



RECOMMANDATIONS
AU SUJET DE LA

QUALITÉ DES EAUX UTILISÉES À DES FINS RÉCRÉATIVES AU CANADA

**AGENTS PATHOGÈNES
MICROBIOLOGIQUES
ET DANGERS
BIOLOGIQUES**

Document technique



Santé
Canada Health
Canada

Canada

Santé Canada est le ministère fédéral responsable d'aider les Canadiennes et les Canadiens à maintenir et à améliorer leur état de santé. Santé Canada s'est engagé à améliorer la vie de tous les Canadiens et à faire du Canada l'un des pays où les gens sont le plus en santé au monde, comme en témoignent la longévité, les habitudes de vie et l'utilisation efficace du système public de soins de santé.

Also available in English under the title:

Guidelines for Canadian Recreational Water Quality: Microbiological Pathogens and Biological Hazards, Guideline Technical Document.

Pour obtenir plus d'information, veuillez communiquer avec :

Santé Canada
Indice de l'adresse 0900C2
Ottawa (Ontario) K1A 0K9
Tél. : 613-957-2991
Sans frais : 1-866-225-0709
Télééc. : 613-941-5366
ATS : 1-800-465-7735
Courriel : publications-publications@hc-sc.gc.ca

© Sa Majesté le Roi du Chef du Canada, représenté par le ministre de la Santé, 2023

Date de publication : novembre 2023

La présente publication peut être reproduite sans autorisation pour usage personnel ou interne seulement, dans la mesure où la source est indiquée en entier.

Cat. : H144-118/2023F-PDF
ISBN : 978-0-660-68003-3
Pub. : 230434



TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS.....	01
GESTION DES AGENTS PATHOGÈNES MICROBIOLOGIQUES ET DES DANGERS BIOLOGIQUES DANS LES EAUX UTILISÉES À DES FINS RÉCRÉATIVES.....	03
1.0 VALEURS DE RECOMMANDATION ET LEUR APPLICATION.....	04
2.0 MICROORGANISMES PATHOGÈNES.....	06
2.1 Bactéries entériques pathogènes.....	07
2.1.1. Espèces du genre <i>Campylobacter</i> (<i>Campylobacter</i> spp.).....	08
2.1.2. <i>Escherichia coli</i> pathogènes/ <i>Shigella</i> spp.....	09
2.1.3. <i>Salmonella</i> spp.....	12
2.2 Bactéries pathogènes d'origine naturelle.....	14
2.2.1. <i>Legionella</i> spp.....	14
2.2.2. <i>Mycobacterium</i> spp.....	17
2.2.3. <i>Pseudomonas</i> spp.....	18
2.2.4. <i>Aeromonas</i> spp.....	19
2.3 Autres bactéries pathogènes.....	21
2.3.1. <i>Leptospira</i> spp.....	21
2.3.2. <i>Staphylococcus aureus</i>	23
2.4 Virus entériques pathogènes.....	24
2.4.1. Norovirus.....	27
2.4.2. Entérovirus.....	28
2.4.3. Rotavirus.....	29
2.4.4. Adénovirus.....	29
2.4.5. Virus des hépatites.....	30
2.4.6. Astrovirus.....	31
2.5 Protozoaires entériques pathogènes.....	32
2.5.1. <i>Giardia</i>	32
2.5.2. <i>Cryptosporidium</i>	34
2.5.3. Autres protozoaires entériques potentiellement préoccupants.....	36
2.6 Protozoaires libres.....	37
2.6.1. <i>Naegleria fowleri</i>	37
2.6.2. <i>Acanthamoeba</i>	38

3.0 AUTRES DANGERS BIOLOGIQUES	40
3.1 Schistosomes	40
3.1.1. Gestion des risques sanitaires liés aux schistosomes	42
3.2 Plantes vasculaires aquatiques et algues	43
3.2.1. Gestion des risques sanitaires	45
3.3 Autres organismes	45
4.0 RÉFÉRENCES	47
ANNEXE A : LISTE DES ABRÉVIATIONS	69
ANNEXE B : AGENTS MICROBIENS PATHOGÈNES PRÉSENTS DANS LES ZONES D'EAUX RÉCRÉATIVES	70



AVANT-PROPOS

Les Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives au Canada sont composées de plusieurs documents techniques qui tiennent compte des divers facteurs susceptibles de nuire à la salubrité des eaux utilisées à des fins récréatives du point de vue de la santé humaine. Il s'agit notamment de documents techniques sur la compréhension et la gestion des risques dans les eaux récréatives, les organismes indicateurs de contamination fécale, les méthodes microbiologiques de surveillance de la contamination fécale, les cyanobactéries et leurs toxines, les caractéristiques physiques, esthétiques et chimiques, ainsi que les agents pathogènes microbiologiques et les autres dangers biologiques. Ces documents fournissent des valeurs indicatives pour des paramètres précis utilisés pour surveiller les dangers liés à la qualité de l'eau, et ils recommandent des stratégies de surveillance et de gestion des risques fondées sur des données scientifiques.

Par eaux utilisées à des fins récréatives, on entend les plans d'eaux douces, marines ou estuariennes naturelles utilisés à de telles fins. Cela comprend donc les lacs, les rivières et les ouvrages (p. ex. les carrières, les lacs artificiels) qui sont remplis d'eaux naturelles non traitées. Les divers ordres de gouvernement peuvent choisir d'appliquer ces recommandations aux eaux naturelles qui font l'objet d'un traitement limité (p. ex. l'application à court terme d'un désinfectant pour une manifestation sportive), bien que l'application des recommandations dans ces scénarios doive se faire avec prudence, car la désinfection élimine plus facilement les organismes indicateurs que d'autres microorganismes pathogènes (comme les protozoaires pathogènes). Les activités récréatives qui pourraient présenter un risque pour la santé humaine à la suite d'une immersion ou d'une ingestion intentionnelle ou accidentelle comprennent les activités entraînant un contact primaire (p. ex. la natation, la baignade, le pataugeage, la planche à voile et le ski nautique) et les activités entraînant un contact secondaire (p. ex. le canot ou la pêche).

Chaque document technique s'appuie sur des recherches scientifiques en cours et publiées concernant les effets sur la santé, les effets esthétiques et les considérations relatives à la gestion des plages. La qualité des eaux utilisées à des fins récréatives relève

généralement de la compétence des provinces et des territoires et, par conséquent, les politiques et les décisions de gestion peuvent varier d'un gouvernement à l'autre. Les documents techniques servent à guider les décisions des autorités responsables de la gestion des eaux utilisées à des fins récréatives.

Pour obtenir la liste complète des documents techniques disponibles, veuillez consulter le document de synthèse des *Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives au Canada* sur le site Web de Santé Canada (en cours de publication).



GESTION DES AGENTS PATHOGÈNES MICROBIOLOGIQUES ET DES DANGERS BIOLOGIQUES DANS LES EAUX UTILISÉES À DES FINS RÉCRÉATIVES

Le présent document décrit les risques potentiels pour la santé découlant de l'exposition à des microorganismes pathogènes et à d'autres dangers biologiques associés aux eaux naturelles utilisées à des fins récréatives. Il ne s'applique pas aux installations aquatiques récréatives construites comme les piscines, les parcs aquatiques, ni les autres installations du même genre.

Le but est de fournir des renseignements généraux aux personnes intéressées par la qualité et la salubrité des eaux utilisées à des fins récréatives. La meilleure stratégie de protection de la santé publique contre ces dangers consiste en la mise en œuvre d'une approche de gestion préventive des risques axée sur la détermination et la maîtrise des dangers liés à la qualité de l'eau et des risques connexes avant que l'utilisateur n'entre en contact avec les eaux récréatives. Cette approche consiste en un système intégré de procédures, de mesures et d'outils qui s'appliquent à tous les domaines de gestion relevés (p. ex. protection des sources, surveillance, détermination et contrôle des dangers, communication, consultation) visant à réduire le risque d'exposition humaine aux dangers liés à la qualité des eaux récréatives. De plus amples renseignements sur la gestion des risques associés aux eaux utilisées à des fins récréatives se trouvent dans le document technique *Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives au Canada : Comprendre et gérer les risques dans les eaux récréatives* (Santé Canada, 2023b).

1.0 VALEURS DE RECOMMANDATION ET LEUR APPLICATION

Aucune valeur de recommandation n'a été établie pour les agents pathogènes microbiologiques ou les autres dangers biologiques décrits dans ce document. Une approche de gestion préventive des risques qui intègre des procédures, des mesures et des outils visant à réduire collectivement le risque d'exposition humaine à ces dangers constitue l'approche privilégiée pour assurer la protection de la santé publique. De plus amples renseignements sur cette approche se trouvent dans le document technique *Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives au Canada : Comprendre et gérer les risques dans les eaux récréatives* (Santé Canada, 2023b).

La détection des microorganismes pathogènes dans les eaux récréatives présente actuellement des défis trop grands pour qu'on puisse recommander qu'elle fasse partie d'un programme de surveillance régulière. Les analyses visant à détecter la présence d'agents pathogènes ou de dangers biologiques dans les eaux utilisées à des fins récréatives ne doivent être effectuées que lorsqu'il existe des preuves épidémiologiques ou d'autres types de preuves (p. ex. des signes visibles de détérioration) suggérant que cela est nécessaire. Aux fins de la protection de la santé publique et dans le cadre d'une approche de gestion des risques, les eaux récréatives font plutôt l'objet d'une surveillance des indicateurs fécaux (p. ex. *Escherichia coli*, entérocoques), puisque ceux-ci indiquent une possible contamination fécale et un risque potentiellement élevé associé aux agents pathogènes entériques. Des valeurs de recommandation ont été établies pour *Escherichia coli* (*E. coli*) et les entérocoques et publiées dans le document technique *Indicateurs de contamination fécale* (Santé Canada, 2023a). Même si des concentrations d'*E. coli* et d'entérocoques inférieures aux valeurs de recommandation indiquent un niveau de risque acceptable, cela ne signifie pas pour autant que tous les microorganismes pathogènes sont absents. D'autres renseignements sur les indicateurs de contamination fécale figurent dans le document technique sur les indicateurs fécaux (Santé Canada, 2023a). Les agents pathogènes non entériques (p. ex. microorganismes naturellement présents ou libres) n'ont aucun lien avec la contamination fécale. Les organismes indicateurs de contamination fécale ne sont donc pas liés à leur présence. Les agents pathogènes fécaux sont une cause plus fréquente de maladie chez l'humain que les agents pathogènes non entériques dans les eaux utilisées à des fins récréatives.



En règle générale, les zones utilisées aux fins des loisirs aquatiques devraient autant que possible rester exemptes de ces microorganismes pathogènes et des autres dangers biologiques. La pratique d'activités récréatives, notamment la natation, le barbotage et toute autre activité aquatique, comportera toujours un certain degré de risque. Les décisions en matière de santé publique devraient tenir compte à la fois des risques accrus pour la santé, d'une part, et de la détente et de l'exercice associés à ces activités, d'autre part. Les activités récréatives de contact primaire ne devraient pas avoir lieu dans les eaux où les autorités responsables estiment que la présence de microorganismes pathogènes et d'autres dangers biologiques constitue un risque inacceptable pour la santé et la sécurité.

Le présent guide technique vise à fournir aux autorités de réglementation et de gestion des renseignements sur certains agents pathogènes microbiologiques et dangers biologiques qui peuvent exister dans les plans d'eaux douces, marines ou estuariennes naturelles au Canada utilisés à des fins récréatives. Il est fondé sur les connaissances actuelles. Toutefois, la détection et la caractérisation d'agents pathogènes connus ou émergents sont des domaines qui évoluent rapidement. En outre, de nombreuses maladies entériques sont sous-déclarées. Pour celles qui sont déclarées, il arrive souvent que la source d'exposition ne soit pas mentionnée, ce qui rend difficile l'évaluation de l'ampleur des maladies d'origine hydrique au Canada (Murphy et coll., 2016). La liste des agents pathogènes présentée ne se veut pas non plus exhaustive; les autorités responsables pourraient vouloir fournir des renseignements sur d'autres organismes en fonction des intérêts régionaux. Les agents pathogènes répertoriés ne sont pas présents dans tous les milieux récréatifs ni de façon continue. Dans la plupart des milieux récréatifs naturels, la qualité de l'eau varie d'une journée à l'autre, mais également au cours d'une journée donnée. Les changements climatiques au Canada peuvent également avoir une incidence sur les types et les quantités d'agents pathogènes présents dans certaines sources d'eau.

Ce document ne contient pas de renseignements sur les cyanobactéries (aussi appelées algues bleu-vert), mais on les trouvera dans le document technique *Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives au Canada – Les cyanobactéries et leurs toxines* (Santé Canada, 2022b). Des renseignements supplémentaires sur bon nombre de ces organismes se trouvent également dans les documents techniques des *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada* (Santé Canada, 2019a, 2019b, 2022a).

2.0 MICROORGANISMES PATHOGÈNES

De nombreux microorganismes pathogènes peuvent être présents dans des milieux récréatifs naturels. Les trois principaux types sont les bactéries, les virus et les protozoaires. La présence de nombre d'entre eux résulte de la contamination des eaux par des déchets humains ou animaux, tandis que d'autres sont des microorganismes libres naturellement présents dans les milieux aquatiques à vocation récréative. Les champignons constituent un quatrième type qui peut être préoccupant sur certaines plages, particulièrement pour le sable des plages. Il convient toutefois de noter que les recherches visant à caractériser les risques potentiels liés aux champignons se poursuivent (Brandão et coll., 2021; Novak Babič et coll., 2022).

Les agents pathogènes entériques sont une cause fréquente de maladie découlant d'une exposition à des eaux récréatives. Les eaux usées sont la principale voie d'entrée des agents entéropathogènes infectieux pour les humains dans les eaux récréatives (OMS, 2021). Les sources ponctuelles de pollution telles que les déversements d'eaux municipales ou les trop-pleins d'égout unitaire sont les principales sources de contamination par les eaux usées. Les sources non ponctuelles susceptibles de contribuer aux charges fécales des eaux environnementales sont les collecteurs d'eaux pluviales, les déversoirs (qui captent les eaux de ruissellement provenant des zones urbaines et rurales) ainsi que les fosses septiques défectueuses ou mal conçues. Les baigneurs eux-mêmes, en particulier les jeunes enfants, peuvent constituer une source de contamination par leurs selles ou le rejet accidentel de matières fécales. Les déchets d'origine animale, qui peuvent aussi contenir beaucoup de bactéries et de protozoaires pathogènes, ne posent toutefois qu'un faible risque de transmission des virus entériques à l'humain (Cliver et Moe, 2004; Percival et coll., 2004; Wong et coll., 2012; Santé Canada, 2019a).

Le sable de plage peut également constituer un réservoir pour bon nombre de ces mêmes microorganismes pathogènes susceptibles d'être présents dans les eaux utilisées à des fins récréatives. Des espèces pathogènes fécales et non fécales de bactéries, de virus, de protozoaires et de champignons ont été isolées du sable (OMS, 2021; Solo-Gabriele et coll., 2016; Whitman et coll., 2014; Shah et coll., 2011). Les agents pathogènes sont déposés sur le sable de plage par diverses voies, telles que la contamination directe par des excréments d'oiseaux et d'animaux, le ruissellement des terres et l'action des vagues. Les personnes qui passent du temps à jouer dans le sable des plages affichent des taux plus élevés de maladies gastro-intestinales que les autres (Solo-Gabriele et coll., 2016; Heaney et coll., 2009, 2012).



La probabilité que des agents pathogènes soient présents dans les plans d'eau utilisés à des fins récréatives peut également augmenter dans certaines régions en raison du changement climatique. On s'attend à ce que le Canada connaisse une intensification de certains phénomènes météorologiques extrêmes, notamment des précipitations plus intenses sous forme de pluie accompagnées d'une hausse des températures moyennes (Bush et Lemmen, 2019; Berry et Schnitter, 2022). En raison d'événements pluvieux, par exemple, un plus grand nombre d'agents pathogènes entériques pourraient pénétrer dans les plans d'eau utilisés à des fins récréatives par les trop-pleins d'égout combinés et se déverser dans les voies navigables ou causer du ruissellement terrestre plus intense. L'augmentation des températures moyennes de l'air peut réchauffer les eaux qui, à leur tour, peuvent favoriser la croissance d'agents pathogènes thermosensibles. Les autorités responsables devraient travailler à identifier les agents pathogènes qui peuvent avoir une incidence sur les zones d'eaux utilisées à des fins récréatives dans leurs administrations. Cela comprend les agents pathogènes qui peuvent finir par présenter un risque plus élevé pour la santé en raison des changements climatiques.

De plus amples renseignements sur la gestion des risques associés aux microorganismes pathogènes se trouvent dans le document technique *Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives au Canada : Comprendre et gérer les risques dans les eaux récréatives* (Santé Canada, 2023b).

2.1 Bactéries entériques pathogènes

Les bactéries entériques pathogènes provenant des déchets fécaux d'origine humaine ou animale peuvent pénétrer dans les eaux récréatives par de nombreuses voies possibles et être influencées par les événements climatiques. La transmission à l'humain intervient par la voie oro-fécale, à la suite de l'ingestion imprévue ou accidentelle d'eau ou de sable contaminé. Les symptômes gastro-intestinaux comptent parmi les manifestations morbides les plus communes en cas d'infection par des bactéries entériques pathogènes, bien que certains agents pathogènes puissent provoquer des maladies ayant des conséquences plus graves. L'annexe B présente des renseignements sommaires sur les bactéries entériques pathogènes. *E. coli* et les entérocoques sont les principales bactéries fécales indicatrices utilisées pour déterminer le risque de maladie entérique (Santé Canada, 2023a) causée par des agents pathogènes entériques.

2.1.1. Espèces du genre *Campylobacter* (*Campylobacter* spp.)

Les bactéries du genre *Campylobacter* (classe : *Epsilonproteobacteria*) sont des bactéries à Gram négatif, mobiles, asporulées, en forme de bâtonnet incurvé, spiralé ou en forme de S. Ce sont des organismes thermophiles (leurs conditions idéales de croissance se situent à 42 °C et ils ne peuvent se développer en dessous de 30 °C) et microaérophiles (c.-à-d. qu'ils survivent le plus facilement dans des conditions partiellement anaérobies). Le genre *Campylobacter* compte plus de 30 espèces (LPSN, 2019); toutefois, *C. jejuni* et *C. coli* sont celles qui sont principalement préoccupantes pour la santé humaine en milieu aquatique.

Campylobacter spp. sont majoritairement considérés comme des agents zoonotiques (Fricker, 2006), mais peuvent aussi être transmis par des matières fécales humaines. Ils font partie de la flore intestinale normale d'un vaste éventail d'animaux domestiques (volaille, bovins, ovins, animaux de compagnie) et sauvages, en particulier les oiseaux aquatiques (Moore et coll., 2002; Pond, 2005; Fricker, 2006; Wagenaar et coll., 2015; Backert et coll., 2017). Parmi les sources importantes de contamination fécale, citons les eaux de ruissellement de surface contaminées par des déchets d'élevage ou des excréments d'animaux sauvages (p. ex. les oiseaux aquatiques), les déjections directes des oiseaux sauvages aquatiques (p. ex. les mouettes et goélands et les oies et bernaches) qui passent la nuit sur les plans d'eau et les eaux usées domestiques.

