 à 20 par 1 000 litres) dans des échantillons d'eau potable (Payment 1989; Gerba et Rose 1990; Bitton 1999; Payment *et al.* 2000). Leur présence dans l'eau potable peut être causée par l'absence de traitement, une désinfection insuffisante ou un traitement inadéquat des eaux de surface contenant de fortes concentrations de virus (Payment 1989; Payment et Armon 1989; Gerba et Rose 1990; Payment *et al.* 1997; Bitton 1999).

4.2 Survie

Même si les virus ne peuvent se multiplier en dehors des tissus de leur hôte et, par conséquent, dans l'environnement, ils peuvent survivre plusieurs mois dans l'eau douce et pendant des périodes plus courtes dans l'eau salée. Ils survivent plus longtemps dans l'environnement à basse température et en présence de sédiments auxquels ils s'adsorbent facilement. La lumière du soleil, des températures plus élevées et une forte activité microbienne raccourcissent la durée de survie des virus entériques. On a signalé que dans les eaux souterraines protégées où les températures demeurent en général au-dessous de 10 °C, les virus entériques pouvaient survivre presque deux ans. Les eaux souterraines peuvent être contaminées par l'évacuation d'eaux usées domestiques ou de boues sur la terre, par des effluents provenant de champs d'épandage des eaux de fosses septiques et par l'infiltration d'eaux de surface (Bitton 1999; Hurst *et al.* 2001).

5.0 Exposition

Les virus entériques sont transmis par la voie fécale-orale. L'eau, les aliments (et en particulier les mollusques et crustacés et les salades), les aérosols, les vecteurs passifs (objets inanimés qui, contaminés par un agent pathogène viable, peuvent transmettre celui-ci à un hôte)

et le contact entre personnes sont au nombre des vecteurs démontrés de transmission des neurovirus. Il y a eu des éclosions causées à la fois par la transmission entre personnes et par des sources communes mettant en cause des aliments, des approvisionnements en eau ou des eaux utilisées à des fins récréatives qui étaient contaminés. Une dose infectieuse de rotavirus peut facilement être transmise par contact avec des mains, des objets ou des ustensiles contaminés, puisque les sujets qui ont une diarrhée à rotavirus excrètent souvent le virus en grandes quantités. L'incidence élevée d'infections à rotavirus, en particulier chez les jeunes enfants, porte certains chercheurs à penser que le virus peut aussi se propager par la voie respiratoire (Kapikian et Chanock 1996; Chin 2000). L'infection par le VHA est souvent propagée par des aliments ou de l'eau contaminés et les éclosions, courantes dans les régions sous-développées du monde, sont souvent associées à une hygiène médiocre. Les vecteurs de transmission du VHE comprennent l'eau et le contact entre personnes. La transmission par voie alimentaire est aussi possible. Le VHE est présent sous des formes à la fois épidémique et sporadique-endémique, habituellement associées à l'eau potable contaminée. L'eau, les aérosols et les vecteurs passifs sont au nombre des vecteurs documentés de transmission des virus entériques.

6.0 Méthodes d'analyse

6.1 Détection directe de virus

Beaucoup de virus entériques causent des infections non apparentes et demeurent donc non déclarés. Même si l'on a associé des virus à des éclosions d'origine hydrique, c'est depuis peu de temps seulement qu'on reconnaît leur importance comme agents pathogènes d'origine hydrique. À mesure que les méthodes de détection s'améliorent et que la surveillance épidémiologique se resserre, on reconnaît de plus en plus le rôle des virus comme agents pathogènes d'origine hydrique (EPA des États-Unis 1989; AWWA 1999a; LeChevallier 1999; Jaykus 2000; Lees 2000).

Il demeure toutefois difficile de surveiller de façon routinière les agents pathogènes d'origine hydrique, y compris les virus entériques. Les méthodes de détection peuvent être coûteuses, sont souvent peu précises ou il y manque un contrôle de qualité critique. Comme les virus entériques présents dans l'eau contaminée par des matières fécales sont peu nombreux, il faut concentrer des échantillons d'eau de 10 à 1 000 litres pour pouvoir en détecter la présence. La filtration est souvent la méthode de concentration privilégiée dans le cas des virus. On utilise habituellement deux méthodes de filtration : la filtration par adsorption et la filtration par exclusion (ultrafiltration). On a aussi utilisé la précipitation chimique avec du polyéthylèneglycol et de l'hydroxyde d'aluminium pour extraire des virus de l'eau et les concentrer.

Les méthodes de détection des virus dans l'eau demeurent l'apanage des laboratoires spécialisés qui ont acquis l'expertise nécessaire et peuvent maintenir le niveau de biosécurité qui s'impose pour manipuler des virus pathogènes. Les méthodes actuelles d'analyse reposent toujours sur la culture de cellules pour détecter les virus entériques infectieux qu'il est possible de cultiver sur des lignées choisies de cellules hôtes. Pour détecter un vaste éventail de ces virus, on a mis au point des méthodes de culture cellulaire qu'on est en train d'améliorer par des

méthodes moléculaires comme celle de la transcriptase inverse suivie de la réaction en chaîne de la polymérase (RT-PCR) et la culture cellulaire intégrée (ICC)-PCR. On a mis au point ces méthodes pour détecter des virus qu'il est possible de cultiver; ces méthodes combinent la culture cellulaire et la détection moléculaire d'acide nucléique de génome viral. La détection d'ARNm viral par la méthode RT-PCR dans des cultures de cellules inoculées est une méthode très sensible, spécifique et rapide de détection des virus. On a utilisé ces méthodes avec succès pour détecter la présence de virus dans l'eau (Payment et Trudel 1993; Jothikumar *et al.* 2000; Hurst *et al.* 2001; Payment 2001; Reynolds *et al.* 2001; Ko *et al.* 2003).

La détection de virus dans des échantillons d'eau peut servir à évaluer les risques associés aux utilisations de l'eau, l'efficacité du traitement de l'eau ou les risques possibles pour la santé. Pendant des enquêtes sur des éclosions, les tests de dépistage de virus dans l'eau peuvent fournir des données très précieuses aux chercheurs et aux responsables de la santé publique. Sauf dans le cas d'objectifs scientifiques précis, il faudrait donc restreindre la détection directe de virus entériques dans l'eau potable aux cas où des données épidémiologiques indiquent que l'eau potable pourrait être la source de l'infection. Il faudrait procéder à ces analyses en sachant que des résultats négatifs (c.-à-d. découverte d'aucun virus) n'indiquent pas nécessairement qu'il n'y avait pas de virus au moment de l'échantillonnage ni au moment où la population a été exposée (Payment et Franco 1993; Gerba *et al.* 1996; Payment *et al.* 1997, 2001; Hurst *et al.* 2001; Payment et Hunter 2001).

6.2 Indicateurs viraux

Comme les virus entériques sont difficiles à détecter directement dans l'eau, on a concentré les efforts sur des paramètres substituts (c.-à-d. des indicateurs) afin d'évaluer l'efficacité du traitement de l'eau ou d'indiquer la présence de virus dans l'eau potable (OMS 1996; Deere *et al.* 2001).

6.2.1 Dans les eaux de surface ou les eaux souterraines non traitées

Les bactéries coliformes, et en particulier *Escherichia coli*, ainsi que d'autres bactéries – telles que les entérocoques (streptocoques fécaux) et les spores de *Clostridium perfringens* (clostridiales) – et les bactériophages constituent les principaux groupes d'organismes que l'on considère comme des indicateurs de pollution fécale et, par conséquent, de la présence possible de virus entériques. Dans les eaux de surface, ces indicateurs donnent une idée de la présence de virus lorsque la pollution est d'origine humaine. Ce n'est pas toujours le cas lorsque la source de pollution fécale est d'origine animale (Payment *et al.* 2000; Deere *et al.* 2001).

Dans l'eau souterraine, les indicateurs microbiens sont éliminés de façon sélective pendant la percolation de l'eau dans le sol. À cause de leur petite taille, les virus peuvent se déplacer beaucoup plus loin et l'on en a signalé la présence dans des eaux souterraines qui ne semblaient pas contaminées par des bactéries indicatrices (Abbaszadegan *et al.* 1998, 1999).

6.2.2 Dans l'eau potable traitée

On a aussi trouvé des virus dans l'eau potable traitée qui ne contenait pas de coliformes, ce qui n'est pas étonnant étant donné que les virus résistent beaucoup plus à la filtration et à la désinfection que ces bactéries. La présence d'*E. coli* est un indicateur de contamination fécale et, par conséquent, de la présence possible de certains virus. Son absence n'indique toutefois pas

qu'il n'y a pas de virus. Cette observation a soulevé des questions au sujet de la pertinence d'utiliser des coliformes comme indicateurs de contamination virale. Des études récentes se sont concentrées sur la recherche de substituts des virus dans l'eau potable. On a proposé des organismes autres que les coliformes, notamment les entérocoques, les spores de *C. perfringens* et les bactériophages. Bien qu'aucun des substituts envisagés des virus entériques reconnus pour infecter les êtres humains ne satisfasse à tous les critères d'un indicateur idéal dans tous les types d'eau, les bactériophages et *C. perfringens* sont acceptés jusqu'à un certain point. La résistance naturelle au traitement des spores de *Clostridium* et des bactériophages indique qu'ils pourraient être utiles pour déterminer l'efficacité du traitement.