Les symptômes de l'entérite à *Campylobacter* comprennent des débâcles diarrhéiques aqueuses (sanglantes ou non), des crampes, des douleurs abdominales, des frissons et de la fièvre. La période d'incubation est habituellement d'un à cinq jours. En règle générale, la maladie évolue spontanément vers la guérison; il faut compter une dizaine de jours avant le rétablissement (Backert et coll., 2017). Des antibiotiques ne devraient être prescrits que dans les cas graves (Wagenaar et coll., 2015). Les Centers for Disease Control and Prevention (centres pour le contrôle et la prévention des maladies ou CDC) ont classé les *Campylobacter* spp. résistantes à certains antibiotiques comme une « menace grave » (CDC, 2019 a). Des infections asymptomatiques (celles pour lesquelles il n'y a aucune manifestation de la maladie) par *Campylobacter* spp. sont également possibles (Percival et Williams, 2014b). L'information sur la relation dose-réponse concernant l'infection et la maladie causées par *Campylobacter* n'est pas entièrement comprise, mais des données semblent indiquer une réaction à la maladie en fonction de la dose chez les sujets infectés (Teunis et coll., 2005; 2018). Une forte probabilité d'infection et de maladie a été observée à des doses de 500 à 800 cellules de *C. jejuni* dans une étude sur l'alimentation humaine (Medema et coll., 1996). Des renseignements provenant d'une éclosion d'origine alimentaire semblent indiquer que la dose infectieuse pourrait être encore plus faible pour certaines souches ou pour les enfants (Teunis et coll., 2005; 2018). Certaines infections graves peuvent conduire à l'hospitalisation et mettre la vie en danger, mais les décès sont rares et se limitent généralement aux nourrissons, aux personnes âgées ou aux sujets atteints d'autres maladies sous-jacentes (Pond, 2005).



Certaines complications postérieures à l'infection ont été associées à l'entérite à *Campylobacter*, notamment le syndrome de Guillain-Barré et l'arthrite réactionnelle; il s'agit cependant de cas jugés rares (Backert et coll., 2017; Percival et Williams, 2014b). Les données probantes suggèrent également que l'infection à *Campylobacter* spp. pourrait être associée au développement de maladies inflammatoires de l'intestin comme la maladie de Crohn, la colite ulcéreuse et le syndrome du côlon irritable (Backert et coll., 2017; Huang et coll., 2015).

Bien que les *Campylobacter* spp. aient été isolés dans les eaux douces et marines en Amérique du Nord (Hellein et coll., 2011; Khan et coll., 2013a, b; Oster et coll., 2014; Guy et coll., 2018), il n'y a eu quasiment aucune éclosion de maladies gastro-intestinales qui leur soit associée du fait d'activités menées dans des eaux récréatives. Entre 2000 et 2014, les *Campylobacter* spp. ont été désignés comme l'unique agent causal d'une éclosion de gastro-entérite survenue dans des eaux récréatives aux États-Unis, ainsi que d'une éclosion au cours de laquelle plusieurs agents pathogènes avaient été mis en cause (Graciaa et coll., 2018). Des flambées ont également été liées à de l'eau potable (Santé Canada, 2022). Aucune éclosion de campylobactériose n'a été enregistrée dans les eaux canadiennes à vocation récréative. Au Canada et à l'étranger, les cas de campylobactériose sont surtout sporadiques, la plupart des maladies étant liées à la consommation d'aliments contaminés (Huang et coll., 2015; Wagenaar et coll., 2015; Pintar et coll., 2017). Toutefois, le contact avec l'eau dans un contexte récréatif est un risque d'exposition potentiel (Denno et coll., 2009; Pintar et coll., 2017; Ravel et coll., 2017) et a été associé à des cas sporadiques à l'échelle internationale (McBride et coll., 2002; Schönberg-Norio et coll., 2004).

2.1.2. *Escherichia coli* pathogènes/*Shigella* spp.

Les bactéries *Escherichia coli* (famille : *Enterobacteriaceae*; classe : *Gammaproteobacteria*) sont des bactéries à Gram négatif, mobiles ou non, anaérobies facultatives, asporulées et en forme de bâtonnet qui sont naturellement présentes dans l'intestin des humains et des animaux. Elles peuvent se développer dans un grand intervalle de températures (entre 7 et 45 °C), la température optimale de croissance étant de 37 °C (Ishii et Sadowsky, 2008; Percival et Williams, 2014c). La vaste majorité des souches d'*E. coli* sont inoffensives et servent d'indicateurs de contamination fécale. En revanche, plusieurs sérotypes ou souches sont dotés de facteurs de virulence qui en font des agents pathogènes pour l'humain. Les souches entériques pathogènes causant des infections gastro-intestinales se divisent en six groupes fonctionnels selon leurs caractéristiques sérologiques ou de virulence : les *E. coli* entérohémorragiques (ECEH), les *E. coli* entérotoxigènes (ECET), les *E. coli* entéroinvasives (ECEI), les *E. coli* entérotoxigènes (ECEP), les *E. coli* entéroagréatives (ECEA) et les *E. coli* à adhésion diffuse (ECAD) (Croxen et coll., 2013; Percival et Williams, 2014c). Certaines souches d'*E. coli*, comme les *E. coli* uropathogènes (ECUP), sont également responsables d'infections extra-intestinales (Abe et coll., 2008).

Des analyses poussées par typage et séquençage moléculaire ont démontré que les *Shigella* spp. faisaient également partie du pathotype ECEI (Croxen et coll., 2013; Robins-Browne et coll., 2016). Le genre *Shigella* et la shigellose (soit la maladie causée par les *Shigella* spp.) sont encore nommés ainsi pour des raisons historiques (Croxen et coll., 2013). Normalement, il existe quatre grandes espèces de *Shigella* spp. : *S. sonnei* (1 sérotype), *S. flexneri* (6 sérotypes), *S. boydii* (15 sérotypes) et *S. dysenteriae* (10 sérotypes connus). Deux espèces, *S. sonnei* et *S. flexneri*, sont responsables de la grande majorité des maladies provoquées par les bactéries *Shigella* en Amérique du Nord (CDC, 2005a), représentant 95 % des cas d'infection à *Shigella* déclarés au Canada (gouvernement du Canada, 2020). Les autres *Shigella* spp. sont peu fréquentes, tout en restant d'importantes causes de morbidité dans les pays en développement (CDC, 2005a).

Les principales sources d'*E. coli* pathogène varient d'un groupe d'*E. coli* à l'autre. Les ECEH sont des agents pathogènes zoonotiques, et les bovins sont considérés comme le principal réservoir de ces microorganismes, les déchets d'origine humaine étant également reconnus comme une source importante (Croxen et coll., 2013; Percival et Williams, 2014c). Quant aux autres grands groupes d'*E. coli* pathogènes, dont *Shigella* spp., les eaux usées domestiques constituent la principale source de contamination. Dans les eaux récréatives, les sources d'eaux usées domestiques peuvent comprendre des sources évidentes comme les rejets d'eaux usées municipales, de même que des sources moins évidentes comme les déjections des baigneurs infectés (Kramer et coll., 1996; Levy et coll., 1998). Comme les ECEH sont des agents pathogènes zoonotiques, les eaux de ruissellement de surface contaminées par des déchets d'élevage sont une source importante de contamination fécale. Les souches d'*E. coli* liées à des infections extra-intestinales sont habituellement celles qui font partie de la flore commensale des intestins des humains, mais qui ont des effets indésirables sur la santé lorsqu'elles se retrouvent ailleurs que dans le système intestinal, par exemple, les voies urinaires (Shah, 2019).

Les *E. coli* pathogènes entériques et les *Shigella* spp. provoquent des maladies moyennement graves et spontanément résolutive à graves et potentiellement mortelles, selon le groupe et la souche incriminés. Le premier symptôme est une diarrhée aqueuse ou sanglante, accompagnée de douleurs abdominales et de fièvre. La période d'incubation est d'un à trois jours, tandis que l'infection peut durer d'une à deux semaines (Percival et Williams, 2014c, 2014g). Dans la plupart des cas, les infections diarrhéiques sont spontanément résolutive. Le traitement consiste habituellement en une réhydratation par voie orale, pour préserver l'équilibre des liquides et des électrolytes. Dans certains cas, les personnes peuvent devenir des porteurs asymptomatiques capables d'éliminer les microorganismes dans leurs matières fécales durant des semaines, voire des mois, après l'infection (Croxen et coll., 2013; Percival et Williams, 2014c, 2014g). Les souches d'*E. coli* extra-intestinales, comme les ECUP, sont associées aux infections urinaires.



Certaines infections peuvent évoluer vers des affections plus graves et potentiellement mortelles. Le sérotype 1 de *S. dysenteriae*, qui produit des shigatoxines, est une cause majeure de dysenterie dans les pays en développement, mais rare en Amérique du Nord. La souche ECEH (synonymes : *Escherichia coli* producteur de shigatoxines et *Escherichia coli* vérotoxino-gène) est aussi capable de produire des toxines de type Shiga semblables à celles produites par *S. dysenteriae*. La souche *E. coli* O157:H7 est le sérotype d'ECEH le plus répandu. Les infections à ECEH provoquent des colites hémorragiques, caractérisées par des diarrhées très sanglantes, de fortes crampes et douleurs abdominales, et une absence fréquente de fièvre. On estime que 4 à 17 % de tous les cas d'infection à ECEH peuvent évoluer vers ce qu'on appelle un syndrome hémolytique et urémique (SHU), une affection potentiellement mortelle qui se traduit par une destruction massive des globules rouges et une insuffisance rénale (Croxen et coll., 2013; Keithlin et coll., 2014). Les enfants, les personnes âgées et les personnes immunodéprimées présentent un risque accru de développer un SHU.

La dose d'*E. coli* pathogènes/*Shigella* spp. susceptible de provoquer une infection est estimée à moins de 100 à 1 000 organismes pour les ECEH et les ECEI/*Shigella* spp. à plus d'un million à 10 milliards d'organismes pour les autres groupes (Kothary et Babu, 2001; Croxen et coll., 2013; Percival et Williams, 2014c, 2014g).

Les ECEH et les *Shigella* spp. figurent parmi les principales causes de maladies gastro-intestinales bactériennes au Canada, aux États-Unis et en Europe et découlent souvent d'expositions liées à des aliments ou à des voyages en Amérique Nord (Santé Canada, 2022a). Ces microorganismes font également partie du groupe des *E. coli* pathogènes/*Shigella* spp. le plus souvent mis en cause dans les maladies associées aux eaux récréatives. Selon des données de surveillance publiées par les Centers for Disease Control and Prevention (CDC) des États-Unis pour la période de 2000 à 2014, les *E. coli* pathogènes étaient associés à 14 % (19 cas sur 140) et les *Shigella* spp. à 10 % (14 cas sur 140) du nombre total d'éclosions de maladies gastro-intestinales signalées relativement aux eaux naturelles (Graciaa et coll., 2018; CDC, 2020). Des flambées ont également été liées à de l'eau potable (Santé Canada, 2022). La majorité des éclosions attribuables à *E. coli* ont été causées par *E. coli* O157:H7. La majorité des éclosions à *Shigella* ont été liées à *S. sonnei*.

Au Canada, très peu d'éclosions à *E. coli*/*Shigella* spp. associées à des eaux récréatives ont été enregistrées jusqu'à présent. En août 2001, une éclosion de maladie due à *E. coli* O157:H7 a frappé quatre enfants qui s'étaient baignés à une plage publique de Montréal (Bruneau et coll., 2004). Il a été établi que les échantillons d'eau prélevés toutes les semaines à l'époque de l'éclosion entraient dans les limites définies par la province de Québec pour la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives. On a avancé que la transmission de ces organismes a pu être favorisée par le nombre important de baigneurs

et la faible profondeur de l'eau dans la zone de baignade. Plus récemment, en septembre 2020, sept cas confirmés d'infection à *E. coli* étaient liés à une zone de baignade d'une aire de conservation. La plupart des cas ont été signalés chez des personnes de moins de 12 ans (Ville de Hamilton, 2020).

2.1.3. *Salmonella* spp.

Les bactéries du genre *Salmonella* (famille : *Enterobacteriaceae*; classe : *Gammaproteobacteria*) sont des bactéries à Gram négatif, anaérobies facultatives, mobiles, asporulées et en forme de bâtonnet qui se développent à des températures variant de 5 à 47 °C, la température optimale se situant entre 35 et 37 °C (Graziani et coll., 2017). Le genre *Salmonella* compte deux espèces : *S. enterica* et *S. bongori* (Percival et coll., 2004). *S. enterica* se divise à son tour en six sous-espèces (*S. enterica* subsp.), à savoir *enterica*, *salamae*, *arizonae*, *diarizonae*, *houtenae* et *indica*, et regroupe plus de 2 500 sérotypes (Percival et Williams, 2014f; Andino et Hanning, 2015). La plupart des sérotypes rencontrés dans les cas de gastro-entérite chez l'humain appartiennent à la sous-espèce *S. enterica* subsp. *enterica* (Lightfoot, 2004). Lorsqu'on fait référence à *Salmonella*, il est courant d'utiliser le nom du sérotype au lieu du nom de l'espèce. On utilisera donc le nom *Salmonella* sérotype Enteridis plutôt que *S. enterica* subsp. *enterica* sérovar Enteritidis.

Les bactéries *Salmonella* qui sont importantes pour la santé humaine sont généralement réparties en deux groupes principaux selon le type de maladie qu'elles causent. Les *Salmonella* typhoïdiques (*S. enterica* sérotype Typhi et *S. enterica* sérotype Paratyphi) sont les agents responsables de la fièvre entérique, une maladie grave et potentiellement mortelle (Sanchez-Vargas et coll., 2011). Les humains constituent le seul réservoir connu de sérotypes de *Salmonella* typhoïdiques (Percival et Williams, 2014f). Les *Salmonella* non typhoïdiques sont un grand groupe qui comporte tous les autres sérotypes de *S. enterica* pouvant entraîner des maladies gastro-intestinales de gravité variable (Sanchez-Vargas et coll., 2011). Les *Salmonella* non typhoïdiques sont considérées comme des agents zoonotiques. Les réservoirs de ces bactéries sont notamment la volaille, les porcins, les oiseaux, les bovins, les rongeurs, les tortues, les chiens et les chats (Percival et coll., 2004; Graziani et coll., 2017). Les humains en convalescence peuvent également constituer une source de *Salmonella*, et des infections asymptomatiques sont également possibles (Percival et Williams, 2014f; Graziani et coll., 2017).



La gastro-entérite est de loin le type de maladie le plus fréquemment associé à *Salmonella*. Les principaux symptômes des infections à *Salmonella* non typhoïdiques sont des diarrhées légères à graves, des nausées et des vomissements. Ils apparaissent généralement entre 12 et 72 heures après l'infection, voire plus rapidement en cas d'ingestion d'un grand nombre de cellules (Percival et Williams, 2014f). Les enfants présentent le taux d'incidence le plus élevé d'infections à *Salmonella* (Christenson, 2013; ASPC, 2018b). La maladie est généralement bénigne et spontanément résolutive, d'une durée moyenne de quatre à sept jours. Dans les cas graves, l'infection peut se répandre à d'autres parties du corps (p. ex. le sang, l'urine, les articulations et le cerveau) et s'avérer mortelle (Percival et Williams, 2014f; Sanchez-Vargas et coll., 2011). Les infections graves et mortelles sont rares et sont plus fréquemment observées chez les très jeunes enfants, les personnes très âgées et les sujets immunodéprimés ou atteints d'une maladie sous-jacente (Sanchez-Vargas et coll., 2011; Dekker et Frank, 2015). Le traitement des infections à *Salmonella* non typhoïdiques consiste à remplacer les liquides et électrolytes perdus; des antibiotiques peuvent être prescrits, mais seulement dans les cas graves. Certaines souches de *Salmonella* présentent une résistance aux antibiotiques. L'Agence de la santé publique du Canada, les CDC des États-Unis et l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) ont catégorisé les *Salmonella* non typhoïdiques résistantes à la ciprofloxacine, à la ceftriaxone ou à plusieurs classes (soit plus de trois) de médicaments comme des menaces à la santé publique présentant une importance grave à critique (CDC 2013a; OMS, 2017, ASPC, 2018a). D'après des études sur l'infectivité des *Salmonella* spp., la dose médiane pour les espèces non typhoïdiques pourrait varier entre moins de 100 organismes et un maximum de 100 000 à 10 milliards d'organismes (Hunter, 1997; Pond, 2005; Kothary et Babu, 2001).

La fièvre entérique (aussi appelée fièvre typhoïde ou paratyphoïde) est une forme plus grave, et souvent mortelle, de salmonellose causée par *S. Typhi* et *S. Paratyphi*. Elle se manifeste par de fortes fièvres prolongées, des vomissements, des maux de tête et de nombreuses complications potentiellement mortelles (Sanchez-Vargas et coll., 2011). Les éclosions de fièvre entérique d'origine hydrique sont plus fréquentes dans les pays en développement où l'entassement des lieux de vie et le manque d'hygiène prévalent et elles sont souvent associées au traitement insuffisant des approvisionnements en eau potable. Les cas sont rares en Amérique du Nord.

Les *Salmonella* spp. sont la deuxième cause de maladies gastro-intestinales bactériennes au Canada, où la plupart des cas sont sporadiques ou associés à la consommation d'aliments contaminés, à un contact avec une autre personne ou à un contact direct avec des animaux (Santé Canada, 2022a). L'ingestion d'eau contaminée est aussi un mode d'infection connu à *Salmonella* non typhoïdiques (Graziani et coll., 2017). Bien que les *Salmonella* spp. aient été détectées dans les eaux de surface au Canada, aux États-Unis et ailleurs (Levantesi et coll., 2012; Jokinen et coll., 2015; Kadykalo et coll., 2020), selon les données de surveillance des CDC des États-Unis pour les années 1992 à 2014, elles n'ont jamais été citées comme agent causal des éclosions de gastro-entérite d'origine hydrique signalées pendant cette période (Garciaa et coll., 2018; CDC, 2020). Au Canada, aucune éclosion morbide due aux *Salmonella* dans les eaux récréatives canadiennes n'a été documentée.

2.2 Bactéries pathogènes d'origine naturelle

Les bactéries pathogènes d'origine naturelle sont des microorganismes libres naturellement présents dans l'environnement. Contrairement aux agents pathogènes entériques, ces bactéries peuvent survivre dans le milieu naturel dans des conditions favorables. Si ces microorganismes sont présents en nombre suffisant dans un plan d'eau, ils peuvent être transmis à l'homme par inhalation, ingestion ou contact direct du corps avec l'eau, selon le microorganisme. On en trouve également dans le sable de plage. Les effets du changement climatique sur la présence de ces microorganismes dans le milieu naturel varieront probablement selon le lieu et l'agent pathogène. Les bactéries pathogènes d'origine naturelle sont diverses et provoquent toute une série de maladies, notamment des maladies gastro-intestinales et respiratoires et des infections des yeux, des oreilles ou de la peau. Un résumé des bactéries pathogènes naturellement présentes se trouve à l'annexe B. Comme il ne s'agit pas d'agents pathogènes entériques, il ne faut pas s'attendre à une bonne corrélation entre la présence des indicateurs fécaux et la leur. On ne connaît aucun indicateur microbiologique pour ces agents pathogènes.

2.2.1. *Legionella* spp.

Le genre bactérien *Legionella* (famille : *Legionellaceae*; classe : *Gammaproteobacteria*) compte 61 espèces et trois sous-espèces (LPSN, 2019). Les *Legionella* sont des bactéries à Gram négatif, aérobies strictes, thermotolérantes, mobiles et en forme de bâtonnets courts qui ont des besoins nutritionnels stricts quand elles sont cultivées en laboratoire.



Les *Legionella* spp. pathogènes sont des agents pathogènes opportunistes qui causent des maladies respiratoires sous deux formes principales : la maladie du légionnaire et la fièvre de Pontiac (Percival et Williams, 2014d; NASEM, 2020). La maladie du légionnaire est une forme d'affection respiratoire plus grave et parfois mortelle qui nécessite un traitement par antibiotiques (Fields et coll., 2002; Edelstein et Roy, 2015, Castillo et coll., 2016; Wilson et coll., 2018). La fièvre de Pontiac est une infection bénigne, sans pneumonie, caractérisée par des symptômes s'apparentant à ceux de la grippe. La plupart des sujets atteints de fièvre de Pontiac ne tombent pas suffisamment malades pour nécessiter des soins médicaux et aucun traitement antibiotique n'est habituellement requis (Edelstein et Roy, 2015, Castillo et coll., 2016). La maladie du légionnaire survient davantage chez les adultes âgés ou chez les personnes immunodéprimées ou qui présentent des problèmes de santé sous-jacents. Des renseignements supplémentaires au sujet des répercussions de *Legionella* spp. sur la santé figurent dans le document de Santé Canada intitulé *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : Conseils sur les agents pathogènes d'origine hydrique* (2022a).

Les maladies provoquées par *Legionella* spp. sont toutes nommées légionelloses. *Legionella pneumophila* (essentiellement le sérotype 1), l'agent pathogène le plus commun et le plus virulent du genre *Legionella*, est responsable de 65 à 90 % de tous les cas de maladie du légionnaire (Fields et coll., 2002; Edelstein et Roy, 2015; Percival et Williams, 2014d, Prussin II et coll., 2017). Toutes les espèces de *Legionella* sont soupçonnées de pouvoir provoquer la maladie, et au moins 30 des espèces identifiées ont été mises en cause dans des maladies chez l'humain (Hall, 2006).

Les *Legionella* spp. se transmettent principalement par inhalation d'aérosols contenant les bactéries. Elles ne se transmettent habituellement pas d'une personne à l'autre (Percival et Williams, 2014e; Edelstein et Roy, 2015). Bien que beaucoup de gens soient exposés à *Legionella*, peu contractent la maladie (Castillo et coll., 2016). Aucun consensus entre spécialistes ne permet d'affirmer qu'il existe un seuil détectable de concentration de *Legionella* en dessous duquel il n'y aurait aucun risque d'infection (NASEM, 2020).

Les bactéries du genre *Legionella* ont deux habitats : un réservoir primaire dans le milieu naturel et un habitat secondaire dans les ouvrages artificiels d'approvisionnement en eau (NASEM, 2020). Dans le milieu naturel, les *Legionella* spp. sont présentes dans les systèmes d'eau douce. Elles se développent normalement à des températures variant entre 25 et 45 °C (température optimale de 25 à 35 °C), mais peuvent survivre à des températures beaucoup plus élevées (jusqu'à 70 °C) (Allegra et coll., 2008; Cervero-Aragó, 2015; 2019). On peut les isoler dans une large gamme d'habitats d'eau douce, notamment les sédiments, les lacs, les rivières et les mares thermales naturelles à des températures allant jusqu'à 60 °C (Percival et Williams, 2014 d; Burillo et coll., 2017; NASEM, 2020). Le milieu

marin ne présente généralement pas les conditions propices à leur prolifération. La croissance des *Legionella* spp. a lieu principalement à l'intérieur de protozoaires libres vivant dans les biofilms (Devos et coll., 2005; NASEM, 2020). *Naegleria* ou *Acanthamoeba* sont des protozoaires dulcicoles libres qui sont des hôtes naturels de *Legionella* spp. Ils leur offrent un milieu protecteur contre les conditions hostiles (comme des températures élevées), ainsi qu'une source de nutriments et un moyen de transport (Thomas et Ashbolt, 2011; Bartrand et coll., 2014; Percival et Williams, 2014e; Siddiqui et coll., 2016; NASEM, 2020). Le passage dans les protozoaires libres augmenterait également la virulence des microorganismes résistants aux amibes, comme *Legionella* (Visvesvara et coll., 2007; Thomas et Ashbolt, 2011; Chalmers, 2014a). Les matières fécales humaines et animales ne sont pas considérées comme des sources de *Legionella*, bien que ces bactéries puissent être détectées dans les selles de personnes infectées présentant des symptômes diarrhéiques. Les animaux peuvent être infectés par *Legionella* spp., mais la transmission zoonotique de ces bactéries n'a pas encore été documentée (Surman-Lee et coll., 2007; Edelstein et Roy, 2015).

De manière générale, les *Legionella* spp. sont présentes en faibles quantités dans le milieu aquatique. Une recension des éclosions associées à des eaux récréatives (notamment des eaux naturelles et des eaux traitées) a permis de conclure que le risque lié aux rivières et aux lacs naturels semble négligeable (Leoni et coll., 2018). Certains systèmes qui utilisent des eaux naturelles fournies par des systèmes construits, tels que les sources chaudes ou autres spas hydrothermales, peuvent offrir des conditions propices à la survie et à la propagation de *Legionella*. Ils ont été liés à des cas de légionellose (Leoni et coll., 2018) et des plans de gestion de l'eau sont proposés pour ces types d'installations (James et coll., 2022). Les ouvrages artificiels d'approvisionnement en eau (tours de refroidissement, installations de plomberie des bâtiments et des habitations) sont des endroits où, de manière générale, les *Legionella* spp. peuvent atteindre des concentrations importantes, dans les bonnes conditions, ce qui augmente le risque d'exposition et de maladie pour l'humain (NASEM, 2020). Des températures plus chaudes, associées au changement climatique, peuvent favoriser la prolifération de *Legionella* dans ces réseaux (MacIntyre et coll., 2018).

Bien que les *Legionella* spp. soient considérées comme omniprésentes dans les plans d'eau, aucune éclosion de légionellose n'a été signalée au Canada ou aux États-Unis en raison d'activités pratiquées dans des eaux récréatives naturelles. Cette situation peut s'expliquer par les faibles concentrations observées dans la plupart des eaux naturelles ainsi que par l'absence d'aérosolisation. Tous les cas répertoriés de légionellose résultant d'un contact avec des eaux récréatives concernaient des installations d'eau traitée, comme des spas et des baignoires à remous (Moore et coll., 1993; Kramer et coll., 1996; Levy et coll., 1998; Barwick et coll., 2000; Lee et coll., 2002; Yoder et coll., 2004; Hlavsa et coll., 2018), qui ne sont pas abordés dans le présent document.



2.2.2. *Mycobacterium* spp.

Le genre *Mycobacterium* (classe : *Actinobacteria*) comporte plus de 200 espèces connues de mycobactéries. Ce sont des bactéries aérobies à microaérophiles, non mobiles, asporulées, en forme de bâtonnet. Les mycobactéries peuvent se développer à des températures comprises entre 15 et 45 °C (George et coll., 1980; Cangelosi et coll., 2004; Kaur, 2014). Les températures de développement optimales de chaque espèce varient entre 30 et 45 °C (De Groot, 2004; Stinear et coll., 2004), mais ces mycobactéries sont relativement résistantes à la chaleur et capables de survivre à des températures supérieures à 50 °C (Schulze-Robbecke et Buchholtz, 1992; Falkinham, 2016a). Toutes les mycobactéries possèdent une paroi cellulaire épaisse et riche en lipides qui les rend relativement imperméables aux composés hydrophiles. Cette paroi confère aussi à ces bactéries une résistance accrue aux milieux acides ou alcalins, aux désinfectants et aux antibiotiques.

La capacité des mycobactéries de causer des maladies humaines varie d'une espèce à l'autre. Certaines sont des agents pathogènes stricts, tandis que d'autres sont non pathogènes ou sont responsables d'infections non opportunistes. Les mycobactéries habituellement isolées de l'environnement sont collectivement désignées sous le terme « mycobactéries non tuberculeuses » (MNT) et sont considérées comme des agents pathogènes opportunistes (Falkinham, 2016a, b). Il faut toutefois distinguer les MNT de *M. tuberculosis* (l'agent responsable de la tuberculose) et de *M. leprae* (l'agent responsable de la lèpre), qui sont des agents pathogènes stricts. *M. tuberculosis* et *M. leprae* ne présentent aucun risque pour les eaux utilisées à des fins récréatives.

Les espèces de MNT les plus couramment décrites comme étant pertinentes pour les expositions aux eaux récréatives appartiennent au complexe *Mycobacterium avium* (*M. avium* et ses sous-espèces, *M. intracellulare* et *M. chimaera*), qui sont connues pour causer des maladies respiratoires, ainsi que *M. marinum* et *M. kansasii*, qui peuvent causer des infections cutanées. Les principales voies d'infection sont l'inhalation de mycobactéries en aérosols et le contact direct avec de l'eau contaminée ou son ingestion (Percival et Williams, 2014; Falkinham, 2015; Falkinham et coll., 2015). Il existe peu de preuves de la transmission d'une personne à l'autre. La maladie est plus souvent observée chez les personnes présentant des conditions sous-jacentes prédisposant à l'infection (peau écorchée ou traumatisée, système immunitaire affaibli ou immunodéficiência). Les doses infectantes des espèces de MNT restent inconnues (Stout et coll., 2016; Hamilton et coll., 2017; Adjemian et coll., 2018).

Les MNT sont considérées comme étant omniprésentes dans les eaux naturelles. On peut les trouver dans la quasi-totalité des milieux, notamment les sols, les eaux usées, les lacs, les rivières, les étangs, les cours d'eau, les eaux souterraines et les approvisionnements en eau traitée. Toutefois, on en trouve peu dans les eaux marines (Pond, 2005; LeChevallier,

2006; Falkinham, 2016b; Percival et Williams, 2014e). Les MNT sont capables de survivre et de se développer à l'intérieur de certaines espèces de protozoaires phagocytes, en particulier les membres du genre *Acanthamoeba*, de même que dans des biofilms (Percival et Williams, 2014e).

À l'instar des *Legionella*, les MNT peuvent survivre dans les sources chaudes et autres établissements thermaux en raison des températures élevées de l'eau. Selon une étude japonaise, des *Legionella* et des MNT ont été détectées dans ces milieux (Kobayashi et coll., 2014). Les cas d'exposition aux MNT ont été le plus fortement liés à la fréquentation de piscines et de bains chauds, entraînant généralement des infections de la peau et des tissus mous et des cas de pneumopathie d'hypersensibilité (inflammation des poumons). Les discussions concernant l'utilisation de piscines et de bains chauds dépassent la portée du présent document. Bien que les mycobactéries environnementales soient considérées comme omniprésentes dans la plupart des types d'eau, aucune éclosion morbide n'a encore été associée à ces organismes du fait d'un contact avec des eaux naturelles utilisées à des fins récréatives au Canada ou aux États-Unis. On considère comme extrêmement faible le risque, pour une personne saine, de contracter une infection mycobactérienne à la suite d'activités aquatiques pratiquées dans des eaux naturelles récréatives.

2.2.3. *Pseudomonas* spp.

Les *Pseudomonas* spp. (famille : *Pseudomonadaceae*; classe : *Gammaproteobacteria*) sont des bactéries à Gram négatif, mobiles, aérobies strictes, produisant une réaction oxydase positive, asporulées et en forme de bâtonnet légèrement incurvé qui se développent à des températures entre 4 et 42 °C (températures optimales : de 28 à 37 °C) (Moore et coll., 2006; Chakravarty et Anderson, 2015). Le genre *Pseudomonas* compte plus de 200 espèces (LPSN, 2020). *P. aeruginosa*, un agent pathogène opportuniste pouvant causer diverses infections, constitue l'espèce la plus préoccupante pour les humains. D'autres espèces (*P. fluorescens*, *P. putida* et *P. stutzeri*) ont été rarement observées dans des infections humaines (Chakravarty et Anderson, 2015).

P. aeruginosa est largement présente dans le milieu aquatique et peut souvent être isolée dans les eaux douces, l'eau de mer et les sols (Hunter, 1997). On considère que ces bactéries font partie de la flore aquatique naturelle (OMS, 2003). Le microorganisme a des exigences de croissance minimales et peut proliférer dans des eaux à faible teneur nutritive. *P. aeruginosa* est rarement mise en évidence dans les excréments humains (Geldreich, 2006), mais on la trouve dans les eaux d'égout et les eaux usées (Degnan, 2006). Si les *P. aeruginosa* sont présentes en nombre suffisamment élevé dans les eaux récréatives, elles peuvent être transmises aux humains par contact corporel direct avec l'eau contaminée. L'ingestion n'est pas considérée comme une voie d'infection importante.



P. aeruginosa peut provoquer des infections des voies respiratoires, de la peau, des yeux et des oreilles, ainsi que des éruptions cutanées, ces trois dernières affections étant les plus courantes. Les infections auriculaires se déclarent lorsque *P. aeruginosa* réussit à s'introduire dans l'oreille externe et la coloniser. Quelques jours après la baignade, l'oreille se met à gratter et devient douloureuse, et on peut observer des écoulements de pus. Les irritations cutanées (dermatites) prennent la forme d'éruptions rouges et urticantes qui surviennent entre 18 et 24 heures après le contact avec l'eau. L'infection peut évoluer vers la folliculite (inflammation des follicules pileux de la peau) qui se caractérise par une sensibilité accrue de la zone infectée et la présence de boutons ou de phlyctènes remplis de pus autour des follicules pileux. Les infections cutanées localisées se soignent facilement. Les infections invasives sont toutefois plus difficiles à traiter en raison de l'antibiorésistance accrue de ces bactéries (Falkinham et coll., 2015; George et coll., 2022). Certaines souches se sont avérées résistantes à tous ou presque tous les antibiotiques et constituent une « menace grave » et une priorité en matière de gestion des risques (CDC, 2019a; Garner et coll., 2015).

Plusieurs études épidémiologiques ont mis en évidence un lien entre la présence de *Pseudomonas* dans les eaux naturelles et l'incidence des infections oculaires et cutanées chez les baigneurs (Seyfried et Cook, 1984; Springer et Shapiro, 1985; Ferley et coll., 1989; Marino et coll., 1995; van Asperen et coll., 1995). Les éclosions de dermatites à *Pseudomonas* ont presque toutes été associées à des installations d'eau traitée comme les bains chauds, les piscines et les baignoires de massage des hôtels et des spas (Moore et coll., 1993; Kramer et coll., 1996; Levy et coll., 1998; Barwick et coll., 2000; Lee et coll., 2002; Yoder et coll., 2004; Hlavsa et coll., 2018). On ne connaît pas la fréquence des infections à *P. aeruginosa* résultant d'un contact avec les eaux récréatives naturelles, car elles sont rarement signalées du fait de leur caractère bénin.

2.2.4. *Aeromonas* spp.

Les *Aeromonas* spp. (famille : *Aeromonadaceae*; classe : *Gammaproteobacteria*) sont des bactéries à Gram négatif, anaérobies facultatives, asporulées, plus ou moins mobiles, en forme de bâtonnet ou de type coccoïde. Elles partageraient nombre des caractéristiques morphologiques et biochimiques des membres de la famille des *Enterobacteriaceae*, qui comprend *E. coli*. Le genre *Aeromonas* est composé d'environ 30 espèces (Moyer, 2006; US EPA, 2006; Janda et Abbot, 2010; Percival et Williams, 2014a; LPSN, 2019). Les souches associées à des infections humaines se développent optimalement à des températures comprises entre 35 et 37 °C, bien que de nombreuses souches puissent croître entre 4 et 42 °C (Janda et Abbott, 2010; Percival et Williams, 2014a). Les *Aeromonas* spp. sont des agents pathogènes opportunistes et, à ce jour, 14 espèces ont causé des maladies chez

l'humain. La plupart des infections humaines (85 %) sont provoquées par les souches de 4 espèces : *A. hydrophila*, *A. caviae*, *A. veronii* (biotype *sobria*) et *A. trota* (Percival et Williams, 2014a; Bhowmick et Battacharjee, 2018).

Les espèces du genre *Aeromonas* sont naturellement présentes dans le milieu aquatique. On les trouve souvent dans les eaux douces, marines et estuariennes, les sédiments, les eaux d'égout et les effluents d'eaux usées. On a également trouvé de grandes concentrations d'aéromonades dans les sables de bas de plage (Khan et coll., 2009). On ne les retrouve pas souvent en d'importantes quantités dans les excréments d'individus sains, toutefois, une certaine proportion de gens pourrait transporter les organismes dans leurs intestins sans présenter de signes morbides extérieurs. Les aéromonades sont des agents zoonopathogènes reconnus ayant été isolés dans l'intestin de nombreuses espèces animales, dont les poissons, les reptiles, les amphibiens, les oiseaux et les animaux d'élevage, avec ou sans signe de maladie (Percival et Williams, 2014a). Leur présence dans les eaux récréatives n'est pas associée à la pollution fécale, car ils peuvent survivre et se multiplier dans le milieu naturel. Toutefois, ces microorganismes sont présents en grand nombre dans les eaux usées et des populations importantes peuvent donc être mises en évidence dans les eaux contaminées par des eaux d'égout. Les aéromonades peuvent atteindre des concentrations assez élevées dans les eaux eutrophes (riches en nutriments) (Moyer, 2006). Comme ces microorganismes se développent optimalement à des températures élevées, leur concentration dans les eaux naturelles est donc maximale durant les saisons chaudes.

L'ingestion de nourriture ou d'eau contaminée est le principal mode d'infection gastrointestinale causée par *Aeromonas*. L'eau contaminée peut aussi entraîner des infections des plaies. La maladie gastro-intestinale est généralement bénigne et autorésolutive, bien que certaines souches soient capables de causer des maladies dysentériques ou d'allure cholérique, caractérisées par de fortes crampes abdominales, des vomissements, des diarrhées (y compris des selles sanglantes) et de la fièvre (Janda et Abbott, 2010). Les *Aeromonas* sont le plus fréquemment associées aux blessures infectées que les usagers des eaux récréatives présentent parfois. Pour qu'il y ait infection, il faut un traumatisme cutané quelconque, par exemple une plaie ouverte ou une lésion pénétrante. Les blessures infectées sont douloureuses, enflées, rouges, avec des accumulations de fluide autour de la zone infectée. Une cellulite (inflammation grave) est souvent observée avec les infections des plaies, et la septicémie est considérée comme une évolution assez fréquente (Percival et coll., 2004; Janda and Abbott, 2010), survenant la plupart du temps par transfert de bactéries issues du tube digestif ou de plaies infectées. Les symptômes courants associés à ces infections sont la fièvre, la jaunisse, des douleurs abdominales et un choc septique (Janda et Abbott, 2010). Il existe d'autres complications plus rares, à savoir la fasciite nécrosante, la méningite, la pneumonie, la péritonite et l'endocardite (Percival et coll., 2004; Janda et Abbott, 2010; Bhowmick et Battacharjee, 2018).



La dose d'*Aeromonas* spp. nécessaire pour provoquer une infection n'est pas clairement déterminée. La seule étude de provocation accessible a utilisé l'ingestion comme voie d'exposition et a montré que seulement deux des cinq souches provoquaient une infection (14 personnes sur 57 ont excrété la souche d'essai sans symptôme de maladie) et des diarrhées (2 personnes sur 57) à des concentrations bactériennes élevées (10^4 à 10^{10} d'unités formant colonies) (Morgan et coll., 1985).