Les bactériophages sont des virus qui infectent les bactéries par des sites récepteurs situés à la surface de la cellule hôte. On a publié plusieurs études sur l'utilisation de bactériophages comme indicateurs de la présence de virus entériques dans l'eau douce et dans l'eau potable traitée ou non traitée contaminée par des matières fécales. Les bactériophages ont également été utilisés comme indicateurs de l'efficacité du traitement; on les ajoute parfois à l'eau potable au cours d'études et de recherches pour évaluer le degré d'élimination ou d'inactivation des virus entériques reconnus pour infecter les êtres humains au cours du traitement, mais ils ne posent aucun risque pour la santé humaine. En général, les virus entériques ressemblent davantage aux bactériophages qu'aux bactéries indicatrices de contamination fécale par leur origine et leur écologie. Ils ont, par exemple, des caractéristiques de survie semblables lorsqu'ils sont rejettés dans l'environnement aquatique. On a proposé trois types de bactériophages comme indicateurs : les coliphages somatiques, les bactériophages à ARN-F spécifiques au mâle (coliphage MS2 T-spécifique ou coliphage F-spécifique) et les phages *Bacteroides* (c.-à-d., phages qui infectent *Bacteroides fragilis*). On ne s'entend toutefois pas encore sur celui de ces trois types qui convient le mieux pour la détection des virus entériques. Il reste en outre de nombreuses questions de normalisation et de contrôle de qualité à régler (Payment et Armon 1989; Groupe d'étude sur la microbiologie de la santé de l'AIQE 1991; Payment et Franco 1993, Havelaar 1993; Havelaar *et al.* 1993; Havelaar et Sobsey 1995; OMS 1996; AWWA 1999a; Payment *et al.* 2000; Grabow 2001; Hurst *et al.* 2001). Aux États-Unis, on vient tout juste de proposer des méthodes normalisées de détection des coliphages (méthode 1601/1602, EPA des États-Unis 2001a, 2001b). En Europe, on utilise une méthode de l'Organisation internationale de normalisation (Mooijman *et al.* 2001). Ces méthodes pourraient servir de base à des études de comparaison.

On a proposé d'utiliser les spores de *Clostridium perfringens* comme indicateurs de la présence de virus et de l'efficacité du traitement. Ces spores indiquent une contamination fécale à la fois récente et antérieure, mais comme elles ne sont pas aussi nombreuses que les coliformes dans les matières fécales ou l'eau contaminée, il faut analyser de plus gros volumes d'échantillons. Il se peut en outre que les tests de dépistage de *C. perfringens* ne soient pas pertinents pour les entreprises de service public qui prélèvent de l'eau de bassins hydrographiques protégés, mais ils pourraient être utiles pour celles qui s'approvisionnent dans des eaux de surface non protégées. Les spores de *Clostridium perfringens* résistent aussi bien que les virus entériques au traitement de l'eau potable. Leur absence indique que la probabilité de découvrir des virus dans l'eau est très faible. On a trouvé un lien direct entre les virus et *C. perfringens* dans des sources d'eau polluées (Payment et Franco 1993; Payment *et al.* 1997; Ashbolt *et al.* 2001).

Les entérocoques résistent plus que les coliformes aux agresseurs environnementaux et à la désinfection, mais ils sont moins nombreux que les coliformes dans les matières fécales et les eaux usées domestiques. Il n'y a pas de données qui permettent d'établir un lien entre la présence d'entérocoques et de virus dans l'eau potable, mais on a trouvé des entérocoques dans des eaux souterraines, où ils peuvent servir d'indicateurs de pollution fécale et, indirectement, de la présence de virus. (EPA des États-Unis 2000b; Ashbolt *et al.* 2001).

7.0 Techniques de traitement

L'approche à barrières multiples constitue la meilleure façon d'éliminer de l'eau potable les virus entériques et les autres agents pathogènes d'origine hydrique. Pour distribuer de l'eau potable ne contenant pas de virus entériques, il faut commencer par protéger les sources d'eaux de surface ou d'eaux souterraines afin de réduire au minimum la contamination fécale. Il faut placer les entrées d'eau de surface brute le plus loin possible des sorties des eaux usées. Il faut tenir compte aussi des possibilités d'inondation des réseaux de collecte et de traitement des eaux usées. Une augmentation subite du nombre d'organismes indicateurs peut être un signe avertisseur de problèmes. Des techniques de traitement efficientes demeurent le principal moyen de distribuer de l'eau potable de grande qualité ne contenant aucun agent pathogène.

L'élimination ou l'inactivation des virus entériques dépend essentiellement de deux facteurs : leurs caractéristiques physiques et leur vulnérabilité à la désinfection. Leur petite taille et leur résistance relative aux désinfectants courants comme les chloramines compliquent l'élimination et l'inactivation de certains virus entériques de l'eau potable. Une analyse des traitements disponibles dépasse la portée du présent document et est disponible ailleurs (EPA des États-Unis 1991; Santé et Bien-être social Canada 1993; AWWA 1999b; Deere *et al.* 2001).

7.1 Techniques municipales

Sauf certaines exemptions spécifiques à des réseaux, il faut désinfecter toutes les sources publiques (municipales) d'approvisionnement en eau. Il faut maintenir en tout temps une concentration résiduelle de désinfectant dans tout le réseau de distribution. Le traitement minimal de toutes les sources d'eau de surface et d'eaux souterraines assujetties à l'influence directe d'eaux de surface devrait inclure en outre la coagulation, la flocculation, la clarification et la filtration, ou des techniques équivalentes.

Les caractéristiques physiques de l'eau, et en particulier sa température, son pH et sa turbidité, peuvent avoir un effet majeur sur la désinfection et l'élimination des agents pathogènes. Les taux d'inactivation, par exemple, doublent ou triplent par tranche de 10 °C d'élévation de la température. Lorsque la température se situe autour de 0 °C, comme c'est souvent le cas l'hiver au Canada, l'efficacité de la désinfection peut diminuer considérablement. Certains désinfectants sont tributaires du pH et peuvent être inefficaces dans une eau alcaline. L'élévation du pH de 6 à 9 réduit d'un facteur de trois l'efficacité du chlore libre, mais le pH a peu d'effet sur l'action virucide de l'ozone ou du dioxyde de chlore. On a démontré qu'une élévation de la turbidité de 1 à 10 (uTN) unités de turbidité néphéломétrique réduisait d'un facteur de huit l'efficacité de la désinfection (chlore libre) (LeChevallier *et al.* 1981; Hoff 1986). L'effet de la turbidité sur l'efficacité du traitement est décrit plus en détail dans le document à l'appui de la recommandation sur la turbidité qui fait partie des Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada (Santé Canada 2003). Des études sur des désinfectants portant

sur plusieurs virus entériques ont révélé une résistance variable au chlore et démontré le besoin d'une stratégie à désinfectants multiples (p. ex., rayons UV et chloration) (Hoff 1986; Payment et Armon 1989; EPA des États-Unis 1989; AWWA 1999a, 1999b).

Il est possible de prévoir l'efficacité des produits chimiques désinfectants en se fondant sur la concentration résiduelle de désinfectant, la température, le pH (dans le cas du chlore seulement) et la durée du contact avec le premier client (AWWA 1999b). On appelle couramment cette relation le concept CT, où CT représente le produit de « C » (concentration résiduelle de désinfectant mesurée en mg/L) par « T » (durée du contact avec le désinfectant, mesurée en minutes). Les tableaux 1 et 2 contiennent les valeurs CT du chlore, du dioxyde de chlore, de la chloramine et de l'ozone établies par l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis en ce qui concerne l'inactivation des virus entériques.