En dépit de leur présence généralisée, aucune éclosion de maladies associée à *Aeromonas* n'a été signalée à la suite d'activités aquatiques dans les eaux récréatives d'Amérique du Nord. Marino et coll.(1995) ont mis en évidence une corrélation positive entre les concentrations d'*A. hydrophila* et les infections cutanées sur deux plages de baignade de Malaga, en Espagne. À l'heure actuelle, aucun élément de preuve ne permet de lier les concentrations d'*Aeromonas* au risque de contracter une gastro-entérite en se baignant. Au Canada et dans la plupart des pays du monde, les infections à *Aeromonas* ne sont pas des maladies à déclaration obligatoire. Il n'existe donc aucune estimation de la fréquence probable des infections liées à *Aeromonas* par suite d'une exposition à des eaux récréatives au Canada.

2.3 Autres bactéries pathogènes

Outre les bactéries entériques et d'origine naturelle, d'autres bactéries pathogènes peuvent s'introduire dans les milieux récréatifs par l'urine ou par contamination directe des baigneurs. Si ces microorganismes sont présents en concentration élevée, ils peuvent être transmis à l'humain, habituellement par contact direct avec des parties du corps et des muqueuses. Les types de maladies humaines observées varient des blessures infectées à des affections potentiellement mortelles. Un résumé de ces bactéries pathogènes se trouve à l'annexe B. Comme il ne s'agit pas de bactéries d'origine fécale, il ne faut pas s'attendre à une bonne corrélation entre la présence des indicateurs fécaux et la leur. À l'heure actuelle, il n'existe aucun indicateur microbiologique reconnu pour ces agents pathogènes.

2.3.1. *Leptospira* spp.

Les *Leptospira* spp. sont des bactéries spiralées ou hélicoïdales. Ce sont des organismes à Gram négatif, aérobies, mobiles, de forme mince et allongée qui peuvent se développer à des températures situées entre 4 et 40 °C (Barragan et coll., 2017). Le genre *Leptospira* (classe : *Spirochaetes*) compte plus de 20 espèces connues, et plus de 200 sérotypes pathogènes ont été décrits. Les formes les plus graves de leptospirose ont été attribuées aux sérovars (synonyme : sérotypes) de *L. interrogans* (Pond, 2005; Wynwood et coll., 2014; Levett, 2015).

Les bactéries du genre *Leptospira* se divisent en espèces pathogènes, environnementales non pathogènes (saprophytes) et indéterminées (génétiquement distinctes des espèces pathogènes et saprophytes). Elles sont présentes dans le monde entier et sont majoritairement associées aux environnements d'eau douce. Les leptospires pathogènes sont d'importants agents zoonotiques transportés dans le tractus urinaire (reins) des animaux infectés et excrétés dans l'urine. Les petits rongeurs, tels que les rats, les souris et les campagnols, sont considérés comme les plus importantes sources de *Leptospira* pathogènes. Ces microorganismes peuvent également être propagés par les animaux domestiques comme les bovins, les porcins, les chiens et les chats, les ovins, les caprins et les chevaux (OMS, 2003; CDC, 2005b; Barragan et coll., 2017). Leur propagation est favorisée en cas de fortes précipitations, du fait du ruissellement des eaux pluviales provenant de sols contaminés vers les eaux de surface (Pond, 2005).

Chez l'humain, l'infection peut survenir à la suite d'un contact direct avec l'urine d'animaux infectés ou par contact indirect avec de l'eau, de la terre ou de la boue contaminée. Les leptospires s'introduisent dans le corps par des lésions ou des écorchures ou par les muqueuses des yeux, du nez ou de la bouche. La période d'incubation chez l'humain est d'environ 10 jours, mais peut varier de 2 à 30 jours (CDC, 2008). Les infections associées à *Leptospira* spp. peuvent être de diverse gravité, allant de troubles légers de type grippal à une maladie plus grave, et parfois mortelle. La maladie se manifeste tout d'abord par de la fièvre, des frissons, des céphalées, des douleurs musculaires, des vomissements et un rougissement des yeux (ASPC, 2004). En règle générale, les patients se remettent complètement de la forme légère de la maladie, bien que la récupération puisse être longue, durant parfois des mois, voire des années (OMS, 2003). En l'absence de traitement, la maladie peut évoluer vers une forme plus grave, également connue sous le nom de maladie de Weil. Les cas graves de leptospirose peuvent être mortels, la mort survenant par insuffisance rénale, insuffisance cardiorespiratoire ou fortes hémorragies. Les raisons à l'origine de la gravité variée des infections ne sont pas parfaitement comprises; toutefois, on pense que chaque sérovar pathogène est capable de causer la forme bénigne ou la forme grave de la maladie (OMS, 2003). La maladie associée aux *Leptospira* spp. peut être difficile à diagnostiquer, car elle est souvent confondue avec d'autres infections ou troubles ayant des symptômes similaires. De même, il se pourrait que la forme légère ne soit pas toujours déclarée. L'ingestion d'à peine un à dix microorganismes suffirait à déclencher la maladie chez l'humain (Pond, 2005).

La leptospirose est considérée comme plus préoccupante dans les pays en développement, où les normes en matière de logement et les infrastructures locales inadéquates peuvent entraîner une exposition aux rongeurs qui servent de réservoirs, ainsi que sous les climats tropicaux. Le contact accidentel avec de l'eau contaminée, entre autres, lors d'activités professionnelles ou récréatives dans des régions endémiques,



constitue aussi une source d'exposition (Haake et Levett, 2015). Un examen systématique des maladies d'origine hydrique liées à des phénomènes météorologiques extrêmes dans le monde entier a permis de déterminer que *Leptospira* spp. était l'un des agents pathogènes les plus fréquemment signalés et associés à des voies d'exposition environnementales (p. ex. marche dans des eaux de crue) (Cann et coll., 2013). Cependant, il n'est pas clair si l'une de ces expositions était liée à des activités pratiquées dans des eaux récréatives. Trois éclosions de leptospirose ont été signalées dans les eaux récréatives des États-Unis au cours de la période 1991–2002 (Moore et coll., 1993; Barwick et coll., 2000; Lee et coll., 2002). Entre 2000 et 2014, les *Leptospira* spp. ont été mises en cause dans six éclosions aux États-Unis (Graciaa et coll., 2018). La plupart des éclosions étaient associées à la participation à des courses d'aventure/triathlons ou à une exposition à des eaux frappées par la sécheresse. On ne connaît pas actuellement la prévalence de *Leptospira* spp. dans les eaux canadiennes, la leptospirose ne faisant pas partie des maladies à déclaration obligatoire au Canada. Aucun cas documenté d'infection liée à *Leptospira* n'a été signalé en rapport avec les activités aquatiques pratiquées dans les eaux récréatives du Canada.

2.3.2. *Staphylococcus aureus*

Les membres du genre *Staphylococcus* (classe : Bacilli) sont des cocci non mobiles à Gram positif. *S. aureus* est considéré comme l'espèce la plus préoccupante du genre pour la santé humaine, et c'est aussi l'espèce la plus préoccupante pour les usagers des eaux récréatives. Cela comprend la souche résistante aux antibiotiques appelée *Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline (SARM). Les infections à SARM sont classées comme des infections à SARM d'origine communautaire ou des infections à SARM nosocomiales, selon l'endroit où l'infection a été contractée. Les infections nosocomiales sont plus fréquentes et ont entraîné des éclosions dans ces établissements (gouvernement du Canada, 2022c). Les infections à SARM contractées à la suite d'expositions aux eaux utilisées à des fins récréatives seraient classées comme des SARM d'origine communautaire.

S. aureus n'est pas considéré comme naturellement présent dans le milieu aquatique. Ses principaux réservoirs sont la peau, le nez, les oreilles et les muqueuses des animaux à sang chaud. (Baptiste et coll., 2005; Boost et coll., 2008; Abdullahi et coll., 2021; Silva et coll., 2023). Sa présence dans les eaux récréatives est principalement due à son émission par la bouche, le nez et la gorge des baigneurs et à des foyers infectieux existants (Plano et coll., 2011). Toutefois, le microorganisme peut être isolé dans les excréments humains (Percival et coll., 2004). Les eaux usées et les eaux pluviales constituent d'autres sources (Economy et coll., 2019).

Dans les eaux utilisées à des fins récréatives, *S. aureus* est transmis par contact direct avec des eaux contenant un nombre suffisant de microorganismes pour causer une infection. Celle-ci se déclare du fait de coupures ou d'écorchures ou, dans une moindre mesure, par contact avec les yeux et les oreilles. Le microorganisme peut également se propager d'une personne à l'autre. L'ingestion n'est pas considérée comme une voie d'exposition importante. Des concentrations de quelques centaines de cellules par millilitre pourraient suffire pour que l'infection se déclare sur une peau blessée ou affaiblie (Percival et coll., 2004).

S. aureus est principalement associé à des affections cutanées chez les usagers des eaux récréatives (Charoenca et Fujioka, 1995). Les infections communes sont les coupures et écorchures infectées, les furoncles, les pustules, la dermatite, la folliculite et l'impétigo (OMS, 2006). Dans la plupart des cas, les infections sont purulentes, les symptômes se déclarant souvent 48 heures après le contact. Ce microorganisme a également été associé aux infections de l'œil, de l'oreille externe et du tractus urinaire (OMS, 2006). Les infections à *S. aureus* peuvent devenir graves ou potentiellement mortelles, surtout lorsqu'elles sont causées par SARM (David et Daum, 2010). SARM a été isolé dans des milieux aquatiques naturels utilisés à des fins récréatives. Même si on a déterminé que jusqu'à 20 % des isolats de *S. aureus* dans les eaux naturelles étaient des SARM (Levin-Edens et coll., 2012), les études indiquent généralement que moins de 5 % des isolats sont résistants à la méthicilline (Goodwin et coll., 2012; Plano et coll., 2013).

Certaines études épidémiologiques ont exploré la possibilité d'utiliser les staphylocoques comme indicateur des effets néfastes des activités récréatives sur la santé. Plusieurs auteurs ont démontré des liens possibles entre les staphylocoques présents dans les eaux récréatives et les maladies gastro-intestinales et affections cutanées chez les nageurs (Seyfried et coll., 1985; Calderon et coll., 1991; Griffith et coll., 2016). Toutefois, cette constatation ne fait pas l'unanimité (Plano et coll., 2013; Griffith et coll., 2016). Un lien a également été établi entre les concentrations de staphylocoques et la densité de baigneurs (Calderon et coll., 1991; Plano et coll., 2013). Aucun lien manifeste n'a toutefois été signalé entre les concentrations de staphylocoques et la qualité des eaux récréatives indiquée par la présence d'*E. coli* ou d'entérocoques (Calderon et coll., 1991; Haack et coll., 2013; Fogarty et coll., 2015).

2.4 Virus entériques pathogènes

Les virus, dont la taille varie de 20 à 350 nm, sont beaucoup plus petits que les bactéries. Ils sont constitués d'un noyau d'acide nucléique, composé d'ARN ou d'ADN, entouré d'une capsule protéique externe appelée capsid. Certains virus, dits virus enveloppés, ont aussi une enveloppe de lipoprotéines qui entoure la capsid. Les virus nus (non enveloppés)



sont dépourvus de cette enveloppe extérieure. Les virus sont des parasites intracellulaires stricts, ce qui signifie qu'ils doivent infecter une cellule hôte pour se répliquer. S'ils sont incapables de se répliquer en dehors d'un hôte, ils peuvent toutefois persister très longtemps à l'extérieur de ce dernier. La plupart des virus pour lesquels la transmission par l'eau est préoccupante sont des virus nus, par exemple, des virus entériques. Les virus nus sont plus résistants aux conditions environnementales que les virus enveloppés. Certains virus enveloppés sont excrétés dans les selles (p. ex. les coronavirus, dont SRAS-CoV-2). Toutefois, aucune voie de transmission oro-fécale n'a été documentée, et ils sont donc considérés comme présentant un faible risque de transmission par les milieux aquatiques (La Rosa et coll., 2020).

Les virus entériques—ceux qui infectent le tractus gastro-intestinal des humains et qui sont excrétés dans les selles—pourraient présenter le risque d'infection le plus élevé chez les baigneurs dans les eaux récréatives (Schoen et Ashbolt, 2010; Soller et coll., 2010; Dufour et coll., 2012; McBride et coll., 2013; Eregno et coll., 2016; Vergara et coll., 2016). Les eaux d'égouts urbains, les débordements des égouts unitaires et les fosses septiques, de même que les déjections des baigneurs infectés figurent parmi les sources de virus entériques. À l'instar des sources de bactéries entériques (section 2.1), ces sources peuvent être perturbées par des phénomènes climatiques (Levy et coll., 2016; Jofre et coll., 2021).

On considère que ces virus possèdent une gamme d'hôtes restreinte, ce qui signifie que les virus entériques qui infectent les animaux n'infectent généralement pas les humains, et vice versa. L'exposition aux virus entériques dans les eaux récréatives se fait par la voie oro-fécale, par l'ingestion accidentelle d'eau contaminée. Certains virus, comme les adénovirus, empruntent également d'autres voies infectieuses, telles que l'inhalation ou le contact avec la muqueuse de l'œil. Les symptômes gastro-intestinaux (nausées, vomissements, diarrhées) comptent parmi les plus fréquents en cas d'infection virale. Certaines infections virales peuvent entraîner des problèmes de santé plus graves, bien qu'elles soient considérées comme beaucoup plus rares.

Plus de 200 virus entériques reconnus peuvent être excrétés dans les selles (Haas et coll., 2014), dont 140 sérotypes connus pour causer des infections chez l'humain (AWWA, 1999; Taylor et coll., 2001). Les virus entériques sont excrétés en quantités importantes dans les selles des individus infectés, pouvant atteindre des concentrations allant jusqu'à 10^{10} - 10^{12} particules par gramme d'excrément (Gerba, 2000; Bosch et coll., 2008). Même les individus asymptomatiques peuvent excréter de grandes quantités de virus. La charge virale totale des eaux usées peut être passablement constante; cependant, le type et le nombre des divers virus présents dépendent étroitement de la prévalence des maladies épidémiques et endémiques dans la population qui les excrète. Résultat : la composition virale des eaux usées peut varier de façon considérable et présente souvent de fortes tendances

saisonniers (Krikelis et coll., 1985; Tani et coll., 1995; Pina et coll., 1998; Lipp et coll., 2001). On s'attend à ce que la présence de virus dans les eaux de surface varie selon les régions en fonction, notamment, du degré et du type de contamination fécale et des taux d'inactivation dans l'environnement. De nombreuses études ont relevé la présence de virus entériques dans les eaux de surface partout dans le monde, y compris au Canada. On trouvera de plus amples renseignements dans les *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada – Les virus entériques* (Santé Canada, 2019a).

Les virus entériques le plus souvent associés aux maladies d'origine hydrique, entre autres les norovirus, les entérovirus, les rotavirus, les adénovirus et le virus de l'hépatite A, ont été détectés dans les eaux marines et dans les eaux douces utilisées à des fins récréatives au Canada, aux États-Unis et en Europe (Payment, 1984; Puig et coll., 1994; Pina et coll., 1998; Griffin et coll., 1999; Chapron et coll., 2000; Payment et coll., 2000; Schvoerer et coll., 2001; Denis-Mize et coll., 2004; Jiang et Chu, 2004; Laverick et coll., 2004). Ces virus entériques pathogènes sont brièvement décrits à l'annexe B. Des éclosions ont été liées à bon nombre de ces virus (voir les sections 2.4.1 à 2.4.6). Comme il est difficile de détecter les virus pathogènes dans l'eau, des éclosions de maladies gastro-intestinales aiguës d'étiologie inconnue ont été également attribuées à des infections virales. Aux États-Unis, l'étiologie était inconnue pour 23 % (14 sur 64) des éclosions documentées entre 1991 et 2002 (Moore et coll., 1993; Kramer et coll., 1996; Levy et coll., 1998; Barwick et coll., 2000; Lee et coll., 2002; Yoder et coll., 2004), et pour 26 % (37 sur 140) des éclosions documentées entre 2000 et 2014 (Graciaa et coll., 2018).

E. coli et les entérocoques sont utilisés comme indicateurs de contamination fécale, et donc, de la présence possible de virus entériques. Cependant, l'absence d'organismes indicateurs ne signifie pas forcément qu'il n'y a pas de virus entériques. Des méthodes de détermination des sources de contamination fécale (p. ex. la méthode PCR quantitative pour les marqueurs fécaux propres à l'humain) peuvent servir de complément aux outils de surveillance et d'évaluation visant à cerner les risques posés par les virus entériques. Des renseignements supplémentaires sur la gestion des risques dans les eaux utilisées à des fins récréatives et sur les organismes indicateurs de contamination fécale figurent dans les documents techniques *Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives au Canada : Comprendre et gérer les risques dans les eaux récréatives* et *Indicateurs de contamination fécale* (Santé Canada, 2023a, b).



2.4.1. Norovirus

Les norovirus sont des virus nus à ARN de petite taille (35 à 40 nm de diamètre) appartenant à la famille des *Caliciviridae*. Les norovirus sont actuellement subdivisés en sept génogroupes (GI à GVII). Les génogroupes GI, GII et GIV renferment les génotypes de norovirus habituellement associés aux maladies humaines (Verhoef et coll., 2015). La période d'incubation des infections à norovirus est de 12 à 48 heures (CDC, 2013b, gouvernement du Canada, 2022a). Les effets sur la santé des infections norovirales sont spontanément résolutifs et durent habituellement de 24 à 48 heures. Les principaux symptômes sont la diarrhée, les nausées, les vomissements, la douleur abdominale et la fièvre. L'apparition de vomissements en jets est considérée comme une caractéristique des infections à norovirus. Des infections asymptomatiques peuvent survenir (Graham et coll., 1994), et certaines personnes sont résistantes à l'infection (Hutson et coll., 2003; Lindesmith et coll., 2003; Cheetham et coll., 2007). Chez les adultes en bonne santé, la maladie évolue rarement vers des problèmes plus graves (p. ex. la déshydratation), mais des infections plus graves peuvent survenir dans des groupes vulnérables comme les personnes âgées.

Les norovirus sont l'agent étiologique le plus préoccupant pour la santé des baigneurs (Schoen et Ashbolt, 2010; Soller et coll., 2010; Dufour et coll., 2012; McBride et coll., 2013; Eregno et coll., 2016; Vergara et coll., 2016). Entre 1991 et 2002, les CDC des États-Unis ont révélé que 13 % (8 sur 64) des éclosions de maladie signalées dans des eaux naturelles au pays étaient attribuables aux norovirus (Moore et coll., 1993; Kramer et coll., 1996; Levy et coll., 1998; Barwick et coll., 2000; Lee et coll., 2002; Yoder et coll., 2004). Selon des rapports plus récents des CDC américains, entre les années 2000 et 2014, 22 % (21 sur 95) des éclosions survenues dans des eaux récréatives non traitées (dont l'étiologie était connue) ont été causées par des norovirus, ce qui représentait 47 % (1 459 sur 3 125) des cas de maladie (Graciaa et coll., 2018). Les données sur les éclosions à norovirus dans les eaux récréatives ne sont pas disponibles pour le Canada; il est cependant probable que des cas d'infection à norovirus se soient produits sans avoir été détectés ou signalés. L'exposition aux norovirus dans les zones récréatives résulte de la contamination par des matières fécales humaines, notamment par les rejets d'eaux usées municipales et les débordements d'égouts unitaires (McBride et coll., 2013; Eregno et coll., 2016; Wade et coll., 2018) ou par l'excrétion de matières fécales par des baigneurs infectés (Schets et coll., 2018).

2.4.2. Entérovirus

Les entérovirus constituent un grand groupe de virus nus à ARN de petite taille (20 à 30 nm) appartenant au genre *Enterovirus* et à la famille des *Picornaviridae*. Au sein de ce genre, quatre espèces désignées *Enterovirus A*, *Enterovirus B*, *Enterovirus C* et *Enterovirus D* ont été associées à des maladies touchant les humains (EV-A à EV-D). Les membres des espèces EV-A à EV-D comprennent les entérovirus, les poliovirus, les virus Coxsackie et les échovirus (Simmonds et coll., 2020).

La période d'incubation des entérovirus varie de 2 à 35 jours (AWWA, 2006), et les symptômes et la gravité de la maladie varient considérablement selon le type de virus. De nombreuses infections à entérovirus sont asymptomatiques. Les symptômes bénins comprennent de la fièvre, des malaises, une irritation de la gorge, des vomissements, des éruptions et des maladies des voies respiratoires supérieures. La gastro-entérite aiguë est peu courante. Des complications plus graves ont été associées à certains groupes de virus, notamment la myocardite (virus Coxsackie), la méningite aseptique (virus Coxsackie, poliovirus), l'encéphalite (virus Coxsackie, échovirus), la poliomyélite (poliovirus) et des maladies fébriles non spécifiques chez les nouveau-nés et les jeunes enfants. Toutefois, ces maladies ne sont pas considérées comme fréquentes (Rotbart, 1995; Roivainen et coll., 1998). D'autres complications comprennent la myalgie, le syndrome de Guillain-Barré, l'hépatite et la conjonctivite. Les entérovirus ont aussi été mis en cause dans l'étiologie de maladies chroniques, comme la myosite inflammatoire, la cardiomyopathie dilatée, la sclérose latérale amyotrophique, le syndrome de la fatigue chronique et l'atrophie musculaire post-poliomyélite (Pallansch et Roos, 2007; Chia et Chia, 2008). De plus, certains travaux confirment l'existence d'un lien entre l'infection à entérovirus et l'apparition du diabète sucré insulino-dépendant (type 1) (Nairn et coll., 1999; Lönnrot et coll., 2000; Laitinen et coll., 2014; Oikarinen et coll., 2014).

Les entérovirus sont endémiques dans le monde entier et ont été détectés dans des sources d'eau au Canada et aux États-Unis (Santé Canada, 2019a). Toutefois, peu d'éclosions ont été signalées dans le monde. Aucune éclosion associée aux eaux récréatives n'a été signalée aux États-Unis de 2000 à 2014 et seulement un cas avait été déclaré avant l'an 2000 (Sinclair et coll., 2009; Graciaa et coll., 2018). Aucune éclosion mettant en cause des entérovirus dans des zones récréatives n'a été signalée au Canada. Il est probable que des cas d'infection à entérovirus se soient produits sans avoir été détectés ou signalés.



2.4.3. Rotavirus

Les rotavirus sont des virus nus à ARN bicaténaire (double brin), de grande taille (60 à 80 nm) appartenant à la famille des *Reoviridae*. Ces virus ont été divisés en huit groupes sérologiques, désignés A à H (Marthaler et coll., 2012), dont trois (A, B et C) infectent les humains, le groupe A étant le plus courant et le plus répandu (Estes et Greenberg, 2013).

En général, les rotavirus provoquent une gastro-entérite, avec vomissements et diarrhée. Les symptômes de la gastro-entérite peuvent être bénins, et durer moins de 24 heures, ou graves et mettre la vie en danger en cas de déshydratation et de déséquilibre électrolytique. Parmi les groupes jugés vulnérables aux maladies graves et à la mortalité attribuable à la maladie figurent les jeunes enfants, les personnes immunodéprimées et les personnes âgées. Il a été déterminé que l'infection à rotavirus était la première cause de gastro-entérite infantile dans le monde. On suppose que la grande majorité des infections à rotavirus découle d'une transmission de personne à personne (Butler et coll., 2015). En raison de l'immunité acquise pendant l'enfance, les infections chez les adultes en bonne santé sont souvent asymptomatiques (Percival et coll., 2004). Les jeunes enfants peuvent présenter des manifestations extra-intestinales, telles que des symptômes respiratoires et des convulsions (Candy, 2007).

Le rotavirus du groupe A est endémique dans le monde entier, mais un vaccin existe. Les rotavirus ont été isolés dans des sources d'eau de surface au Canada et aux États-Unis (Rose et coll., 1987; Corsi et coll., 2014; Pang et coll., 2019) et dans des échantillons de selles prélevés après des expositions à des eaux récréatives (Dorevitch et coll., 2012; Hintaran et coll., 2018). Néanmoins, aucune éclosion de maladies associées aux rotavirus n'a été signalée dans les eaux récréatives.

2.4.4. Adénovirus

Les adénovirus sont des virus nus à ARN bicaténaire, de grande taille (70 à 100 nm) appartenant à la famille des *Adenoviridae*. On dénombre plus de 60 sérotypes susceptibles de causer des maladies chez l'humain, les caractéristiques cliniques et la gravité de la maladie variant considérablement selon le type de virus (Percival et coll., 2004). La plupart des sérotypes d'adénovirus provoquent une maladie respiratoire, qui se manifeste sous la forme d'une pharyngite, d'une toux et de symptômes semblables à ceux du rhume. La conjonctivite peut aussi survenir à la suite d'une infection de l'œil. La plupart des isolats d'origine hydrique sont les types 40 et 41; ils causent des gastro-entérites (Mena et Gerba, 2009) qui peuvent durer une semaine (ASPC, 2010). Les adénovirus seraient la deuxième cause de gastro-entérite infantile après les rotavirus (Crabtree et coll., 1997), et la majorité des maladies serait liée à une transmission de personne à personne (Butler et coll., 2015). Les infections sont généralement limitées aux enfants de moins de cinq ans

(FSA, 2000; Lennon et coll., 2007) et sont rares chez les adultes. Les adénovirus ont été détectés dans des sources d'eau de surface dans le monde entier (Xagorarakis et coll., 2007; Sassoubre et coll., 2012; Lee et coll., 2014; Marion et coll., 2014; Vergara et coll., 2016; Steele et coll., 2018), mais très peu d'éclosions liées à des eaux récréatives ont été enregistrées (Sinclair et coll., 2009; Graciaa et coll., 2018). Aucune éclosion de maladies associées aux adénovirus dans les eaux récréatives n'a été signalée au Canada. Il est probable que des cas d'infection à adénovirus se soient produits sans avoir été détectés ou signalés.

2.4.5. Virus des hépatites

Six types de virus de l'hépatite ont été identifiés (A, B, C, D, E et G), mais deux d'entre eux seulement, ceux de l'hépatite A (VHA) et de l'hépatite E (VHE), semblent transmis par la voie oro-fécale et seraient donc associés à la transmission d'origine hydrique. Les virus de l'hépatite sont très stables dans l'environnement, mais leur temps de survie dépend de la température (van der Poel et Rzezutka, 2017). Même si les virus de l'hépatite peuvent survivre dans l'environnement, aucune éclosion liée à des eaux récréatives n'a été enregistrée au Canada.

Le virus de l'hépatite A (VHA) est un virus nu à ARN monocaténaire (simple brin), de petite taille (27 à 32 nm) appartenant au genre *Hepatovirus* de la famille des *Picornaviridae*. Le foie est le principal organe cible touché par le VHA. La période d'incubation d'une infection par le VHA varie de 15 à 50 jours (CDC, 2015). La plupart des infections sont asymptomatiques. La maladie est le plus souvent déclarée chez les adultes, celle-ci s'aggravant avec l'âge. Les enfants présentent habituellement des symptômes bénins, voire aucun symptôme (Yayli et coll., 2002). Les symptômes de l'infection à VHA sont notamment l'anorexie, les malaises et la fièvre, suivis de nausées, de vomissements, de douleurs abdominales et de la jaunisse. Normalement, l'infection se résorbe d'elle-même, mais, dans certains cas, le VHA peut provoquer des lésions du foie parfois mortelles. La convalescence peut aussi se prolonger (de 8 à 10 semaines) et, dans certains cas, des récidives sont possibles jusqu'à 6 mois après la maladie (CDC, 2015). Au Canada, l'incidence du VHA a considérablement diminué depuis l'introduction du vaccin contre le VHA en 1996 (ASPC, 2022). La plupart des cas de VHA surviennent chez des contacts de personnes infectées, chez des voyageurs revenant de pays où le VHA est fréquent et dans des communautés où l'assainissement est inadéquat (ASPC, 2022).

Le virus de l'hépatite E (VHE) est un virus nu à ARM monocaténaire, de petite taille (27 à 34 nm) appartenant à la famille des *Hepeviridae*. Les VHE infectieux chez l'humain sont répartis en quatre génotypes. Les génotypes 1 et 2 n'ont été décelés que chez l'humain, tandis que les génotypes 3 et 4 semblent être zoonotiques (transmis à l'humain par les



cerfs, les porcs et les sangliers) (Smith et coll., 2014). La période d'incubation du VHE varie de 15 à 60 jours. Les symptômes, qui comprennent des malaises, de l'anorexie, des douleurs abdominales, de l'arthralgie, l'urine de couleur foncée, de la fièvre et de la jaunisse, disparaissent habituellement au bout d'une à six semaines, bien que les cas dont le système immunitaire est affaibli puissent développer des maladies de longue durée pouvant entraîner une maladie hépatique plus avancée (Gouvernement du Canada, 2022b). L'infection est le plus souvent déclarée chez les jeunes adultes et les adultes d'âge moyen, et peut être mortelle dans de rares cas. Chez les femmes enceintes, le taux de mortalité peut atteindre 20 à 25 % (Matson, 2004). Les maladies associées au VHE sont rares dans les pays développés, où la plupart des infections sont liées à des voyages internationaux.

2.4.6. Astrovirus

Les astrovirus sont des virus nus à ARN caténaire, de petite taille (28 à 30 nm) appartenant à la famille des *Astroviridae*. Les génotypes A et B sont capables d'infecter les humains (Carter, 2005). Parmi les agents viraux connus pour causer des maladies entériques, l'importance des astrovirus en tant que cause de maladie d'origine hydrique est peut-être la moins bien caractérisée (Percival et coll., 2004). Chez les personnes infectées, la maladie ressemble à celle que causent les rotavirus, bien qu'elle soit beaucoup moins grave (diarrhée de 2 à 3 jours qui ne cause pas de déshydratation importante). Les autres symptômes comprennent les maux de tête, les malaises, les nausées, les vomissements et une fièvre légère (Percival et coll., 2004; Méndez et Arias, 2007). Les infections par les sérotypes 1 et 2 sont courantes dans l'enfance (Palombo et Bishop, 1996). Celles causées par d'autres sérotypes (4 et plus) peuvent ne survenir qu'à l'âge adulte (Carter, 2005), mais elles sont rares (Oishi et coll., 1994; Caul, 1996; Gray et coll., 1997). En général, les personnes en santé acquièrent une bonne immunité contre la maladie et la réinfection est donc rare (Gofti-Laroche et coll., 2003).

Les astrovirus peuvent se transmettre par les aliments, l'eau, les matières contaminées et le contact de personne à personne (Bosch et coll., 2014; Butler et coll., 2015). On ne connaît pas le degré de transmission par l'eau, en particulier dans les eaux récréatives. On pense que le contact de personne à personne est la principale voie de transmission (Butler et coll., 2015). Aucune éclosion mettant en cause des astrovirus dans des eaux récréatives n'a été signalée au Canada. Malgré l'absence d'éclosions, la présence d'astrovirus a été relevée dans des sources d'eau de surface au Canada (Jones et coll., 2017; Pang et coll., 2019), ce qui semble indiquer que l'exposition à des eaux de surface peut être à l'origine de cas d'astrovirus qui n'ont tout simplement pas été détectés ou signalés.

2.5 Protozoaires entériques pathogènes

Les protozoaires pathogènes importants dans les environnements récréatifs comptent à la fois des espèces entériques et des espèces libres. Les protozoaires entériques sont des parasites communs qui infectent l'intestin des humains et d'autres animaux. Ce sont des parasites stricts, c'est-à-dire qu'ils doivent infecter un hôte pour se reproduire et ils ne peuvent se développer à l'extérieur d'un hôte. Le stade principal de leur cycle biologique est la production de kystes ou oocystes qui sont libérés en grandes quantités dans les excréments. Ces kystes ou oocystes sont extrêmement résistants aux stress environnementaux et à la désinfection des eaux usées (Adeyemo et coll., 2019), en plus de pouvoir survivre pendant de longues périodes dans l'environnement. Les sources de protozoaires entériques susceptibles d'avoir une incidence sur les eaux récréatives comprennent celles qui contiennent des matières fécales d'origine humaine ou animale (p. ex. les rejets d'eaux usées, le ruissellement des terres agricoles, le dépôt direct de matières fécales). Ces sources peuvent aussi avoir une incidence sur les sables de plage. Comme dans le cas des bactéries et des virus entériques, les conditions climatiques peuvent se répercuter sur la charge de protozoaires entériques dans les eaux utilisées à des fins récréatives. La transmission à l'humain survient après l'ingestion d'eau ou de sable contaminé. Les protozoaires entériques préoccupants les plus courants dans les eaux récréatives sont *Giardia* et *Cryptosporidium*, qui provoquent des maladies qui se manifestent généralement par des symptômes gastro-intestinaux (p. ex. diarrhée). Un résumé des protozoaires entériques pathogènes se trouve à l'annexe B. *E. coli* et les entérocoques sont les principaux microorganismes utilisés comme indicateurs de contamination fécale dans l'eau et, de ce fait, du risque possible de maladies entériques, notamment le risque de maladies causées par les protozoaires entériques. Ces derniers peuvent survivre plus longtemps dans l'environnement que les indicateurs bactériens et peuvent être présents après la mort d'*E. coli* et des entérocoques.

2.5.1. *Giardia*

Les *Giardia* spp. sont des protozoaires flagellés parasites. Ils ont un cycle biologique composé de deux stades, un stade trophozoïte (stade alimentaire) et un stade kystique résistant aux stress environnementaux. À l'heure actuelle, six espèces du genre *Giardia* sont reconnues. *G. lamblia* (synonymes : *G. intestinalis* et *G. duodenalis*), qu'on trouve chez l'humain et de nombreux autres mammifères, est la seule espèce pouvant infecter les humains. D'autres espèces (*G. muris*, *G. agilis*, *G. microti*, *G. psittaci* et *G. ardea*) ont été signalées chez les animaux, notamment les rongeurs, les oiseaux et les amphibiens. La caractérisation moléculaire de *G. lamblia* a permis de déterminer huit assemblages



génétiquement distincts (désignés A à H) qui correspondent à leur gamme d'hôtes (Boarato-David et coll., 2017). Les assemblages A et B infectent les humains et d'autres mammifères, tandis que les assemblages restants (C, D, E, F et G) n'ont pas encore été isolés des humains et leur gamme d'hôtes semble restreinte (Plutzer et coll., 2010).

Les symptômes les plus communs de la maladie causée par *Giardia*, ou giardiose, sont des débâcles diarrhéiques aqueuses, pâles, grasses et malodorantes, des nausées, des dérangements intestinaux, de la fatigue, une faible fièvre et des frissons. La gravité des infections à *Giardia* peut aller d'une absence de symptômes observables (infections asymptomatiques) à des troubles gastro-intestinaux graves nécessitant une hospitalisation. L'infection par *Giardia* peut aussi mener à une déficience en lactase (c.-à-d. une intolérance au lactose) et au syndrome de malabsorption; des recherches donnent à penser qu'elle pourrait de plus mener au syndrome du côlon irritable ou au syndrome de fatigue chronique chez certaines personnes (Cotton et coll., 2011; Wensaas et coll., 2012; Hanvik et coll., 2014). La dose médiane d'infection serait de l'ordre de 50 kystes (Hibler et coll., 1987), bien que des sujets aient été infectés à des doses bien inférieures (Rendtorff, 1978). Le temps écoulé entre l'ingestion et l'excrétion de nouveaux kystes (période prépatente) va de 6 à 16 jours. L'infection est habituellement autorésolutive et disparaît en moyenne au bout d'une à trois semaines. Toutefois, certaines personnes peuvent rester des porteurs asymptomatiques pendant longtemps. Chez certaines personnes, en particulier les enfants, la maladie peut récidiver pendant une période pouvant aller de quelques mois à un an. Il est possible de traiter l'infection persistante grâce à un certain nombre de médicaments antiparasitaires.

Les excréments humains et animaux (notamment ceux des bovins) sont d'importantes sources de *G. lamblia*. Chez les animaux, les autres hôtes connus sont les porcs, les castors, les rats musqués, les chiens, les ovins et les chevaux. Nombre de ces animaux peuvent être infectés par *G. lamblia* de source humaine (Davies et Hibler, 1979; Hewlett et coll., 1982; Erlandsen et coll., 1988; Traub et coll., 2004, 2005; Eligio-Garcia et coll., 2005). D'après les données épidémiologiques et moléculaires, seules les souches d'origine humaine ont pu être corrélées de manière significative avec la maladie chez les humains (Hoque et coll., 2003; Stuart et coll., 2003; Berrilli et coll., 2004; Thompson, 2004; Hunter et Thompson, 2005; Ryan et coll., 2005). Les *Giardia* sont fréquemment observés dans les eaux usées et les eaux de surface. Dans les eaux usées, les concentrations sont en général de l'ordre de 5 000 à 50 000 kystes/L, tandis que dans les eaux usées domestiques traitées, elles se situent habituellement entre 50 et 500 kystes/L (Medema et coll., 2003; Pond et coll., 2004). Dans les eaux de surface, les concentrations varient généralement entre < 2 et 200 kystes/100 L (Gammie et coll., 2000). Des études canadiennes ont révélé que la majorité des isolats de *Giardia* dans les eaux de surface étaient les assemblages A et B (Edge et coll., 2013; Prystajec et coll., 2015).

Les données de surveillance publiées par les CDC pour la période 1992–2002 montrent que *Giardia* était en cause dans 9 % (6 sur 64) des éclosions de gastro-entérite signalées pour les eaux naturelles (Moore et coll., 1993; Kramer et coll., 1996; Levy et coll., 1998; Barwick et coll., 2000; Lee et coll., 2002; Yoder et coll., 2004). Plus récemment, de 2000 à 2014, on a déterminé que *Giardia* était responsable de 3 % (9 cas sur 140) de ces éclosions (Graciaa et coll., 2018). Les foyers se situaient dans des lacs et une rivière utilisés à des fins récréatives, ainsi que dans un étang. Bien que les *Giardia* n'aient jamais été mis en cause dans les éclosions enregistrées dans les eaux récréatives naturelles du Canada, il est probable que des cas se soient produits sans avoir été détectés ou signalés.

2.5.2. *Cryptosporidium*

Les *Cryptosporidium* sont de petits protozoaires parasites non mobiles. Ces organismes présentent un cycle biologique complexe, multi-stades, qui comprend la production d'oocystes ronds à paroi épaisse et stables sur le plan environnemental. On reconnaît actuellement 29 espèces appartenant à ce genre (Ryan et coll., 2014; Zahedi et coll., 2016). Deux génotypes ont principalement été associés à la maladie chez l'humain : *C. hominis* (génotype 1), qui n'est signalé que chez l'humain, et *C. parvum* (génotype 2), observé chez l'humain, les veaux et d'autres ruminants. D'autres espèces et génotypes ont été cernés, mais bien moins fréquemment. Les humains et les bovins sont les principales sources de *Cryptosporidium*. Les ovins, les porcins et les chevaux sont aussi considérés comme des réservoirs (Olson et coll., 1997). Les rongeurs ne constituent pas une source importante de *Cryptosporidium* susceptible d'infecter les humains (Roach et coll., 1993).