Tableau 1 : Sommaire des valeurs CT pour une inactivation à 99 % (2 log) de certains virus par divers désinfectants à 5 °C (Hoff 1986)

Virus	Valeurs CT pour une inactivation à 99 % (2 log)			
	Chlore (Cl ₂ libre) pH 6-7	Chloramine (NH ₂ Cl) pH 8-9	Dioxyde de chlore (ClO ₂) pH 6-7	Ozone (O ₃) pH 6-7
Poliovirus 1	1,1-2,5	768-3740	0,2-6,7	0,1-0,2
Rotavirus	0,01-0,05	3806-6476	0,2-2,1	0,006-0,06
Bactériophage-f2	0,08-0,18	ND ^a	ND	ND

^a ND = non déterminé

Tableau 2 : Valeurs CT pour une inactivation à 99,99 % (4 log) des virus entériques par divers désinfectants à un pH de 6 à 9 et à une température de 5 à 10 °C selon des études portant sur le virus de l'hépatite A (EPA des États-Unis 1991)

Cl ₂ libre		NH ₂ Cl		ClO ₂		O ₃	
5°C	10°C	5°C	10°C	5°C	10°C	5°C	10°C
8	6	1988	1491	33.4	25.1	1.2	1

Les tableaux 1 et 2 montrent que l'ozone, le chlore libre et le dioxyde de chlore sont de bien meilleurs désinfectants que la chloramine, qu'il ne faudrait pas utiliser comme désinfectant primaire. L'ozone et le dioxyde de chlore coûtent plus cher que le chlore libre, mais tous trois peuvent former des sous-produits indésirables. L'ozone semble le plus efficace. Toutefois, comme tous les autres désinfectants, il peut ne pas être fiable lorsque la turbidité est élevée ou variable, parce que des particules en flocculation protègent les virus. L'action du chlore et du dioxyde de chlore semble reliée au type de virus présent, mais des concentrations de chlore libre d'usage courant et des temps de contact appliqués dans le cadre du traitement de l'eau potable inactivent les virus entériques (y compris les adénovirus) (EPA des États-Unis 1999; Thurston-Enriquez *et al.* 2003).

La désinfection aux rayons UV est une nouvelle technique possible de traitement qui semble très efficace pour inactiver les protozoaires. Plusieurs études ont aussi porté sur l'inactivation des virus entériques par les rayons UV (Chang *et al.* 1985; Arnold et Rainbow 1996; Meng et Gerba 1996; AWWA 1999b; EPA des États-Unis 2000b; Cotton *et al.* 2001). En général, la désinfection aux rayons UV n'est pas aussi efficace pour inactiver les virus que les méthodes plus traditionnelles à base de chlore (EPA des États-Unis 2003a). Cotton *et al.* (2001) et Thurston-Enriquez *et al.* (2003) ont décrit récemment les caractéristiques cinétiques de l'inactivation des adénovirus et des rotavirus par les rayons UV. Pour obtenir une inactivation des adénovirus (AD40) de l'ordre de 4 log dans une eau tamponnée sans demande de chlore, il faut appliquer une dose de rayons UV de 226 mJ/cm². Par contre, on a réussi à produire une inactivation des rotavirus de l'ordre de 4 log au moyen d'une dose de 56 mJ/cm². De même, on a produit une inactivation du VHA de l'ordre de 4 log en utilisant une dose de 16 à 39 mJ/cm². Meng et Gerba (1996) ont aussi démontré que comparativement à d'autres virus entériques, les adénovirus sont extrêmement résistants à la désinfection aux rayons UV. Il semble que les virus à ADN bicaténaire, comme les adénovirus, résistent davantage aux rayons UV que les virus à ARN monocaténaire (comme le VHA) (Meng et Gerba 1996). Comme l'adénovirus est très résistant aux rayons UV, l'EPA des États-Unis envisage de l'utiliser pour définir les conditions d'inactivation des virus entériques par des rayons UV. Il importe toutefois de signaler qu'il n'est peut-être pas approprié d'utiliser les adénovirus pour définir les doses de rayons UV nécessaires, étant donné que les systèmes de traitement des eaux de surface communautaires appliquent habituellement le chlore comme désinfectant secondaire (ce qui devrait inactiver efficacement les virus entériques, y compris les adénovirus). Une stratégie à désinfectants multiples fondée sur les rayons UV comme désinfectant primaire, suivis d'un désinfectant secondaire (chlore libre), peut se révéler la plus efficace pour contrôler la présence de virus entériques ainsi que d'autres micro-organismes dans l'eau potable.

Le traitement conventionnel complet constitue la façon la plus pratique d'atteindre des taux élevés d'élimination et d'inactivation des virus entériques. Au Canada, Payment et Franco (1993) ont démontré que le traitement conventionnel complet (floculation, sédimentation, désinfection préalable et consécutive au dioxyde de chlore et au chlore et filtration) dans trois usines de traitement de la région de Montréal éliminait plus que 99,999 % des virus entériques d'eaux extrêmement polluées. La filtration lente sur sable peut être très efficace, mais il faut ajouter des coagulants appropriés comme adjutants à la filtration rapide sur sable. Il faut purger périodiquement les filtres et éviter de faire recirculer dans l'usine de traitement l'eau de purge non traitée. Les types d'eau varient toutefois et il faut que des ingénieurs chevronnés choisissent le système qui convient le mieux après avoir effectué des essais pilotes convenables. Un système efficace de formation des opérateurs et de contrôle des procédés est essentiel dans les régions de contamination connue où le risque est élevé (EPA des États-Unis 1991; Santé et Bien-être Canada 1993; AWWA 1999b).

Aux États-Unis, l'EPA a promulgué un règlement sur le traitement des eaux de surface afin de contrôler la présence de virus et de *Giardia* dans les réseaux publics de distribution d'eau potable qui utilisent des eaux de surface et des eaux souterraines assujetties à l'influence directe d'eaux de surface (EPA des États-Unis 1989). Le règlement prévoit qu'un réseau public de distribution d'eau qui utilise des eaux de surface ou des eaux souterraines assujetties à l'influence directe d'eaux de surface doit utiliser la filtration à moins de satisfaire à certaines

normes relatives à la qualité de l'eau, au fonctionnement et à la santé publique. On suppose que la filtration élimine au moins 90 % (1 log) des virus et que la désinfection porte l'inactivation à 99,9 % (3 log) (tableau 3). Des règlements semblables sont en vigueur en Alberta (Alberta Environment 1997) et au Québec (ministère de l'Environnement du Québec 2001a) et en Saskatchewan (Saskatchewan Environment 2002). Le ministère de l'Environnement du Québec (2001b) a aussi produit un guide sur la conception des installations.

Tableau 3 : Niveaux minimaux de désinfection et éliminations logarithmiques hypothétiques de virus par diverses méthodes de filtration qui réduisent la turbidité à moins de 0,5 unités de turbidité néphéломétrique (uTN)

Traitement	Élimination logarithmique	Désinfection minimale
Conventionnel	2	2
Filtration directe	1	3
Filtration lente sur sable	2	2
Filtration sur diatomées	1	3

Reconnaissant qu'une réduction de l'ordre de 4 log des virus entériques pourrait ne pas protéger les réseaux dont l'eau est très médiocre, l'EPA des États-Unis a promulgué un règlement provisoire sur le traitement amélioré des eaux de surface (EPA des États-Unis 1998). On a également proposé un règlement sur le traitement amélioré à long terme des eaux de surface, un règlement sur les rejets de filtres (EPA des États-Unis 2000a), ainsi qu'un règlement sur les eaux souterraines (EPA des États-Unis 2000b), afin de réduire davantage le risque d'affections virales et parasitaires d'origine hydrique.

Les techniques de traitement de l'eau potable qui permettent d'atteindre les limites de turbidité indiquées dans les Recommandations pour l'eau potable au Canada (Santé Canada 2003) peuvent appliquer les taux de réduction logarithmique estimés de *Giardia*, *Cryptosporidium* et des virus entériques donnés au tableau 4. Ces taux de réduction sont basés sur les taux d'élimination moyens ou médians établis par l'EPA des États-Unis dans le cadre du règlement sur le traitement amélioré des eaux de surface à long terme (EPA des États-Unis 2003b). Les installations qui ne remplissent pas les conditions requises ou qui pensent pouvoir atteindre un taux plus élevé d'élimination ou de réduction que celui octroyé automatiquement peuvent se voir attribuer un taux fondé sur une démonstration de performance.

Tableau 4 : Taux d'élimination potentielle des virus, de *Giardia* et *Cryptosporidium* pour des techniques variées permettant d'atteindre les limites de turbidité indiquées dans les Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada

Technique	Réduction des kystes/oocystes ^c	Réduction des virus
Filtration classique ^a	3,0 log	2,0 log
Filtration directe ^a	2,5 log	1,0 log
Filtration lente sur sable ou à diatomées ^a	3,0 log	2,0 log

Technique	Réduction des kystes/oocystes ^c	Réduction des virus
Microfiltration et ultrafiltration, nanofiltration et osmose inverse ^b	Efficacité de l'élimination démontrée par test de provocation et vérifiée par test direct de l'intégrité.	Aucune valeur de réduction pour la microfiltration et l'ultrafiltration; pour la nanofiltration et l'osmose inverse, l'efficacité de l'élimination démontrée par tests de provocation et vérifiée par test direct de l'intégrité.

^a Il faut faire suivre la filtration classique/directe/lente sur sable/à diatomées d'une application de chlore libre pour obtenir une réduction supplémentaire des virus.

^b La microfiltration et l'ultrafiltration doivent être suivies d'une application de chlore libre pour inactiver les virus.

^c Selon les concentrations de kystes et d'oocystes dans la source d'eau, un traitement supplémentaire s'impose au moyen de rayons ultraviolets, d'ozone, de chlore ou de dioxyde de chlore.

7.2 Techniques de traitement résidentielles

Le traitement minimal de toutes les sources semi-publiques et privées d'approvisionnement provenant de sources d'eau de surface ou d'eaux souterraines assujetties à l'influence directe d'eaux de surface doit inclure une filtration (ou des techniques équivalentes) et une désinfection adéquates. Les sources d'approvisionnement semi-publiques et privées sont considérées comme des sources résidentielles aux fins du présent document.

Il existe tout un éventail de moyens de traiter l'eau de la source d'approvisionnement afin de produire de l'eau potable de grande qualité ne contenant aucun agent pathogène. Dans le cas des réseaux publics, ces moyens comprennent diverses méthodes de filtration et la désinfection par des composés à base de chlore, ou d'autres techniques comme les rayons ultraviolets (UV) ou l'ozonation. Les réseaux semi-publics et privés peuvent utiliser un grand nombre des techniques utilisées par les réseaux publics, mais à plus petite échelle, ainsi que d'autres techniques, comme la distillation. Ces techniques ont été intégrées à un dispositif au point d'entrée qui traite toute l'eau qui arrive dans le système, ou à des dispositifs au point d'utilisation qui traitent l'eau en un seul endroit, comme au robinet de la cuisine, par exemple. Le chlore, la chloramine, le dioxyde de chlore, l'ozone et les rayons UV sont les désinfectants de l'eau potable d'usage courant. Tous ces désinfectants sont utilisés dans le réseau public, mais les réseaux semi-publics et privés qui utilisent la désinfection ont plus tendance à utiliser le chlore ou les rayons UV.

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 (<http://www.scc.ca>) a accrédité un certain nombre d'organismes 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 (<http://www.csa-international.org>);
- NSF International (<http://www.nsf.org>);

- Underwriters Laboratories Inc. (<http://www.ul.com>);
- Quality Auditing Institute (<http://www.qai.org>);
- International Association of Plumbing & Mechanical Officials (<http://www.iapmo.org>).

8.0 Effets sur la santé

8.1 Effets chez l'être humain

La gastro-entérite et la diarrhée sont les symptômes les plus courants des infections entérovirales, mais certains virus entériques causent aussi des symptômes respiratoires, des infections du système nerveux central (méningite non purulente, poliomyélite), des infections hépatiques et des syndromes musculaires (fibromyalgie, myocardite). On a également incriminé les virus entériques dans certaines formes de diabète et dans le syndrome de fatigue chronique (Payment 1993; Fields *et al.* 1996; Murray 1999; Chin 2000).

8.1.1 *Norovirus*

Les éclosions de norovirus atteignent les nouveau-nés, les enfants et les adultes. Les effets sur la santé associés aux infections à norovirus ont tendance à être bénins et résolutifs et durent habituellement de 24 à 48 heures. Les nausées, les vomissements, la diarrhée, les douleurs abdominales et la fièvre sont au nombre des symptômes. On ne connaît pas la dose infectieuse, mais on suppose qu'elle est faible. La période d'incubation est de 24 à 48 heures (Kapikian *et al.* 1996; Chin 2000). On a associé beaucoup de cas de gastro-entérite causée par le norovirus à des groupes de personnes vivant dans des milieux clos : écoles, camps de vacances, établissements et navires de croisière, par exemple.

8.1.2 *Virus de l'hépatite*

Il y a cinq types de virus de l'hépatite, dont deux seulement (VHA et VHE) semblent se transmettre par la voie fécale-orale et sont associés à la transmission par voie hydrique. Les infections à VHA communément appelées hépatites infectieuses, peuvent causer au foie des dommages qui peuvent être mortels. On ne connaît pas la dose infectieuse, mais on la situe dans une plage de 10 à 100 virions. La période d'incubation d'une infection à VHA varie de 10 à 50 jours, la moyenne s'établissant à environ 28-30 jours. La période d'incubation est reliée de façon inversement proportionnelle à la dose : plus la dose est forte, plus la période d'incubation est brève. Les symptômes de la maladie comprennent de la fièvre, des malaises (fatigue), de l'anorexie, des nausées et une gêne abdominale. La jaunisse suit quelques jours plus tard. La maladie est habituellement résolutive, mais le taux de mortalité peut atteindre 2 % chez les adultes de plus de 40 ans. Les sujets infectés excrètent le virus dans leurs matières fécales pendant une à deux semaines avant que l'hépatite se déclare et le virus se propage par la voie fécale-orale (Hollinger et Tricehurst 1996; Chin 2000).

La maladie causée par le VHE est appelée hépatite E, ou hépatite non A non B transmise par voie fécale. Sur le plan clinique, on ne peut distinguer l'hépatite E de l'hépatite A. Ses

symptômes comprennent des malaises, de l'anorexie, des douleurs abdominales, de l'arthralgie et de la fièvre. On ne connaît pas la dose infectieuse. La période d'infection de l'hépatite E varie de deux à neuf semaines; l'affection est habituellement bénigne et se résorbe en deux semaines sans laisser de séquelles. Le taux de mortalité s'établit à 0,1-1 %, sauf chez les femmes enceintes où il atteint presque 20 %. La maladie touche le plus souvent des sujets jeunes ou d'âge moyen (15 à 40 ans).

8.1.3 Rotavirus

La gastro-entérite à rotavirus peut se manifester sous des formes variant de la diarrhée bénigne d'une durée de moins de 24 heures à la gastro-entérite grave qui peut être mortelle. Le sujet peut vomir pendant une période allant jusqu'à 48 heures avant l'apparition de la gastro-entérite. La période d'incubation varie d'environ 19 heures à deux jours. La maladie dure en général de 5 à 8 jours. On suppose que la dose infectieuse est de 10 à 100 virions (Graham *et al.* 1987).

Le rotavirus du groupe A est endémique dans le monde entier et constitue le groupe le plus courant et le plus répandu. On qualifie les infections qu'il cause de diarrhée infantile, diarrhée hivernale, gastro-entérite infectieuse non bactérienne aiguë et gastro-entérite virale aiguë. Les enfants de six mois à deux ans, les nouveau-nés prématurés, les personnes âgées et les sujets dont le système immunitaire est compromis sont particulièrement vulnérables aux symptômes plus graves causés par l'infection à rotavirus du groupe A. Celui-ci est la principale cause de diarrhée grave chez les nourrissons et les enfants et il cause environ la moitié des cas qui nécessitent une hospitalisation. Aux États-Unis, on enregistre près de 3,5 millions de cas par année (Glass *et al.* 1996). Dans les régions tempérées, la maladie se manifeste principalement au cours de l'hiver, mais elle est présente pendant toute l'année sous les Tropiques (Moe et Shirley 1982; Nakajima 2001). On a aussi signalé des éclosions causées par le rotavirus du groupe B, également appelé rotavirus de la diarrhée de l'adulte, chez les personnes âgées et les adultes, même si l'infection chez ces derniers est très rare et habituellement subclinique. On a établi un lien entre le rotavirus du groupe C et des cas rares et sporadiques de diarrhée chez les enfants dans de nombreux pays. Ce sont toutefois le Japon et l'Angleterre qui ont signalé les premières éclosions (Caul *et al.* 1990; Hamano *et al.* 1999).

8.1.4 Entérovirus

La voie orale est la principale voie d'infection par les entérovirus, dont la période d'incubation varie de 2 à 35 jours, la médiane se situant entre 7 et 14 jours. Les entérovirus peuvent survivre au transit dans l'estomac et infecter le tractus intestinal inférieur. La virémie (c.-à-d. le passage du virus dans le sang) est fréquente et le passage dans divers organes cibles entraîne tout un éventail de symptômes. La poliomyélite et la méningite sont les maladies les plus graves causées par les entérovirus, mais on a également incriminé ces derniers dans la myalgie, le syndrome de Guillain-Barré, l'hépatite, les maladies fébriles et la conjonctivite. Les entérovirus sont endémiques dans le monde entier, mais on a signalé peu d'éclosions d'origine hydrique. Les entérovirus demeurent un important problème de santé publique dans les pays en développement. Le nombre élevé de sérotypes, la nature habituellement bénigne des infections et le fait que celles-ci sont très transmissibles par contact personnel dans une collectivité expliquent

probablement pourquoi on connaît si peu de choses sur leur transmission par voie hydrique (Field *et al.* 1968; Lenaway *et al.* 1989; Ikeda *et al.* 1993; Kee *et al.* 1994; Melnick 1996; Jaykus 2000; Lees 2000; Amvrosieva *et al.* 2001).