Les infections à *Cryptosporidium* causent des troubles de gravité variable, allant du transport asymptomatique à une maladie grave potentiellement mortelle chez les individus immunodéprimés. La maladie se caractérise principalement par une diarrhée abondante, aqueuse, non sanglante et parfois mucoïde. On constate aussi des crampes, des nausées, des vomissements, des douleurs abdominales, une perte de poids, une déshydratation, une anorexie et une faible fièvre (CDC, 2021c).

Plusieurs doses infectieuses médianes ont été rapportées pour les *Cryptosporidium* en dépit du fait que, comme dans le cas des autres agents pathogènes, un seul organisme suffise théoriquement à provoquer l'infection. La plupart des études alimentaires réalisées sur des volontaires portent à croire que la dose infectieuse médiane de *Cryptosporidium* se situerait entre 9 et 2 066 oocystes (DuPont et coll., 1995; Okhuysen et coll., 1998, 1999, 2002; Chappell et coll., 1999, 2006; Messner et coll., 2001). La période prépatente est d'environ 4 à 9 jours. La plupart des individus en bonne santé se remettent totalement, la maladie évoluant vers la guérison en une à deux semaines. Ils peuvent continuer à excréter



des oocystes dans leurs selles pendant une courte période après leur rétablissement. Dans la plupart des cas signalés concernant des personnes dont le système immunitaire est gravement affaibli (c.-à-d. les patients atteints du sida), l'infection n'est jamais complètement éliminée et peut se transformer en une infection avec de longues périodes de rémission suivies de symptômes légers. On a fait état de cas de cryptosporidiose touchant d'autres organes que l'intestin (c.-à-d. les poumons, l'oreille moyenne, le pancréas, etc.) et de décès surtout chez les personnes atteintes du sida (Farthing, 2000; Mercado et coll., 2007), mais on considère que ce sont de rares cas.

On trouve fréquemment des oocystes de *Cryptosporidium* dans des eaux souillées par des déchets humains ou par les excréments des animaux d'élevage. La contamination peut se produire par les rejets d'eaux usées, les déjections des baigneurs et les ruissellements d'eaux pluviales. Certains oiseaux aquatiques (canards, oies, bernaches) pourraient prélever ces oocystes dans leur habitat pour aller les déposer ailleurs dans leurs déjections. Les concentrations généralement mesurées dans les eaux d'égout sont de l'ordre de 1 000 à 10 000 oocystes/L (Guy et coll., 2003), tandis que dans les eaux de surface canadiennes, elles se situent habituellement entre 1 et 100 oocystes/100 L (Gammie et coll., 2000).

Les données de surveillance américaines pour la période 1992–2002 montrent que 6 (9 %) des 64 éclosions de maladies gastro-intestinales signalées comme étant liées à des eaux récréatives naturelles étaient causées par *Cryptosporidium* (Moore et coll., 1993; Kramer et coll., 1996; Levy et coll., 1998; Barwick et coll., 2000; Lee et coll., 2002; Yoder et coll., 2004). Plus récemment, de 2000 à 2014, 12 (9 %) des 140 éclosions dans des eaux récréatives étaient attribuables à cet agent pathogène (Graciaa et coll., 2018). Dans la plupart des cas, les foyers infectieux se situaient dans des lacs à vocation récréative. Une vaste éclosion dans un lac du New Jersey en 1994, qui a touché 418 personnes, a été la première éclosion de cryptosporidiose enregistrée aux États-Unis en rapport avec des eaux récréatives (Kramer et coll., 1996). La plupart des foyers de cryptosporidiose concernaient des eaux récréatives traitées (qui ne sont pas abordées dans le présent document) tels que les parcs aquatiques, les piscines communautaires et les piscines de motel (Hlavsa et coll., 2018). La surveillance au Canada est limitée. À ce jour, aucune éclosion de cryptosporidiose n'a été rapportée dans les eaux récréatives naturelles. Comme pour *Giardia*, il est probable que des cas se soient produits sans avoir été détectés ni déclarés.

2.5.3. Autres protozoaires entériques potentiellement préoccupants

Entamoeba, *Toxoplasma* et *Cyclospora* sont d'autres protozoaires pathogènes entériques potentiellement préoccupants. L'humain est le seul réservoir important d'*Entamoeba*. La plupart des infections se produisent par contact de personne à personne, mais elles peuvent également être contractées par l'ingestion d'eau et d'aliments contaminés par des matières fécales. Les infections à *Entamoeba* peuvent être asymptomatiques ou provoquer des maladies gastro-intestinales, qui peuvent s'avérer graves ou potentiellement mortelles (Kucik et coll., 2004). Les protozoaires du genre *Toxoplasma* infectent presque tous les animaux à sang chaud, dont les humains, et peuvent être excrétés dans les excréments humains et animaux. La transmission se fait généralement par l'ingestion de viande infectée crue ou insuffisamment cuite, par des aliments ou de l'eau contaminés, ou encore par la manipulation de terre ou de matières fécales de chat contaminées. La plupart des infections à *Toxoplasma* causent des symptômes bénins ressemblant à ceux de la grippe. Elles peuvent toutefois mettre en danger la vie des personnes immunodéprimées et entraîner des répercussions graves sur la santé des fœtus (y compris la mortinaissance) si elles sont contractées pendant la grossesse. En outre, les enfants qui survivent à une infection prénatale peuvent connaître une réduction considérable de leur qualité de vie (Tenter et coll., 2000). Les protozoaires du genre *Cyclospora* ressemblent à ceux du genre *Entamoeba* dans la mesure où les deux n'infectent que les humains. On pense que la transmission se fait par l'ingestion d'aliments ou d'eau contaminés par des excréments humains. Au Canada, les aliments contaminés et les voyages sont responsables de la plupart des cas de maladie déclarés (Ortega et Sanchez, 2010). L'infection à *Cyclospora* provoque des symptômes semblables à ceux associés à *Cryptosporidium*.

Les organismes des genres *Entamoeba*, *Toxoplasma* et *Cyclospora* peuvent tous vraisemblablement contaminer des eaux récréatives. Au Canada, un lien a été établi entre *Toxoplasma* et une éclosion dans l'eau potable, ce qui indique que les eaux de surface peuvent être contaminées par ces agents pathogènes (Isaac-Renton et coll., 1998). Par ailleurs, aucune éclosion dans des eaux récréatives liée à *Toxoplasma*, *Entamoeba* ou *Cyclospora* n'a été signalée au Canada. Par conséquent, selon les données actuelles, les activités aquatiques récréatives ne constitueraient pas un facteur de risque important de maladies causées par ces microorganismes.



2.6 Protozoaires libres

À la différence des protozoaires entériques, les protozoaires libres sont naturellement présents dans les eaux récréatives et n'ont pas besoin d'un hôte pour achever leur cycle biologique. La transmission à l'humain peut intervenir dans des eaux contenant l'organisme en quantité suffisante par des voies telles que l'inhalation ou le contact direct avec les muqueuses (p. ex. celle de l'œil). Certains protozoaires libres sont thermosensibles, et l'augmentation de la température des eaux utilisées à des fins récréatives peut être bénéfique à leur croissance. Les protozoaires libres provoquent des maladies de types variés, dont des infections du système nerveux central et des infections de l'œil. Une brève description des protozoaires libres pathogènes se trouve à l'annexe B. Comme ils ne sont pas d'origine fécale, il ne faut pas s'attendre à une bonne corrélation entre la présence des indicateurs fécaux et la leur. À l'heure actuelle, on ne connaît aucun indicateur microbiologique pour ces agents pathogènes.

Les protozoaires libres reconnus comme les plus importants pour les eaux récréatives naturelles sont ceux des genres *Naegleria* et *Acanthamoeba*.

2.6.1. *Naegleria fowleri*

Les *Naegleria* sont des amibes thermophiles libres vivant dans les eaux douces. Le genre *Naegleria* compte plus de 40 espèces, mais seul *N. fowleri* est pathogène chez l'humain (Marciano-Cabral et Cabral, 2007; Yoder et coll., 2010). *N. fowleri* est un microorganisme thermophile qui prolifère bien à des températures situées entre 25 et 40 °C (température optimale : 37 °C) et qui peut tolérer des températures excédant 50 à 60 °C (Hallenbeck et Brenniman, 1989; Visvesvara et coll., 2007; Zaongo et coll., 2018). Il a un cycle biologique multi-stades, dont un stade trophozoïte alimentaire mobile, un stade flagellé sans reproduction et un stade kystique résistant aux stress environnementaux. Les kystes sont la forme la plus résistante de l'organisme et peuvent survivre dans des conditions environnementales défavorables.

N. fowleri peut être observé dans les eaux douces et les sols du monde entier. Il a été isolé dans des eaux chaudes naturelles et artificielles, notamment des lacs, des rivières, des sources chaudes, des piscines, des bains d'hydrothérapie et l'eau du robinet. On le détecte le plus souvent dans les eaux douces tropicales et subtropicales, ainsi que dans les sources chaudes. Bien que la survie de *N. fowleri* dans les eaux nordiques soit moins fréquente, l'agent pathogène a été trouvé dans l'eau de lacs dans des États aussi septentrionaux que le Minnesota (Yoder et coll., 2010, 2012). Aucun réservoir humain ou animal n'a été identifié.

N. fowleri cause une maladie du système nerveux central appelée méningo-encéphalite amibienne primitive (MEAP) qui est presque toujours mortelle. Chez l'humain, l'infection survient lorsque les amibes dans l'eau ont été inhalées ou introduites avec force dans les voies nasales (p. ex. pendant un plongeon, un saut, une chute ou la nage sous l'eau). Suite à son introduction dans les voies nasales, l'organisme se déplace vers le cerveau, où il endommage les cellules du système olfactif et du cortex cérébral. La maladie se déclare rapidement, les symptômes se manifestant un à sept jours après l'exposition. Elle progresse rapidement, la mort survenant généralement dans les 5 jours (Visvesvara et coll., 2007; Chalmers, 2014b). Les symptômes comprennent de violentes céphalées, une forte fièvre et des vomissements, suivis d'une raideur du cou, d'un état mental modifié, de convulsions, puis un coma qui aboutit à la mort. Le taux de mortalité de la MEAP est extrêmement élevé (supérieur à 97 %) (Capewell et coll., 2015). La maladie peut être traitée, mais elle exige un diagnostic rapide et un traitement antimicrobien agressif (CDC, 2019b).

Les cas de MEAP sont extrêmement rares. Aux États-Unis, on les estime à environ un cas pour 2,5 millions de baigneurs (Visvesvara et Moura, 2006). De 1962 à 2015, 138 cas de MEAP ont été déclarés aux États-Unis, soit 0 à 8 cas déclarés annuellement (Cope et Ali, 2016). La majorité des expositions ont eu lieu dans des lacs et des étangs; les expositions dans des rivières ou des ruisseaux ont été beaucoup moins signalées (Yoder et coll., 2010). On a recensé quelques cas de maladie où des piscines mal entretenues étaient les sources probables d'exposition (Yoder et coll., 2010; Cope et Ali, 2016). Les cas sont plus fréquents dans le sud des États-Unis. Cependant, avec le réchauffement climatique, des cas ont été répertoriés plus au nord, par exemple, au Minnesota, au Kansas et en Indiana (Cope et Ali, 2016). Il n'y a pas à ce jour de cas de MEAP déclaré à la suite d'un contact avec des eaux récréatives canadiennes. L'essentiel des données probantes semble indiquer que la MEAP ne constitue probablement pas, au Canada, une préoccupation sanitaire. Des chercheurs ont toutefois avancé que la hausse de la température des lacs induite par le changement climatique permettrait à cet organisme d'étendre son aire de répartition (Rose et coll., 2001; Schuster et Visvesvara, 2004), ce qui pourrait avoir une incidence sur les eaux de surface canadiennes si elles se réchauffent suffisamment.

2.6.2. *Acanthamoeba*

Les *Acanthamoeba* sont des amibes libres. Le genre *Acanthamoeba* compte environ 20 génotypes différents (Juárez et coll., 2018). Le génotype d'*Acanthamoeba* T4 est le plus fréquent dans les cas de maladie et dans l'environnement. Cependant, d'autres génotypes ont été associés à des maladies (Chalmers, 2014a; Juárez et coll., 2018).



Les *Acanthamoeba* sont considérés comme omniprésents dans l'environnement. On les trouve dans les eaux douces, marines et estuariennes, les sources chaudes, les sols, les eaux usées. Les *Acanthamoeba* spp. ont de faibles besoins en nutriments et se développent à des températures comprises entre 12 et 45 °C (température optimale : 30 °C) (Chalmers, 2014a). Leur cycle de vie se compose de deux stades : un stade d'alimentation appelé trophozoïte (25 à 40 µm) et un stade kystique résistant (10 à 30 µm) qui peut supporter des températures comprises entre -20 et 56 °C et résister à la dessiccation et à la désinfection (Chalmers, 2014a; Juárez et coll., 2018).

Ce sont des agents pathogènes opportunistes qui peuvent provoquer des maladies rares, mais graves touchant les yeux, la peau, les poumons, le cerveau et le système nerveux central (Visvesvara et coll., 2007; Chalmers, 2014a; de Lacerda et Lira, 2021). La forme pathologique la plus commune est la kératite amibienne, une atteinte douloureuse de la cornée pouvant compromettre les fonctions visuelles (Juárez et coll., 2018). L'infection survient par contact direct avec la muqueuse de l'œil. La kératite amibienne est généralement associée à des pratiques d'hygiène inadéquates chez les porteurs de lentilles de contact (utilisation de solutions contaminées, désinfection insuffisante). Dans de rares cas, *Acanthamoeba* peut aussi causer des infections disséminées touchant d'abord la peau ou les poumons pour se propager ensuite à d'autres parties du corps. Un autre exemple est l'encéphalite amibienne granulomateuse, une maladie mortelle du système nerveux central. Les rares cas de maladie disséminée, qui ne seraient pas d'origine hydrique, surviennent surtout chez les personnes dont le système immunitaire est affaibli ou qui présentent une maladie sous-jacente (Chalmers, 2014a). Malgré la présence généralisée d'*Acanthamoeba* dans les milieux aquatiques, le contact avec des eaux récréatives n'est pas considéré comme un facteur de risque important d'acquisition de la maladie. Comme il a été mentionné précédemment, la majorité des cas sont liés à l'utilisation de lentilles de contact (de Lacerda et Lira, 2021). L'infection peut aussi se déclarer chez des personnes portant des lentilles de contact pour se baigner dans des lacs ou des étangs. Pour réduire ce risque, il est donc conseillé de les retirer avant de pratiquer des activités aquatiques de contact primaire (CDC, 2021b).

Comme il est mentionné à la section 2.3.2, les *Acanthamoeba* pourraient aussi être des hôtes naturels de certaines bactéries pathogènes libres, à savoir les *Legionella* et les *Mycobacterium* (Visvesvara et coll., 2007; Juárez et coll., 2018). Le fait d'être abrités à l'intérieur des *Acanthamoeba* offrirait à ces organismes un milieu propice à la reproduction, tout en les protégeant des stress environnementaux.

3.0 AUTRES DANGERS BIOLOGIQUES

La présente section fournit des conseils sur les autres organismes pouvant avoir une incidence sur la valeur récréative des eaux naturelles, en nuisant à la santé ou au confort des usagers ou en faisant obstacle à la jouissance des lieux en rendant ces derniers dangereux, désagréables d'un point de vue esthétique ou autrement inutilisables. Ces organismes sont des espèces libres qui sont naturellement présentes dans les eaux récréatives. Les autorités responsables de la gestion des eaux récréatives et le grand public devraient être tenus au courant des risques possibles que posent ces organismes, ainsi que des mesures qui peuvent être prises pour limiter les risques d'exposition. Cette liste ne se veut pas exhaustive; il revient aux autorités responsables de fournir au besoin des informations sur d'autres organismes importants sur le plan régional ou local.

3.1 Schistosomes

La dermatite du baigneur (dermatite schistosomiale ou dermatite cercarienne) est causée chez l'être humain par une réaction à la pénétration cutanée de plathelminthes parasites ou « schistosomes » qui appartiennent à la famille des *Schistosomatidae* et qui peuvent infecter certaines espèces d'oiseaux et de rongeurs aquatiques (Manitoba Water Stewardship, 2007). Les espèces connues responsables de la dermatite du baigneur comprennent les membres des genres *Austroilharzia*, *Trichobilharzia*, *Dendrotilharzia*, *Gigantobilharzia* et *Schistosomatium* (Levesque et coll., 2002; CDC, 2004a; Gordy et coll., 2018). Il convient d'établir une distinction entre cette dermatite et la schistosomiase humaine, une infection beaucoup plus grave causée par des espèces du genre *Schistosoma* qui ne s'observe d'ordinaire que dans les régions tropicales (OMS, 2003).

Les schistosomes à l'origine de la dermatite du baigneur ont un cycle biologique à deux hôtes : un hôte définitif (oiseau ou rongeur aquatique) et un hôte intermédiaire (certaines espèces d'escargots d'eau). Ce sont les escargots d'eau qui produisent la forme du parasite (c.-à-d. le cercaire) pouvant infecter les humains. Une fois qu'un escargot est infecté (p. ex. à la fin du printemps par des oiseaux aquatiques migrateurs), il faut généralement jusqu'à 1,5 mois pour que les cercaires émergent. La température de l'eau peut avoir un effet sur la libération de cercaires matures par les escargots infectés, les concentrations étant plus fortes dans les eaux plus chaudes (Verbrugge et coll., 2004). Des eaux plus chaudes et le cycle biologique du parasite expliqueraient en partie pourquoi les cas d'infection sont



plus fréquents en été. L'été est également une période où les activités aquatiques récréatives augmentent au Canada, ce qui accroît l'exposition éventuelle à ce parasite. Les eaux chaudes résultant du changement climatique pourraient entraîner une augmentation des infections par ce parasite (Gordy et coll., 2018; Kaffenberger et coll., 2016). On trouve des cercaires dans les endroits où les populations d'escargots sont denses. D'après des données sur les éclosions, ces populations se trouvent habituellement en eau peu profonde le long du rivage, particulièrement aux endroits où les plantes aquatiques sont nombreuses (Levesque et coll., 2002; Leighton et coll., 2004; Verbrugge et coll., 2004). En outre, les vents du large peuvent diriger les cercaires vers les rivages dépourvus d'escargots (Rudko et coll., 2018; Sckrabulis et coll., 2020).