8.1.5 *Autres virus entériques*

Les adénovirus humains peuvent causer des infections respiratoires et gastro-intestinales. La gastro-entérite à adénovirus atteint surtout les jeunes enfants. Sa période d'incubation varie d'un à trois jours et ses symptômes comprennent la diarrhée et les vomissements. Les adénovirus peuvent être transmis par contact direct, par la voie fécale orale ou par les eaux utilisées à des fins récréatives. On n'a pas incriminé l'eau potable comme voie de transmission.

L'infection à astrovirus cause habituellement des symptômes qui ressemblent énormément à ceux qu'on observe dans le cas de l'infection à rotavirus et elle atteint surtout les jeunes enfants. Sa période d'incubation varie d'un à quatre jours. Les astrovirus sont transmis par la voie fécale-orale, par les eaux utilisées à des fins récréatives ou par les aliments. On n'a pas incriminé l'eau potable comme voie de transmission.

Une infection à parvovirus cause habituellement une affection bénigne ressemblant à la grippe, parfois accompagnée d'une éruption (« cinquième maladie »). Les complications, qui comprennent l'anémie et l'arthralgie, peuvent atteindre les femmes enceintes et les sujets dont le système immunitaire est compromis. La période d'incubation varie de quatre à 14 jours. On ne connaît pas trop le rôle des parvovirus dans la gastro-entérite humaine. Des preuves limitées indiquent que le parvovirus est transmis par les aliments (mollusques et crustacés) et les eaux utilisées à des fins récréatives. On n'a pas incriminé l'eau potable comme voie de transmission.

8.2 Éclosions

Les virus entériques sont une cause fréquente d'éclosions de maladies d'origine hydrique dans le monde entier. Certains des agents viraux à l'origine de ces éclosions n'ont été identifiés que récemment (Craun 1986, 1992; Fields *et al.* 1996; Payment et Hunter 2001). On ne connaît pas la prévalence réelle des éclosions d'infections virales d'origine hydrique.

Aux États-Unis, on a signalé 28 éclosions déclarées et 11 195 cas confirmés d'infection virale d'origine hydrique entre 1980 et 1994 (les données de 1984 manquent). On a attribué 9 038 de ces cas aux norovirus et 396 au VHA. On a signalé une éclosion chez des adultes attribuée à la contamination par des rotavirus d'un approvisionnement en eau municipal (Hopkins *et al.* 1984). Des éclosions d'infection par le VHA se sont produites dans des garderies et des établissements en raison d'une détérioration des conditions d'hygiène ou de la contamination d'aliments ou de l'eau (MMWR 1980-1994; Gerba *et al.* 1985; Hollinger et Tricehurst 1996; AWWA 1999b; Chin 2000). Au cours de ces périodes, on a aussi signalé de nombreuses éclosions d'étiologie inconnue. Il est probable que des virus entériques en ont causé un pourcentage important (MMWR 1980-1994; Craun 1986, 1992).

Au Canada, il y a eu 21 éclosions déclarées et 1 358 cas confirmés de maladies d'origine hydrique causées par des virus entériques entre 1974 et 1995. On a attribué 11 de ces éclosions au VHA, huit à des norovirus, une au rotavirus et une à un virus d'étiologie inconnue (Santé Canada 1974-1995). Quatre des 11 éclosions d'origine hydrique déclarées d'infection par le

VHA étaient attribuables à la contamination d'approvisionnements publics en eau potable et sept à la contamination d'approvisionnements en eau privés (Santé Canada 1974-1995). Les huit éclosions déclarées d'infections à norovirus d'origine hydrique au Canada se sont produites dans des approvisionnements publics en eau (Santé Canada 1974-1995). L'éclosion d'infections par rotavirus était attribuable à la contamination d'un approvisionnement public en eau potable.

D'importantes épidémies d'infections par le VHE d'origine hydrique ont éclaté dans le monde entier, mais on n'en a signalé aucune en Amérique du Nord et il n'y a aucune preuve d'immunité contre cet agent dans la population nord-américaine (Purcell 1996; Chin 2000). Les astrovirus, adénovirus et parvovirus sont des virus entériques qu'on a incriminés dans des éclosions provenant d'eaux utilisées à des fins récréatives et d'origine alimentaire (produits de la mer). On n'a pas signalé d'éclosions reliées à l'eau potable, mais la mise au point de nouvelles méthodes de détection pourrait changer la situation (Martone *et al.* 1980; Turner *et al.* 1987; Hedberg et Osterholm 1993; Gray *et al.* 1997; Kukkula *et al.* 1997, 1999; Lees 2000).

9.0 Évaluation des risques

Il est difficile de mettre au point une évaluation significative des risques que pose un virus entérique en particulier. La majorité des virus entériques ne se reproduisent pas bien en culture cellulaire; il est donc impossible de déterminer l'exposition avec précision et de produire des données sur l'infectiosité liées à la relation dose-réponse. Il est donc difficile de choisir les mesures appropriées de gestion des risques, surtout lorsqu'une telle imprécision est reliée au fait que l'on connaît mal l'élimination et l'inactivation des virus pendant le traitement de l'eau potable (Macler 1993; Deere *et al.* 2001; Fewtrell et Bartram 2001; Haas et Eisenburg 2001).

Pour résoudre ces problèmes et déterminer les concentrations acceptables de virus entériques dans l'eau potable, l'EPA des États-Unis a proposé d'utiliser un virus de synthèse hypothétique. Ce virus modèle combine les caractéristiques de divers virus entériques nécessaires pour mettre au point une évaluation utile des risques. Il repose sur des données dose-réponse pour le rotavirus, le plus infectieux des virus d'origine hydrique connus, considéré comme le substitut des autres virus entériques infectieux. Compte tenu d'expériences sur la dose-réponse menées sur des rotavirus chez des volontaires humains par Ward *et al.* (1986), Regli *et al.* (1991) ont établi à $2,22 \times 10^{-7}$ par litre la concentration acceptable de virus entériques dans l'eau potable traitée. Cette valeur correspond à un risque annuel d'infection de moins de 1 pour 10 000 personnes, niveau jugé acceptable par l'EPA des États-Unis (Regli *et al.* 1991) et le gouvernement hollandais (Staatscourant 2001). Comme les concentrations de virus entériques dans l'eau varient de 0,01 à 10 000 par 100 L, une réduction de l'ordre de 4 à 9 log pendant le traitement peut être nécessaire pour assurer une telle protection (Regli *et al.* 1991). Gerba *et al.* (1996) ont utilisé le modèle d'évaluation des risques pour déterminer le risque d'infection endémique d'origine hydrique relié au rotavirus. En se fondant sur les concentrations maximales enregistrées dans les sources d'eau (Raphael *et al.* 1985a) et en supposant que le traitement entraînerait une réduction de l'ordre de 4 log, ils ont calculé que les risques annuels d'infection, de maladie et de mort dans la population générale s'établissaient respectivement à 8×10^{-1} , $0,4 \times 10^{-1}$ et 4×10^{-5} . Ils ont également calculé que le risque de mortalité était 100 fois plus élevé chez les personnes âgées que dans la population générale.

Le modèle d'évaluation des risques comprend des lacunes qui entraînent une sous-estimation ou une surestimation de l'importance des risques (Gerba *et al.* 1985; Haas *et al.* 1999; Hurst *et al.* 2001). L'efficacité de la concentration et de la culture des virus tirés de l'eau, par exemple, est probablement loin de 100 %. On suppose par ailleurs dans le modèle une consommation de 2 L d'eau par jour par personne, mais des études indiquent que l'eau bouillie, qui ne contient donc pas de virus infectieux, pourrait représenter un pourcentage important de ce volume (Gale 1996; Payment *et al.* 1997). Les modèles d'évaluation des risques supposent aussi que la répartition des virus dans l'eau potable est aléatoire et que la population est normalement exposée à de faibles doses de virus. Gale (1996) a toutefois présenté des données qui indiquent que les micro-organismes présents dans l'eau ne le sont pas de façon aléatoire, mais qu'ils se présentent plutôt par grappes. Le modèle surestimerait alors le risque d'infection puisque la majeure partie de la population ne serait exposée à aucun virus dans l'eau, tandis qu'un faible pourcentage serait exposé à des doses plus élevées. Le modèle repose de plus sur le risque d'infection plutôt que sur le risque de maladie. Les symptômes se manifestent notamment par une interaction complexe reliée à l'âge et au statut immunitaire du sujet infecté, ainsi qu'à la souche du virus et à sa virulence. On ne connaît pas l'effet net de ces observations sur le risque. On a enfin proposé des modèles démographiques pour intégrer la question de la propagation des maladies infectieuses dans la population (Haas et Eisenberg 2001).

En se fondant sur les renseignements disponibles et pour atteindre le but fixé à moins de 1 pour 10 000 personnes par année, l'EPA des États-Unis a préparé des recommandations sur l'élimination et l'inactivation des virus entériques, y compris sur le VHA, reconnu pour être plus résistant aux désinfectants courants de l'eau potable (EPA des États-Unis 1991).

10.0 Justification

Il existe plus de 140 types de virus entériques reconnus pour infecter les êtres humains qui sont excrétés dans les matières fécales des personnes et animaux infectés et que l'on peut retrouver dans l'eau. Beaucoup de ces virus sont impossibles à cultiver et leur présence dans l'eau varie au fil du temps à mesure que les infections virales évoluent dans la population. Il se peut, à un moment donné, qu'un type de virus soit plus prévalent qu'un autre dans les eaux usées d'une collectivité et qu'il ait un effet sur la qualité de l'eau dans des collectivités situées en aval. C'est pourquoi il est impossible d'établir pour le moment des concentrations maximales acceptables (CMA) de virus entériques dans l'eau potable.

Les tests de dépistage de la présence de virus dépassent la capacité de la plupart des laboratoires chargés de la surveillance routinière de la qualité de l'eau et exigent des installations de biosécurité qu'on ne trouve pas dans tous les laboratoires. Pour s'assurer que le risque annuel d'infection d'origine hydrique est inférieur au niveau annuel généralement reconnu comme acceptable de 1:10 000, il faudrait analyser des milliers de litres d'eau. Il est donc utile et pratique d'analyser des échantillons d'eau potable pour y repérer la présence de virus seulement au cours d'enquêtes sur des éclosions d'infections d'origine hydrique ou pour estimer le niveau de traitement qui s'impose pendant la conception d'une usine de traitement de l'eau.

La meilleure façon de se protéger contre la présence de concentrations dangereuses de virus entériques dans l'eau repose sur l'application de l'approche dite à barrières multiples, qui comprend la protection de la source d'eau et un traitement adéquat démontré par l'utilisation des

paramètres physicochimiques appropriés, suivie de la vérification de l'absence de micro-organismes indicateurs de la présence de matières fécales dans l'eau traitée. Le traitement qui s'impose dépend de la qualité de l'eau de la source d'approvisionnement.

Si cette eau est contaminée par des matières fécales d'origine humaine ou a déjà causé des éclosions d'origine hydrique attribuées à la présence de virus entériques, les techniques de traitement en vigueur devraient assurer une réduction ou une inactivation des virus de l'ordre d'au moins 4 log. Dans la plupart des cas, une usine de traitement qui fonctionne bien et qui emploie des techniques efficaces de coagulation, de flocculation, de clarification, de filtration et de désinfection pour produire une valeur CT suffisante devrait donner de l'eau présentant un risque négligeable d'infection. Il faudrait, dans la mesure du possible, protéger les bassins hydrographiques ou les aquifères qui servent de sources d'eau potable contre une contamination par les matières fécales.

Sauf les exemptions spécifiques à des réseaux, il faut désinfecter toutes les sources publiques d'approvisionnement. Il faut maintenir en tout temps une concentration résiduelle de désinfectant dans tout le réseau de distribution. Le traitement minimal de toutes les sources d'eau de surface et d'eaux souterraines assujetties à l'influence directe d'eaux de surface devrait inclure en outre la coagulation, la flocculation, la clarification et la filtration, ou des techniques équivalentes. Le traitement minimal de toutes les sources semi-publiques et privées d'approvisionnement provenant de sources d'eau de surface ou d'eaux souterraines assujetties à l'influence directe d'eaux de surface doit inclure une filtration et une désinfection adéquates ou des techniques équivalentes.

Bibliographie

Abbaszadegan, M., Stewart, P.W., LeChevallier, M.W. et Gerba, C.P. 1998. Application of PCR technologies for virus detection in groundwater. Report No. 90740, American Water Works Association, Denver, CO.

Abbaszadegan, M., Stewart, P. et LeChevallier, M. 1999. A strategy for detection of viruses in groundwater by PCR. Appl. Environ. Microbiol., 65(2) : 444-449.

Alberta Environment. 1997. Standards and guidelines for municipal waterworks, wastewater and storm drainage systems, décembre 1997, Section 2.2.4 (2).

Amvrosieva, T.V., Titov, L.P., Mulders, M., Hovi, T., Dyakonova, O.V., Votyakov, V.I., Kvacheva, Z.B., Eremin, V.F., Sharko, R.M., Orlova, S.V., Kazinets, O.N. et Bogush, Z.F. 2001. Viral water contamination as the cause of aseptic meningitis outbreak in Belarus. Cent. Eur. J. Public Health, 9(3) : 154-157.

Arnold, W.R. et Rainbow, A.J. 1996. Host cell reactivation of irradiated adenovirus in UV-sensitive Chinese hamster ovary cell mutants. Mutagenesis, 11(1) : 89-94.

Ashbolt, N.J., Grabow, W.O.K. et Snazzi, M. 2001. Indicators of microbial water quality. Dans : Water quality: Guidelines, standards for health; assessment of risk and risk management for water-related infectious disease. Sous la direction de L. Fewtrell et J. Bartram. IWA Publishing, Londres (R.-U.), pour le compte de l'Organisation mondiale de la santé, Genève.

AWWA (American Water Works Association). 1999a. Waterborne pathogens. AWWA Manual of Water Practices M48. American Water Works Association, Denver, CO.

AWWA (American Water Works Association). 1999b. Water quality and treatment: a handbook of community water supplies. McGraw-Hill, New York, NY.

Bitton, G. 1999. Wastewater microbiology. 2^e éd. Wiley-Liss, New York, NY.

Bloch, A.B., Stramer, S.L., Smith, J.D., Margolis, H.S., Fields, H.A., McKinley, T.W., Gerba, C.P., Maynard, J.E. et Sikes, R.K. 1990. Recovery of hepatitis A virus from a water supply responsible for a common source outbreak of hepatitis A. *Am. J. Public Health*, 80 : 428-430.

Caul, E.O., Ashley, C.R., Darville, J.M. et Bridger, J.C. 1990. Group C rotavirus associated with fatal enteritis in a family outbreak. *J. Med. Virol.*, 30 : 201-205.

CDC (Centers for Disease Control and Prevention). 2003. Technical fact sheet about noroviruses (disponible à <http://www.cdc.gov/ncidod/dvrd/revb/gastro/norovirus-factsheet.htm>).

Chang, J.C., Ossoff, S.F., Lobe, D.C., Dorfman, M.H., Dumais, C.M., Qualls, R.G. et Johnson, J.D. 1985. UV inactivation of pathogenic and indicator microorganisms. *Appl. Environ. Microbiol.*, 49(6) : 1361-1365.

Chin, J. 2000. Control of communicable diseases manual. 17^e éd. American Public Health Association, Washington, DC.

Cotton, C.A., Linden, K.G., Schmelling, D.C., Bell, C. et Landis, H. 2001. The development of the UV dose tables for LT2ESWTR implementation. First International Congress on Ultraviolet Technologies, Washington, DC.

Craun, G.F. 1986. Waterborne diseases in the United States. CRC Press, Boca Raton, FL.

Craun, G.F. 1992. Waterborne disease outbreaks in the United States of America: causes and prevention. *World Health Stat. Q.*, 45 : 192-199.

Deere, D., Stevens, M., Davison, A., Helm, G. et Dufour, A. 2001. Management strategies. Dans : *Water quality: Guidelines, standards for health; assessment of risk and risk management for water-related infectious disease*. Sous la direction de L. Fewtrell et J. Bartram. IWA Publishing, Londres (R.-U.), pour le compte de l'Organisation mondiale de la santé, Genève.

EPA des États-Unis. 1989. Part V, Environmental Protection Agency, 40 CFR Parts 141 and 142. National Primary Drinking Water Regulations: Filtration; disinfection; turbidity; *Giardia lamblia*; viruses; *Legionella*, and heterotrophic bacteria; Final rule. *Fed. Regist.*, 54 : 27485-27541.

EPA des États-Unis. 1991. Guidance manual for compliance with the filtration and disinfection requirements for public water systems using surface water sources. EPA des États-Unis, Washington, DC.

EPA des États-Unis. 1998. Part V, Environmental Protection Agency, 40 CFR Parts 141 and 142. National Primary Drinking Water Regulations: Interim Enhanced Surface Water Treatment: Final rule. *Fed. Regist.*, 63(241) : 69477-69521.

EPA des États-Unis. 1999. Alternative disinfectants and oxidants guidance manual.

EPA des États-Unis. 2000a. Part II, Environmental Protection Agency, 40 CFR Parts 141 and 142. National Primary Drinking Water Regulations: Long Term 1 Enhanced Surface Water Treatment and Filter Backwash Rule: Proposed rule. Fed. Regist., 65(69) : 19045-19094.

EPA des États-Unis. 2000b. Part II, Environmental Protection Agency, 40 CFR Parts 141 and 142. National Primary Drinking Water Regulations: Ground Water Rule: Proposed rule. Fed. Regist., 65(91) : 30193-30274.