Les humains sont des hôtes accidentels (ou hôtes cul-de-sac) de ces parasites. Les cercaires qui viennent en contact avec des humains pénètrent dans la couche externe de la peau, mais ils meurent rapidement, car ils ne peuvent plus continuer à se développer. La présence des cercaires sous la peau provoque une réaction allergique (c.-à-d. une dermatite schistosomiale). Les baigneurs ressentent d'abord un picotement, des démangeaisons ou une sensation de brûlure. De petits boutons rougeâtres apparaissent d'ordinaire dans les 12 heures qui suivent l'infection; ces boutons peuvent ensuite se transformer en cloques ou en éruptions cutanées accompagnées d'une sensation de démangeaison encore plus forte. Les effets de la dermatite du baigneur peuvent se faire sentir peu après la baignade, et même en quelques minutes dans certains cas. L'infection est spontanément résolutive et dure habituellement deux à cinq jours, mais les symptômes peuvent toutefois persister jusqu'à deux semaines. La dermatite du baigneur n'est pas contagieuse. Toutefois, comme elle est causée par une réaction allergique, les personnes atteintes peuvent devenir plus sensibles aux infections subséquentes. Dans ces cas-là, les symptômes deviennent plus intenses et se manifestent plus rapidement (British Columbia Ministry of Health, 2018). La sensibilité peut varier considérablement d'une personne à l'autre; certaines personnes réagissent fortement alors que d'autres ne montrent aucun signe d'infection. On recommande aux personnes qui présentent une réaction grave de consulter un professionnel de la santé pour recevoir un traitement médical. Les traitements proposés pour soulager les démangeaisons comprennent le recours à des bains de sel d'Epsom, de bicarbonate de sodium ou de farine d'avoine colloïdale et l'application de compresses froides, ainsi que l'utilisation de médicaments antiprurigineux comme les crèmes à base de corticostéroïdes ou les lotions à la calamine, et la prise d'antihistaminiques (Manitoba Water Stewardship, 2007; British Columbia Ministry of Health, 2018). On recommande aux personnes atteintes de ne pas se gratter pour éviter tout risque de surinfection bactérienne (CDC, 2004b).

Une recension des épisodes de dermatite du baigneur signalés au Canada a révélé très peu de cas documentés (seulement 280) sur une période de plus de 60 ans, et indique que seulement une ou deux éclosions se produisent tous les dix ans (Gordy et coll., 2018). Toutefois, ces infections ne sont souvent pas déclarées puisque les symptômes sont habituellement bénins et que les personnes atteintes ne jugent pas opportun de consulter un médecin. Pour mieux saisir l'ampleur de la sous-déclaration et évaluer l'incidence réelle de la dermatite du baigneur, Gordy et coll. (2018) ont utilisé des rapports de cas de dermatite du baigneur signalés de 2013 à 2017, recueillis par l'intermédiaire d'un sondage en ligne à participation volontaire mené chaque été. L'enquête a permis de recenser 3 882 cas de dermatite du baigneur pendant cinq étés. Les cas signalés sont survenus dans toutes les provinces canadiennes, sauf l'Île-du-Prince-Édouard. Des études récentes menées au Québec ont analysé les données sur des éclosions de maladies d'origine hydrique survenues entre 2005 et 2018; 11 éclosions ayant touché environ 160 personnes étaient liées aux schistosomes (Huppé et coll., 2019; Dubé et Lebel, 2022). Ces études confirment que les schistosomes présentent un risque sur certaines plages et que les utilisateurs des eaux récréatives doivent être sensibilisés aux risques potentiels dans les zones touchées.

3.1.1. Gestion des risques sanitaires liés aux schistosomes

On considère que les schistosomes responsables de la dermatite du baigneur sont présents à l'état naturel dans les eaux de surface canadiennes. Ils ne sont pas liés à la contamination fécale; leur présence n'est donc pas décelée par les analyses standard de la qualité de l'eau pour les indicateurs recommandés de contamination fécale. La présence de ces organismes dans les eaux naturelles dépend d'un certain nombre de facteurs biologiques et environnementaux. Il est donc très difficile de prédire où et quand la dermatite du baigneur risque de devenir un problème. Certaines régions peuvent signaler un problème alors qu'elles en étaient auparavant exemptes. De même, les régions où la dermatite du baigneur a été signalée ne demeureront pas nécessairement un problème. La propagation des parasites responsables de la dermatite du baigneur nécessite la présence en nombres suffisants des hôtes principaux et secondaires.

On recommande, en vue de réduire la probabilité d'exposition humaine à ces schistosomes dans les eaux récréatives, une stratégie de gestion combinant à la fois des mesures visant à contrôler la gravité du danger pour la qualité de l'eau et des mesures pour limiter l'exposition durant les périodes ou dans les régions dont on pense qu'elles présentent des risques accrus. Pour aider à contrôler la présence de schistosomes, il est notamment recommandé d'éviter de nourrir les oiseaux aquatiques et, dans la mesure du possible, d'enlever les déchets organiques qui se trouvent dans le principal habitat des escargots.



Il convient d'afficher des avis dans les zones aquatiques récréatives où des cas de dermatite du baigneur ont été signalés pour informer clairement le public du risque d'exposition. Un avis d'interdiction de baignade pourrait également être publié, à la discrétion de l'autorité responsable. Pour en savoir plus sur l'affichage de renseignements dans les zones aquatiques récréatives, consulter le document *Comprendre et gérer les risques dans les eaux récréatives* (Santé Canada, 2023b).

Une autre approche de réduction des risques consiste à distribuer du matériel informatif décrivant les mesures que chacun peut prendre pour éviter tout risque d'exposition ou, le cas échéant, réduire la gravité des symptômes d'une infection. Les conseils fournis dans les documents de communication destinés au grand public pourraient inclure les éléments suivants :

- » Les usagers des eaux récréatives devraient éviter les zones où des avis sont affichés ou les endroits où l'on soupçonne la présence de schistosomes
- » Les usagers devraient s'essuyer rapidement dès qu'ils sortent de l'eau et prendre une douche après une activité aquatique récréative
- » Les usagers se sentant indisposés à la suite d'une activité aquatique récréative devraient consulter un professionnel de la santé et, le cas échéant, alerter les autorités compétentes
- » Les usagers devraient prendre d'autres mesures pour aider à atténuer le risque potentiel dans les zones aquatiques récréatives (p. ex. ne pas nourrir les oiseaux aquatiques)

3.2 Plantes vasculaires aquatiques et algues

Les plantes vasculaires aquatiques (macrophytes) et les algues peuvent nuire à l'utilisation des eaux à des fins récréatives. Il est difficile d'estimer l'ampleur de la nuisance que peuvent causer ces organismes, que ce soit sur le plan de leur degré d'interférence avec les activités récréatives, ou sur le plan des risques potentiels pour la santé des usagers des eaux récréatives.

La présence de ces plantes vasculaires aquatiques et de ces algues peut poser un risque pour la sécurité des usagers. Les baigneurs risquent de s'empêtrer dans les feuilles des plantes aquatiques. Les amas végétaux peuvent empêcher les gens de voir le fond de l'eau et les dangers sous-marins, et empêcher les surveillants d'apercevoir les baigneurs en difficulté. Les algues qui s'agrippent aux rochers et aux autres substrats (c'est-à-dire le périphyton) peuvent les rendre glissants et provoquer des immersions non voulues dans l'eau ou des blessures.

La croissance excessive de plantes aquatiques et d'algues peut également entraîner des problèmes d'ordre esthétique dans les zones aquatiques récréatives. Les macrophytes peuvent atteindre de fortes densités et rendre les zones peu profondes, près des rives, impropres à toute activité récréative (Priyadarshi, 2005). Les amas et tapis végétaux qui se délogent peuvent s'échouer sur les rives, où leur décomposition peut conduire à une pollution des plages. En plus d'être inesthétiques, ces amas peuvent également nuire à la jouissance des lieux en produisant des odeurs désagréables et en limitant l'accès à la rive. On a par ailleurs avancé qu'ils pourraient poser un danger pour la santé en attirant des animaux indésirables et en fournissant un milieu propice à la reproduction de diverses espèces d'insectes et de bactéries (Whitman et coll., 2003). Les organismes les plus nuisibles de ce point de vue sont les espèces d'algues vertes du genre *Cladophora* (Priyadarshi, 2005). On les retrouve à la fois dans les environnements en eau douce et en mer (Whitman et coll., 2003). On a recensé de nombreuses plages et rives des Grands Lacs souillées par des masses pourrissantes et nauséabondes de ces algues. Les tapis de *Cladophora* peuvent aussi servir d'habitat secondaire à des bactéries qui risquent d'altérer la qualité de l'eau dans les zones de baignade touchées (Whitman et coll., 2003; Ishii et coll., 2006; Englebert et coll., 2008; Verhougstraete et coll., 2010) et à des bactéries associées à la mortalité massive d'oiseaux (botulisme aviaire) (Lan Chun et coll., 2015). Les proliférations d'autres espèces d'algues non toxiques peuvent également causer des problèmes esthétiques et être confondues avec des proliférations de cyanobactéries. Celles-ci constituent un problème de santé publique, car elles peuvent contenir des toxines cyanobactériennes, qui peuvent avoir des effets néfastes sur les reins, le foie et les tissus neurologiques, et le contact avec des matières cyanobactériennes peut également causer une irritation cutanée et des troubles gastro-intestinaux. On trouvera de plus amples renseignements sur les cyanobactéries dans le document *Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives au Canada – Les cyanobactéries et leurs toxines* (Santé Canada, 2022b).

L'excès de nutriments dans l'eau peut stimuler la croissance des plantes et des algues; on donne à ce phénomène le nom d'eutrophisation. Ces nutriments peuvent provenir de sources diverses, y compris les eaux de ruissellement des terres agricoles, les eaux usées domestiques et les effluents industriels, qui contribuent tous aux apports en phosphore et en azote dans les écosystèmes aquatiques et qui peuvent mener à l'eutrophisation. La détérioration de la qualité de l'eau découlant de l'eutrophisation peut réduire les possibilités d'activités récréatives (Chambers et coll., 2001; Watson et coll., 2017). Des recommandations pour la qualité de l'eau au Canada ont été élaborées pour le phosphore et l'azote, en vue de protéger le milieu aquatique contre l'accumulation de ces nutriments et leurs effets sur les organismes aquatiques (CCME, 1999).



3.2.1. Gestion des risques sanitaires

Il est déconseillé de se livrer à des activités aquatiques récréatives dans les régions où les plantes aquatiques et les algues sont présentes en quantités telles que les autorités responsables estiment qu'elles présentent un risque potentiel pour la santé ou la sécurité des usagers des eaux récréatives. On recommande de procéder à une enquête relative à la sécurité et à la salubrité du milieu au début de chaque saison de baignade, afin de déterminer les dangers possibles pour la santé et la sécurité qui pourraient se présenter dans une zone d'eaux récréatives donnée. En cas de problème, des avis peuvent être affichés pour rappeler au public que ces végétaux peuvent nuire à la visibilité des baigneurs et présenter un risque pour la sécurité des baigneurs qui s'y empêtrent. On trouvera de plus amples informations sur l'affichage de tels avis dans le document *Comprendre et gérer les risques dans les eaux récréatives* (Santé Canada, 2023b).

Le recours à des méthodes plus efficaces de nettoyage des rives pour éliminer les masses de plantes et d'algues échouées constitue une autre façon de réduire les risques pour les usagers des eaux récréatives. Les mesures de gestion qui consistent à tenter d'éliminer ces organismes des eaux naturelles ou à les traiter au moyen de produits antiparasitaires sont déconseillées et, selon l'administration, peuvent être considérées comme illicites. En effet, ces mesures nuisent au milieu aquatique et elles sont en général peu efficaces tant d'un point de vue pratique (les plantes repoussent rapidement) que d'un point de vue économique (beaucoup d'heures de travail rémunéré). Bon nombre de plantes aquatiques et d'algues offrent également un habitat important pour les poissons et les autres biotes aquatiques. Le recours à des produits antiparasitaires pour lutter contre ces organismes risque de devenir un danger pour la santé des usagers des eaux récréatives lorsqu'ils ne sont pas utilisés correctement. En outre, l'application de pesticides pourrait provoquer la libération de toxines cyanobactériennes si des cyanobactéries productrices de toxines sont présentes (Zastepa et coll., 2014) La détermination des principales sources d'apports nutritifs dans le bassin versant et l'élaboration de stratégies de réduction de ces apports constituent par ailleurs des mesures de gestion à plus long terme pouvant réduire l'incidence de ces organismes.

3.3 Autres organismes

De nombreux autres organismes peuvent nuire à l'utilisation sûre et agréable des eaux récréatives au Canada. Par exemple, sur certaines plages côtières, les méduses peuvent infliger des piqûres douloureuses et potentiellement graves aux usagers des eaux récréatives qui entrent en contact avec elles. Par ailleurs, les zones infestées de sangsues sont à éviter. Enfin, les baigneurs peuvent se blesser en marchant sur des oursins et sur des

coquilles de moules. Comme la présence de ces organismes est souvent limitée à des zones ou à des régions particulières, on recommande que, le cas échéant, les autorités responsables fournissent aux usagers des eaux récréatives les renseignements utiles à leur sujet. Il peut, par exemple, s'agir d'informer les gens sur les risques que peuvent poser ces organismes, ou de mesures permettant de réduire les risques d'exposition.



4.0 RÉFÉRENCES

Abdullahi, I.N., Fernández- Fernández, R., Juárez- Fernández, G., Martínez-Álvarez, S., Eguizábal, P., Zarazaga, M., Lozano, C., et Torres, C. (2021). Wild animals are reservoirs and sentinels of *Staphylococcus aureus* and MRSA clones: a problem with “One Health” concern. *Antibiotics*, 10: 1556.

Abe, C.M., Salvador, F.A., Falsetti, I.N., Vieira, M.A.M., Blanco, J., Blanco, J.E., Blanco, M., Machado, A.M.O., Elias, W.P., Hernandes, R.T., et Gomes, T.A.T. (2008). Uropathogenic *Escherichia coli* (UPEC) strains may carry virulence properties of diarrhoeagenic *E. coli*. *FEMS Immunol. Med. Microbiol.*, 52: 397–406.

Adeyemo F.E., Singh, G., Reddy, P., Bux, F., et Stenström, T.A (2019) Efficiency of chlorine and UV in the inactivation of *Cryptosporidium* and *Giardia* in wastewater. *PLoS ONE* 14(5): e0216040.

Adjemian, J., Daniel-Wayman, S., Ricotta, E., et Prevots, D.R. (2018). Epidemiology of nontuberculous mycobacteriosis. *Semin, Respir, Crit. Care Med.*, 39(3): 325–335.

Andino, A., et Hanning, I. (2015). *Salmonella enterica*: survival, colonization, and virulence differences among serovars. *Sci. World J.*, 2015: 520179.

Allegra, S., Berger, F., Berthelot, P., Grattard, F., Pozzetto, B., et Riffard, S. (2008). Use of flow cytometry to monitor *Legionella* viability. *Appl. Environ. Microbiol.*, 74 (24):7813–7816.

ASPC. (2004). Maladies à déclaration obligatoire en direct : leptospirose. Disponible à l’adresse : www.phac-aspc.gc.ca.

ASPC. (2010). Fiche technique santé-sécurité : agents pathogènes – *Shigella* spp. Agence de la santé publique du Canada, Ottawa (Ont.). <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/biosecurite-biosurete-laboratoire/fiches-techniques-sante-securite-agentes-pathogenes-evaluation-risques/shigella.html> [consulté en septembre 2019].

ASPC. (2018a). Système canadien de surveillance de la résistance aux antimicrobiens – Mise à jour 2018. Agence de la santé publique du Canada, Ottawa (Ont.). <https://www.canada.ca/fr/services/sante/publications/medicaments-et-produits-sante.html> [consulté en octobre 2019].

ASPC. (2018b). FoodNet Canada – Rapport annuel 2017. Agence de la santé publique du Canada, Ottawa, Canada.

ASPC. (2022). Maladies à déclaration obligatoire en direct. Cas signalés de 1924 à 2019 au Canada. Agence de la santé publique du Canada,, Ottawa, Canada. Consulté en juin 2022 à l’adresse : <https://maladies.canada.ca/declaration-obligatoire/liste-graphiques>.

AWWA (1999). Waterborne pathogens. AWWA manual of water supply practices M48. American Water Works Association, Denver, CO.

AWWA (2006). Waterborne pathogens. AWWA manual of water supply practices M48. Second edition. American Water Works Association, Denver, CO.

Backert, S., Tegtmeyer, N., Ó Cróinín, T., Boehm, M., et Heimesaat, M.M. (2017). Human campylobacteriosis. Dans : *Campylobacter – Features, Detection, and Prevention of Foodborne Disease*. Klein, G. (ed.), Elsevier Inc.

- Baptiste, K.E., Williams, K., Williams, N.J., Wattret, A., Clegg, P.D., Dawson, S., Corkill, J.E., O'Neill, T., et Hart, C.A. (2005). Methicillin-resistant staphylococci in companion animals. *Emerging Infectious Diseases*, 11(12): 1942–1944.
- Barragan, V., Olivas, S., Keim, P., et Pearson, T. (2017). Critical knowledge gaps in our understanding of environmental cycling and transmission of *Leptospira* spp. *Appl. Environ. Microbiol.*, 83: e01190-17.
- Bartrand, T.A., Causey, J.J., et Clancy, J.L. (2014). *Naegleria fowleri*: An emerging drinking water pathogen. *J. Am. Water Works Assoc.*, 106(10): E418-E432.
- Barwick, R.S., Levy, D.A., Craun, G.F., Beach, M.J., et Calderon, R.L. (2000). Surveillance for waterborne-disease outbreaks—United States, 1997–1998. *MMWR CDC Surveill. Summ.*, 49: 1–21.
- Berrilli, F., Di Cave, D., De Liberato, C., Franco, A., Scaramozzino, P., et Orecchia, P. (2004). Genotype characterisation of *Giardia duodenalis* isolates from domestic and farm animals by SSU-rRNA gene sequencing. *Vet. Parasitol.*, 122(3):193–199.
- Berry, P. et Schnitter, R. (éd.). (2022). *La santé des Canadiens et des Canadiennes dans un climat en changement – Faire progresser nos connaissances pour agir*. Ottawa (Ont.), gouvernement du Canada.
- Bhowmick, U.D., et Bhattacharjee, S. (2018). Bacteriological, clinical and virulence aspects of *Aeromonas*-associated diseases in humans. *Pol. J. Microbiol.*, 67(2): 137–149.
- Boarato-David, E., Guimarães, S., et Cacciò, S. (2017). *Giardia duodenalis*. Dans : J.B., Rose and B., Jiménez-Cisneros (eds.), *Global Water Pathogen Project*. <http://www.waterpathogens.org> (R. Fayer and W. Jakubowski, (eds) Part 3 Protists) <http://www.waterpathogens.org/book/giardia-duodenalis>, Michigan State University, E. Lansing, MI, UNESCO.
- Boost, M.V., O'Donoghue, M.M., et James, A. (2008). Prevalence of *Staphylococcus aureus* carriage among dogs and their owners. *Epidemiol. Infect.*, 136: 953–964.
- Bosch, A., Guix, S., Sano, D., et Pinto, R.M. (2008). New tools for the study and direct surveillance of viral pathogens in water. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 19(3): 295–301.
- Bosch, A., Pintó, R.M., et Guix, S. (2014). Human astroviruses. *Clin. Microbiol. Rev.*, 27(4): 1048–1074.
- British Columbia Ministry of Health (2018). Swimmer's itch. HealthLink BC File No. 52, October 2018.
- Brandão, J., Gangneux, J.P., Arikian-Akdagli, S., Barac, A., Bostanaru, A.C., Brito, S., Bull, M., Çerikçioğlu, N., Chapman, B., Efstratiou, M.A., et al. (2021). Mycosands: Fungal diversity and abundance in beach sand and recreational waters—relevance to human health. *Sci. Total Environ.*, 781: 146598.
- Bruneau, A., Rodrigue, H., Ismael, J., Dion, R., et Allard, R. (2004). Éclosion de *E. coli* O157:H7 associée à la baignade à une plage publique de la région de Montréal-Centre. *Relevé des maladies transmissibles au Canada*, 30 : 133–136.
- Burillo, A., Pedro-Botet, M.L., et Bouza, E. (2017). Microbiology and epidemiology of Legionnaires' disease. *Infect. Dis. Clin. North Am.*, 31(1): 7–27.
- Bush, E. et Lemmen, D.S., éditeurs (2019). *Rapport sur le climat changeant du Canada*, Ottawa (Ont.), gouvernement du Canada, 444 p.