EPA des États-Unis. 2001a. Method 1601: Male-specific (F+) and somatic coliphage in water by two-step enrichment procedure. Report EPA/821-R-01-030, Office of Water, EPA des États-Unis, Washington, DC.

EPA des États-Unis. 2001b. Method 1602: Male-specific (F+) and somatic coliphage in water by single agar layer (SAL) procedure. Report EPA/821-R-01-029, Office of Water, EPA des États-Unis, Washington, DC.

EPA des États-Unis. 2003a. Ultraviolet disinfection guidance manual.

EPA des États-Unis. 2003b. National Primary Drinking Water Regulations: Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule - Toolbox Guidance Manual, juin 2003, p. 1-8.

Fewtrell, L. et Bartram, J. (dir.). 2001. Water quality: Guidelines, standards for health; assessment of risk and risk management for water-related infectious disease. IWA Publishing, Londres (R.-U.), pour le compte de l'Organisation mondiale de la santé, Genève.

Field, P.R., Murphy, A.M., Gibson, H.B. et Rennie, T.F. 1968. An outbreak of gastro-enteritis associated with Echovirus type I. Med. J. Aust., 1(1) : 9-11.

Fields, B.N., Knipe, D.M. et Howley, P.M. (dir.). 1996. Fields virology, 3^e éd. Lippincott-Raven Publishers, Philadelphia, PA. (Vol. 1 et 2).

Gale, P. 1996. Developments in microbiological risk assessment models for drinking water. A short review. J. Appl. Bacteriol., 81 : 403-410.

Gerba, C.P. et Rose, J.B. 1990. Viruses in source and drinking water. Dans : Drinking water microbiology: progress and recent developments. Sous la direction de G.A. McFeters. Springer-Verlag, New York, NY.

Gerba, C.P., Rose, J.B. et Singh, S.N. 1985. Waterborne gastroenteritis and viral hepatitis. Crit. Rev. Environ. Control, 15 : 213.

Gerba, C.P., Rose, J.B., Hass, C.N. et Crabtree, K.D. 1996. Waterborne rotavirus: a risk assessment. Water Res., 30 : 2929-2940.

Glass, R.I., Kilgore, P.E. et Holman, R.C. 1996. The epidemiology of rotavirus diarrhea in the United States: surveillance and estimates of disease burden. J. Infect. Dis., 74 : S5-S11.

Grabow, W.O.K. 2001. Bacteriophages: update on application as models for viruses in water. *Water SA*, 27 : 251-268.

Graham, D.Y., Dufour, G.R. et Estes, M.K. 1987. Minimal infective dose of rotavirus. *Arch. Virol.*, 92 : 261-271.

Gray, J.J., Green, J., Cunliffe, C., Gallimore, C., Lee, J.V., Neal, K. et Brown, D.W. 1997. Mixed genogroup SRSV infections among a party of canoeists exposed to contaminated recreational water. *J. Med. Virol.*, 52(4) : 425-429.

Groupe d'étude sur la microbiologie de la santé de l'AIQE (Association internationale pour la qualité de l'eau). 1991. Bacteriophages as model viruses in water quality control. *Water Res.*, 25 : 529-545.

Haas, C. et Eisenberg, J.N.S. 2001. Risk assessment. Dans : *Water quality: Guidelines, standards for health; assessment of risk and risk management for water-related infectious disease*, sous la direction de L. Fewtrell et J. Bartram. IWA Publishing, Londres (R.-U.), pour le compte de l'Organisation mondiale de la santé, Genève.

Haas, C.N., Rose, J.B. et Gerba, C.P. 1999. Quantitative microbial risk assessment. John Wiley, New York, NY.

Hamano, M., Kuzuya, M., Fujii, R., Ogura, H., Mori, T., Nakayama, T., Yuen, E., Katayama, K., Mitsunobu, Y. et Inoue, K. 1999. Outbreak of acute gastroenteritis caused by human group C rotavirus in a primary school. *Jpn. J. Infect. Dis.*, 52 : 170-171.

Havelaar, A.H. 1993. Bacteriophages as models of human enteric viruses in the environment. *ASM News*, 59 : 12-15.

Havelaar, A.H. et Sobsey, M.D. 1995. Detection of fRNA coliphages in groundwater. *Lett. Appl. Microbiol.*, 20 : 396-397.

Havelaar, A.H., Val Olphen, M. et Drost, Y.C. 1993. F-specific RNA bacteriophages are adequate model organisms for enteric viruses in fresh water. *Appl. Environ. Microbiol.*, 59 : 2956-2962.

Hedberg, C.W. et Osterholm, M.T. 1993. Outbreaks of food-borne and waterborne viral gastroenteritis. *Clin. Microbiol. Rev.*, 6(3) : 99-210.

Hoff, J.C. 1986. Inactivation of microbial agents by chemical disinfectants. Report No. EPA/600/S2-86/087, EPA des États-Unis, Cincinnati, OH.

Hollinger, F.B. et Tricehurst, J.R. 1996. Hepatitis A virus. Dans : *Fields virology*, Vol. 1. 3^e éd, sous la direction de B.N. Fields, D.M. Knipe et P.M. Howley. Lippincott-Raven Publishers, Philadelphia, PA.

Hopkins, R.S., Gaspard, G.B., Williams, F.P., Jr., Karlin, R.J., Cukor, G. et Blacklow, N.R. 1984. A community waterborne gastroenteritis outbreak: evidence for rotavirus as the agent. *Am. J. Public Health*, 74 : 263-265.

Hurst, C.J., Knudsen, G.R., McInerney, M.J., Stetzenbach, L.D. et Walter, M.V. 2001. Manual of environmental microbiology. American Society for Microbiology Press, Washington, DC.

Ikeda, R.M., Kondracki, S.F., Drabkin, P.D., Birkhead, G.S. et Morse, D.L. 1993. Pleurodynia among football players at a high school. An outbreak associated with coxsackievirus B1. *J. Am. Med. Assoc.*, 270(18) : 2205-2206.

Jaykus, L. 2000. Enteric viruses as “emerging agents” of foodborne disease. *Irish J. Agric. Food Res.*, 39(2) : 245-255.

Jothikumar, N., Paulmurugan, R., Padmanabhan, P., Sundari, R.B., Kamatchiammal, S. et Rao, K.S. 2000. Duplex RT-PCR for simultaneous detection of hepatitis A and hepatitis E virus isolated from drinking water samples. *J. Environ. Monit.*, 2(6) : 587-590.

Kapikian, A.Z. et Chanock, R.M. 1996. Rotaviruses. Dans : Fields virology, Vol. 2. 3^e éd, sous la direction de B.N. Fields, D.M. Knipe et P.M. Howley. Lippincott-Raven Publishers, Philadelphia, PA.

Kapikian, A.Z., Estes, M.K. et Chanock, R.M. 1996. Norwalk group of viruses. Dans : Fields virology, Vol. 1. 3^e éd, sous la direction de B.N. Fields, D.M. Knipe et P.M. Howley. Lippincott-Raven Publishers, Philadelphia, PA.

Kee, F., McElroy, G., Stewart, D., Coyle, P. et Watson, J. 1994. A community outbreak of echovirus infection associated with an outdoor swimming pool. *J. Public Health Med.*, 16(2) : 145-148.

Ko, G., Cromeans, T.L. et Sobsey, M.D. 2003. Detection of infectious adenovirus in cell culture by mRNA reverse transcription-PCR. *Appl. Environ. Microbiol.*, 69(12) : 7377-7384.

Kukkula, M., Arstila, P., Klossner, M.L., Maunula, L., Bonsdorff, C.H. et Jaatinen, P. 1997. Waterborne outbreak of viral gastroenteritis. *Scand. J. Infect. Dis.*, 29(4) : 415-418.

Kukkula, M., Maunula, L., Silvennoinen, E. et von Bonsdorff, C.H. 1999. Outbreak of viral gastroenteritis due to drinking water contaminated by Norwalk-like viruses. *J. Infect. Dis.*, 180(6) : 1771-1776.

LeChevallier, M.W. 1999. Committee report: Emerging pathogens — viruses, protozoa, and algal toxins. *J. Am. Water Works Assoc.*, 91(9) : 110-121.

LeChevallier, M.W., Evans, T.M. et Seidler, R.J. 1981. Effect of turbidity on chlorination efficiency and bacterial persistence in drinking water. *Appl. Environ. Microbiol.*, 42(1) : 159-167.

Lees, D. 2000. Viruses and bivalve shellfish. *Int. J. Food Microbiol.*, 59(1-2) : 81-116.

Lenaway, D.D., Brockmann, R., Dolan, G.J. et Cruz-Uribe, F. 1989. An outbreak of an enterovirus-like illness at a community wading pool: implications for public health inspection programs. *Am. J. Public Health*, 79(7) : 889-890.

Macler, B. 1993. Acceptable risk and U.S. microbial drinking water standards. Dans : Safety of water disinfection, sous la direction de G.F. Craun. ILSI Press, Washington, DC. p. 619-626.

Martone, W.J., Hierholzer, J.C., Keenlyside, R.A., Fraser, D.W., D'Angelo, L.J. et Winkler, W.G. 1980. An outbreak of adenovirus type 3 disease at a private recreation center swimming pool. *Am. J. Epidemiol.*, 111(2) : 229-237.

Melnick, J.L. 1996. Enteroviruses. Dans : *Fields virology*, vol. 1. 3^e éd, sous la direction de B.N. Fields, D.M. Knipe et P.M. Howley. Lippincott-Raven Publishers, Philadelphia, PA.

Meng, Q.S. et Gerba, C.P. 1996. Comparative inactivation of enteric adenovirus, poliovirus, and coliphages by ultraviolet irradiation. *Water Res.*, 30 : 2665-2668.

Ministère de l'Environnement du Québec. 2001a. Qualité de l'eau potable. Loi sur la qualité de l'environnement (L.R.Q., c, Q-2). *Gazette Officielle du Québec*. 13 juin 2001, 133(24) : 3561-3573.

Ministère de l'Environnement du Québec. 2001b. Guide de conception des installations de production d'eau potable. 21 juin 2001 (version préliminaire disponible à : <http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/potable/guide/index.htm>).

MMWR (Morbidity and Mortality Weekly Report). 1980-1994. Waterborne disease outbreaks. Centers for Disease Control and Prevention, Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta, GA.

Moe, K. et Shirley, J.A. 1982. The effects of relative humidity and temperature on the survival of human rotavirus in faeces. *Arch. Virol.*, 72 : 179-186.

Mooijman, K.A., Bahar, M., Contreras, N. et Havelaar, A.H. 2001. Optimisation of the ISO-method on enumeration of somatic coliphages (draft ISO 10705-2). *Water Sci. Technol.*, 43(12) : 205-208.

Murray, P.R. 1999. *Manual of clinical microbiology*. American Society for Microbiology Press, Washington, DC.

Nakajima, H., Nakagomi, T., Kamisawa, T., Sakaki, N., Muramoto, K., Mikami, T., Nara, H. et Nakagomi, O. 2001. Winter seasonality and rotavirus diarrhoea in adults. *Lancet*, 16(357) : 1950.

OMS (Organisation mondiale de la santé). 1996. Directives de qualité pour l'eau de boisson. Vol. 2, 2^e éd, Genève.

Payment, P. 1989. Elimination of viruses and bacteria during drinking water treatment: review of 10 years of data from the Montréal metropolitan area. Dans : *Biohazards of drinking water treatment*, sous la direction de R.A. Larson. Lewis Publishers, Chelsea, MI. p. 59-65.

Payment, P. 1991. Fate of human enteric viruses, coliphages, and *Clostridium perfringens* during drinking-water treatment. *Rev. Can. Microbiol.*, 37 : 154-157.

Payment, P. 1993. Viruses in water: an underestimated health risk for a variety of diseases. Dans : *Disinfection dilemma: microbiological control versus by-products*, sous la direction de W. Robertson, R. Tobin et K. Kjartanson. American Water Works Association, Denver, CO. p. 157-164.

Payment, P. 2001. Cultivation of viruses from environmental samples. Dans : *Manual of environmental microbiology*. 2^e éd, sous la direction de C.J. Hurst, R.L. Crawford, G.R. Knudsen, M.J. McInerney et L.D. Stenzenbach. American Society for Microbiology, Washington, DC.

Payment, P. et Armon, R. 1989. Virus removal by drinking water treatment processes. CRC Crit. Rev. Environ. Control, 19 : 15-31.

Payment, P. et Franco, E. 1993. *Clostridium perfringens* and somatic coliphages as indicators of the efficiency of drinking water treatment for viruses and protozoan cysts. J. Appl. Environ. Microbiol., 59(8) : 2418-2424.

Payment, P. et Hunter, P. 2001. Endemic and epidemic infectious intestinal disease and its relation to drinking water. Dans : Water quality: Guidelines, standards for health; assessment of risk and risk management for water-related infectious disease, sous la direction de L. Fewtrell et J. Bartram. IWA Publishing, Londres (R.-U.), pour le compte de l'Organisation mondiale de la santé, Genève.

Payment, P. et Trudel, M. 1993. Methods and techniques in virology. Marcel Dekker, New York, NY.

Payment, P., Trudel, M., Sattar, S.A., Springthorpe, V.S., Subrahmanyam, T.P., Gregory, B.E., Vajdic, A.H., Blaskovic, P., Guglielmi, I.J. et Kudrewko, O. 1984. Virological examination of drinking water: a Canadian collaborative study. Rev. Can. Microbiol., 30 : 105-112.

Payment, P., Siemiatycki, J., Richardson, L., Renaud, G., Franco, E. et Prévost, M. 1997. A prospective epidemiological study of gastrointestinal health effects due to the consumption of drinking water. Int. J. Environ. Health Res., 7 : 5-31.

Payment, P., Berte, A., Prevost, M., Ménard, B. et Barbeau, B. 2000. Occurrence of pathogenic microorganisms in the Saint-Lawrence River (Canada) and comparison of health risks for populations using it as their source of drinking water. Rev. Can. Microbiol., 46 : 565-576.

Payment, P., Plante, R. et Cejka, P. 2001. Removal of indicator bacteria, human enteric viruses, *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts at a large wastewater primary treatment facility. Rev. Can. Microbiol., 47(3) : 188-193.

Pina, S., Buti, M., Jardi, R., Clemente-Casares, P., Jofre, J. et Girones, R. 2001. Genetic analysis of hepatitis A virus strains recovered from the environment and from patients with acute hepatitis. J. Gen. Virol., 82 : 2955-2963.

Purcell, R.H. 1996. Hepatitis E virus. Dans : Fields virology, vol. 1. 3^e éd., sous la direction de B.N. Fields, D.M. Knipe et P.M. Howley. Lippincott-Raven Publishers, Philadelphia, PA.

Raphael, R.A., Sattar, S.A. et Springthorpe, V.S. 1985a. Long-term survival of human rotavirus in raw and treated river water. Rev. Can. Microbiol., 31 : 124-128.

Raphael, R.A., Sattar, S.A. et Springthorpe, V.S. 1985b. Rotavirus concentration from raw water using positively charged filters. J. Virol. Methods, 11 : 131-140.

Regli, S., Rose, J.B., Haas, C.N. et Gerba, C.P. 1991. Modelling the risk from *Giardia* and viruses in drinking water. J. Am. Water Works Assoc., 83 : 76-84.

Reynolds, K.A., Gerba, C.P., Abbaszadegan, M. et Pepper, I.L. 2001. ICC/PCR detection of enteroviruses and hepatitis A virus in environmental samples. Rev. Can. Microbiol., 47 : 153-157.

Santé et Bien-être social Canada. 1993. Principes et techniques de traitement de l'eau : Manuel de production d'eau potable. Association canadienne des eaux potables et usées, Ottawa (Ontario).

Santé Canada. 1974-1995. Intoxications alimentaires et maladies d'origine hydrique au Canada. Sommaires annuels, 1974-1995. Direction générale de la protection de la santé, Santé Canada, Ottawa (Ontario).

Santé Canada. 2003. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : turbidité dans l'eau potable. Ottawa (Ontario).

Saskatchewan Environment. 2002. A guide to waterworks design, novembre 2002, EPB201, Section 3.2.1

Sattar, S.A. 1978. Viruses. Dans : Water and health. Presses de l'Université d'Ottawa (Ontario).

Scipioni, A., Daube, G. et Thiry, E. 2000. Contamination of food and water by human pathogenic viruses. Ann. Med. Vet., 144(4) : 207-221.

Sekla, L., Stakiw, W., Kay, C. et Vanbuckenhout, L. 1980. Enteric viruses in renovated water in Manitoba. Rev. Can. Microbiol., 26 : 518-523.

Staatscourant. 2001. Décret hollandais sur l'eau potable, 9 janvier 2001.

Subrahmanyam, T.P. 1977. Examination of sewage and sewage sludge for enteroviruses. Rapport de recherche n° 52, Environnement Canada.

Thurston-Enriquez, J.A., Haas, C.N., Jacangelo, J., Riley, K. et Gerba, C.P. 2003. Inactivation of feline calicivirus and adenovirus type 40 by UV radiation. Appl. Environ. Microbiol., 69(1) : 577-582.

Turner, M., Istre, G.R., Beauchamp, H., Baum, M. et Arnold, S. 1987. Community outbreak of adenovirus type 7a infections associated with a swimming pool. South. Med. J., 80(6) : 712-715.

Ward, R.L., Bernstein, D., Young, D.E., Sherwood, J., Knowlton, D.R. et Schiff, G.A. 1986. Human rotavirus studies in volunteers: determination of infectious dose and serological response to infection. J. Infect. Dis., 154 : 871-880.