- Butler, A.J., Thomas, M.K., et Pintar, K.D.M. (2015). Expert elicitation as a means to attribute 28 enteric pathogens to foodborne, waterborne, animal contact, and person-to-person transmission routes in Canada. *Foodborne Pathog. Dis.*, 12(4): 335–344.
- Calderon, R.L., Mood, E.W., et Dufour, A.P. (1991). Health effects of swimmers and nonpoint sources of contaminated water. *Int. J. Environ. Health Res.*, 1: 21–31.
- Candy, D.C. (2007). Rotavirus infection: A systemic illness? *PLoS Med.*, 4(4): e117.
- Cangelosi, G., Clark-Curtiss, J., Behr, M., Bull, T., et Stinear, T. (2004). Biology of waterborne pathogenic mycobacteria. Dans : *Pathogenic mycobacteria in water: a guide to public health consequences, monitoring and management*. IWA Publishing. World Health Organization. Geneva, Switzerland. pp. 39–54.
- Cann, K.F., Thomas, D.R., Salmon, R.L., Wyn-Jones, A.P., et Kay, D. (2013). Extreme water-related weather events and waterborne disease. *Epidemiol. Infect.* 141: 671–686.
- Capewell, L.G., Harris, A.M., Yoder, J.S., Cope, J.R., Eddy, B.A., Roy, S.L., Visvesvara, G.S., Fox, L.M., et Beach, M.J. (2015). Diagnosis, clinical course, and treatment of primary amoebic meningoencephalitis in the United States, 1937–2013. *J. Pediatric Infect. Dis. Soc.*, 4(4): e68–e75.
- Carter, M.J. (2005). Enterically infecting viruses: Pathogenicity, transmission and significance for food and waterborne infection. *J. Appl. Microbiol.*, 98(6): 1354–1380.
- Castillo, N.E., Rajasekaran, A. et Ali, S.K. (2016). Legionnaires' disease: A review. *Infect. Dis. Clin. Pract.*, 24(5): 248–253.
- Caul, E.O. (1996). Viral gastroenteritis: Small round structured viruses, caliciviruses and astroviruses. Part II. The epidemiological perspective. *J. Clin. Pathol.*, 49(12): 959–964.
- CCME (1999). *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*. Conseil canadien des ministres de l'environnement.
- CDC (2004a). *Parasites and health: cercarial dermatitis*. DPDx Laboratory Identification of Parasites of Public Health Concern. Centres for Disease Control and Prevention, Atlanta, Georgia.
- CDC (2004b). *Parasitic disease information – fact sheet: cercarial dermatitis*. Division of Parasitic Diseases. Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta, Georgia.
- CDC (2005a). *Shigellosis*. Division of Bacterial and Mycotic Diseases, Centers for Disease Control and Prevention, United States Department of Health and Human Services, Atlanta, Georgia.
- CDC (2005b). *Leptospirosis*. Division of Bacterial and Mycotic Diseases, Centers for Disease Control and Prevention, United States Department of Health and Human Services, Atlanta, Georgia.
- CDC (2008). *Surveillance for Waterborne Disease and Outbreaks Associated with Recreational Water Use and Other Aquatic Facility-Associated Health Events – United States, 2005–2006 and Surveillance for Waterborne Disease and Outbreaks Associated with Drinking Water and Water Not Intended for Drinking – United States, 2005–2006*. *Surveillance Summaries*. MMWR 2008;57 (no. SS-9).
- CDC (2013a). *Antibiotic Resistance Threats in the United States, 2013*.
- CDC (2013b). *Norovirus clinical overview*. Disponible à l'adresse : www.cdc.gov/norovirus/hcp/clinical-overview.html.

CDC (2015). Viral hepatitis – hepatitis A information. Disponible à l'adresse : www.cdc.gov/hepatitis/hav/havfaq.htm.

CDC. (2019a). Antibiotic Resistance Threats in the United States, 2019. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, CDC; 2019. Consulté en mars 2022 à l'adresse : <https://www.cdc.gov/drugresistance/biggest-threats.html>

CDC (2019b). Parasites – *Naegleria fowleri* – Primary Amebic Meningoencephalitis (PAM) – Amebic Encephalitis. General Information. Centers for Disease Control and Prevention. Atlanta, GA. <https://www.cdc.gov/parasites/naegleria/general.html> [consulté en juillet 2019].

CDC (2020). Surveillance reports for recreational water-associated disease & outbreaks. Atlanta, GA: US Department of Health and Human Services, CDC. Disponible à l'adresse : <https://www.cdc.gov/healthywater/surveillance/rec-water-surveillance-reports.html>

CDC (2021b). Parasites – *Acanthamoeba* – Granulomatous Amebic Encephalitis (GAE); Keratitis. Center for Disease Control and Prevention, Atlanta, GA. <https://www.cdc.gov/parasites/acanthamoeba/index.html> [consulté en juillet 2021].

CDC (2021c). Parasites – *Cryptosporidium* (also known as “Crypto”). Illness & Symptoms. Center for Disease Control and Prevention, Atlanta, GA. <https://www.cdc.gov/parasites/crypto/index.html> [consulté en mai 2021].

Cervero-Aragó, S., Rodríguez-Martínez, S., Puertas-Bennasar, A., et Araujo, R.M. (2015). Effect of common drinking water disinfectants, chlorine and heat, on free *Legionella* and amoebae-associated *Legionella*. PLoS ONE, 10 (8), art. no. e0134726.

Cervero-Aragó, S., Schrammel, B., Dietersdorfer, E., Sommer, R., Lück, C., Walochnik, J., et Kirschner, A. (2019). Viability and infectivity of viable but nonculturable *Legionella pneumophila* strains induced at high temperatures. Water Res., 158: 268–279.

Chakravarty, S. et Anderson, G.G. (2015). The genus *Pseudomonas*. Dans : Practical handbook of microbiology. Goldman, E. and Green, L.H. (eds.). Third edition. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL., pp. 321–343.

Chalmers, R.M. (2014a). *Acanthamoeba*. Dans : Microbiology of waterborne diseases: Microbiological aspects and risks. Second edition. Elsevier Ltd., Oxford, UK, pp. 263–276.

Chalmers, R.M. (2014b). *Naegleria*. Dans : Microbiology of waterborne diseases: Microbiological aspects and risks: Second edition. Elsevier Ltd., Oxford, UK, pp. 407–416.

Chambers, P.A., Guy, M., Roberts, E.S., Charlton, M.N., Kent, R., Gagnon, C., Grove, G. et Foster, N. (2001). Les éléments nutritifs et leurs effets sur l'environnement au Canada, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Environnement Canada, Pêches et Océans Canada, Santé Canada et Ressources naturelles Canada. 271 p.

Chappell, C.L., Okhuysen, P.C., Sterling, C.R., Wang, C., Jakubowski, W., et Dupont, H.L. (1999). Infectivity of *Cryptosporidium parvum* in healthy adults with pre-existing anti-*C. parvum* serum immunoglobulin G. Am. J. Trop. Med. Hyg., 60(1): 157–164.

Chappell, C.L., Okhuysen, P.C., Langer-Curry, R., Widmer, G., Akiyoshi, D.E., Tanriverdi, S., et Tzipori, S. (2006). *Cryptosporidium hominis*: experimental challenge of healthy adults. Am. J. Trop. Med. Hyg., 75(5):851–857.



Chapron, C.D., Ballester, N.A., Fontaine, J.H., Frades, C.N., et Margolin, A.B. (2000). Detection of astroviruses, enteroviruses, and adenovirus types 40 and 41 in surface waters collected and evaluated by the information collection rule and an integrated cell culture-nested PCR procedure. *Appl. Environ. Microbiol.*, 66: 2520–2525.

Charoencan, N. et Fujioka, R. (1995). Association of staphylococcal skin infections and swimming. *Water Sci. Technol.*, 31: 11–18.

Cheetham, S., Souza, M., McGregor, R., Meulia, T., Wang, Q., et Saif, L.J. (2007). Binding patterns of human norovirus-like particles to buccal and intestinal tissues of gnotobiotic pigs in relation to A/H histo-blood group antigen expression. *J. Virol.*, 81(7): 3535–3544.

Christenson, J.C. (2013). *Salmonella* infections. *Pediatr Rev*, 34(9): 375–383.

City of Hamilton (2020). Public Health responding to *E. coli* outbreak at Valens Lake Conservation Area. City of Hamilton News Releases. Disponible à l'adresse : <https://www.hamilton.ca/government-information/news-centre/news-releases/public-health-responding-e-coli-outbreak-valens>.

Cliver, D.O. et Moe, C.L. (2004). Prospects of waterborne viral zoonoses. Dans : *Waterborne zoonoses: identification, causes, and control*. Cotruvo, J.A., Dufour, A., Rees, G., Bartram, J., Carr, R., Cliver, D.O., Craun, G.F., Fayer, R., and Gannon, V.P.J. (eds.). IWA Publishing, London, UK, pp. 242–254.

Chia, J.K. et Chia, A.Y. (2008). Chronic fatigue syndrome is associated with chronic enterovirus infection of the stomach. *J. Clin. Pathol.*, 61(1): 43–48.

Cope, J.R. et Ali, I.K. (2016). Primary Amebic Meningoencephalitis: What have we learned in the last 5 years? *Curr. Infect. Dis. Rep.*, 18: 31.

Corsi, S.R., Borchardt, M.A., Spencer, S.K., Hughes, P.E., et Baldwin, A.K. (2014). Human and bovine viruses in the Milwaukee River watershed: Hydrologically relevant representation and relations with environmental variables. *Sci. Total Environ.*, 490: 849–860.

Cotton, J.A., Beatty, J.K., et Buret, A.G. (2011). Host parasite interactions and pathophysiology in *Giardia* infections. *Int. J. Parasitol.*, 41(9):925–933.

Crabtree, K.D., Gerba, C.P., Rose, J.B., et Haas, C.N. (1997). Waterborne adenovirus: a risk assessment. *Water Sci. Technol.*, 35: 1–6.

Croxen, M.A., Law, R.J., Scholz, R., Keeney, K.M., Wlodarska, M., et Finlay, B.B. (2013). Recent advances in understanding enteric pathogenic *Escherichia coli*. *Clin. Microbiol. Rev.*, 26(4): 822–880.

David, M.Z., et Daum, R.S. (2010). Community-associated methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*: epidemiology and clinical consequences of an emerging epidemic. *Clin. Microbiol. Rev.*, 23(3): 616–687.

Davies, R.B., et Hibler, C.P. (1979). Animal reservoirs and cross-species transmission of *Giardia*. Dans : *Waterborne transmission of giardiasis*. Jakubowski, W. and Hoff, J.C. (eds.). EPA 600/9-79-001, United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, pp. 104–126.

De Groote, M.A. (2004). Disease resulting from contaminated equipment and invasive procedures. Dans : *Pathogenic mycobacteria in water – A guide to public health consequences, monitoring and management*. S. Pedley et al. (eds). World Health Organization, Geneva, Switzerland. pp: 131–142.

- de Lacerda, A.G., et Lira, M. (2021). Acanthamoeba keratitis: a review of biology, pathophysiology and epidemiology. *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 41: 116–135.
- Degnan, A.J. (2006). Chapter 16: *Pseudomonas*. Dans : Waterborne pathogens. AWWA manual of water supply practices M48.. Second edition. American Water Works Association, Denver, CO, pp. 131–134.
- Dekker, J.P. et Frank, K.M. (2015). *Salmonella*, *Shigella*, and *Yersinia*. *Clin. Lab. Med.*, 35(2): 225–246.
- Denis-Mize, K., Fout, G.S., Dahling, D.R., et Francy, D.S. (2004). Detection of human enteric viruses in stream water with RT-PCR and cell culture. *J. Water Health*, 2(1): 37–47.
- Denno, D.M., Keene, W.E., Hutter, C.M., Koepsell, J.K., Patnode, M., Flodin-Hursh, D., Stewart, L.K., Duchin, J.S., Rasmussen, L., Jones, R., et Tarr, P.I. (2009). Tri-county comprehensive assessment of risk factors for sporadic reportable bacterial enteric infection in children. *J. Infect. Dis.*, 199: 467–476.
- Devos, L., Boon, N. et Verstraete, W. (2005). *Legionella pneumophila* in the environment: The occurrence of a fastidious bacterium in oligotrophic conditions. *Rev. Environ. Sci. Bio.*, 4 (1–2): 61–74.
- Dorevitch, S., Dworkin, M.S., DeFlorio, S.A., Janda, W.M., Wuellner, J., et Hershaw, R.C. (2012). Enteric pathogens in stool samples of Chicago-area water recreators with new onset gastrointestinal symptoms. *Water Res.*, 46: 4961–4972.
- Dubé, M. et Lebel, G. (2022). Bilan des éclosions de maladies d'origine hydrique au Québec de 2017 à 2018. Bulletin d'information en santé environnementale. Québec. Disponible à l'adresse : <https://www.inspq.qc.ca/publications/bilan-eclosions-maladies-origine-hydrique-quebec-2017-2018>.
- Dufour, A., Wade, T.J., et Kay D. (2012). Epidemiological studies on swimmer health effects associated with potential exposure to zoonotic pathogens in bather beach water – a review. Dans : Animal Waste, Water Quality and Human Health. Dufour, A., Bartram, J., Bos, R., and Gannon, V. IWA Publishing, London, UK.
- DuPont, H.L., Chappell, C.L., Sterling, C.R., Okhuysen, P.C., Rose, J.B., et Jakubowski, W. (1995). The infectivity of *Cryptosporidium parvum* in healthy volunteers. *N. Engl. J. Med.*, 332: 855–859.
- Economy, L.M., Wiegner, T.N., Strauch, A.M., Awaya, J.D., et Gerken, T. (2019). Rainfall and streamflow effects on estuarine *Staphylococcus aureus* and fecal indicator bacteria concentrations. *J. Environ. Qual.*, 48: 1711–1721.
- Edelstein, P.H., et Roy, C.R. (2015). Legionnaires' disease and Pontiac fever. Dans : Mandell, Douglas, and Bennett's principles and practice of infectious diseases. Bennett, J.E. et al. (eds.). Saunders. Philadelphia, PA. pp. 2633–2644.
- Edge, T.A., Khan, I.U.H., Bouchard, R., Guo, J., Hill, S., Locas, A., Moore, L., Neumann, N., Nowak, E., Payment, P., Yang, R., Yerubandi, R., et Watson, S. (2013). Occurrence of waterborne pathogens and *Escherichia coli* at offshore drinking water intakes in Lake Ontario. *Appl. Environ. Microbiol.*, 79(19): 5799–5813.
- Eligio-García, L., Cortes-Campos, A., et Jiménez-Cardoso, E. (2005). Genotype of *Giardia intestinalis* isolates from children and dogs and its relationship to host origin. *Parasitol. Res.*, 97(1):1–6.
- Englebert, E.T., McDermott, C., et Kleinheinz, G.T. (2008). Effects of the nuisance algae, *Cladophora*, on *Escherichia coli* at recreational beaches in Wisconsin. *Sci. Total Environ.*, 404:10–17.
- Eregno, F.E., Tryland, I., Tjomsland, T., Myrmel, M., Robertson, L., et Heistad, A. (2016). Quantitative microbial risk assessment combined with hydrodynamic modelling to estimate the public health risk associated with bathing after rainfall events. *Sci. Total Environ.*, 548–549: 270–279.



Erlandsen, S.L., Sherlock, L.A., Januschka, M., Schupp, D.G., Schaefer, F.W. III, Jakubowski, W., et Bemrick, W.J. (1988). Cross-species transmission of *Giardia* spp.: inoculation of beavers and muskrats with cysts of human, beaver, mouse, and muskrat origin. *Appl. Environ. Microbiol.*, 54(11): 2777–2785.

Estes, M.K., et Greenberg, H.B. (2013). Rotaviruses. Dans : *Fields virology*. Knipe, D.M. and Howley, P.M. (eds.). Sixth edition. Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, PA., pp. 1347–1401.

Falkinham, J.O. (2015). The *Mycobacterium avium* complex and slowly growing mycobacteria. Dans : *Molecular medical microbiology*. Second edition. Elsevier Ltd., London, UK. pp. 1669–1678.

Falkinham, J.O. III, Hilborn, E.D., Arduino, M.J., Pruden, A., et Edwards, M.A. (2015). Epidemiology and ecology of opportunistic premise plumbing pathogens: *Legionella pneumophila*, *Mycobacterium avium*, and *Pseudomonas aeruginosa*. *Environ. Health Perspect.*, 123(8): 749–758.

Falkinham, J.O. III (2016a). Current epidemiologic trends of the nontuberculous mycobacteria (NTM). *Curr. Environ. Health Rep.*, 3(2): 161–167.

Falkinham, J.O. (2016b). Nontuberculous mycobacteria: Community and nosocomial waterborne opportunistic pathogens. *Clin. Microbiol. Newsl.*, 38(1): 1–7.

Farthing, M.J. (2000). Clinical aspects of human cryptosporidiosis. *Contrib. Microbiol.*, 6:50–74.

Ferley, J.P., Zmirou, D., Balducci, F., Baleux, B., Fera, P., Larbaigt, G., Jacq, E., Moissonnier, B., Blineau, A., et Boudot, J. (1989). Epidemiological significance of microbiological pollution criteria for river recreational waters. *Int. J. Epidemiol.*, 18: 198–205.

Fields, B.S., Benson, R.F. et Besser, R.E. (2002). *Legionella* and Legionnaires' disease: 25 years of investigation. *Clin. Microbiol. Rev.*, 15(3): 506–526.

Fogarty, L.R., Haack, S.K., Johnson, H.E., Brennan, A.K., Isaacs, N.M., et Spencer, C. (2015). *Staphylococcus aureus* and methicillin-resistant *S. aureus* (MRSA) at ambient freshwater beaches. *J. Water Health*, 13(3): 680–692.

Fricker, C.R. (2006). *Campylobacter*. Dans : *Waterborne pathogens*. AWWA manual of water supply practices M48. Second edition. American Water Works Association, Denver CO. pp. 87–91.

FSA (2000). A report of the study of infectious intestinal disease in England. Food Standards Agency, HMSO, London, UK.

Gammie, L., Goatcher, L., et Fok, N. (2000). A *Giardia/Cryptosporidium* near miss? Dans : *Proceedings of the 8th National Conference on Drinking Water*, Quebec City, Quebec, October 28–30, 1998. Canadian Water and Wastewater Association, Ottawa, Ontario.

Geldreich, E.E. (revised by Degnan, A.J.) (2006). *Pseudomonas*. Dans : *Waterborne pathogens*. AWWA manual of water supply practices M48. Second edition. American Water Works Association, Denver, CO. pp. 131–134.

George, K.L., Parker, B.C., Gruft, H., et Falkinham III, J.O. (1980). Epidemiology of infection by nontuberculous mycobacteria. II. Growth and survival in natural waters. *Am. Rev. Respir. Dis.*, 122 (1): 89–94.

George, S., Muhaj, F.F., Nguyen, C.D., et Tyring, S.K. (2022). Part I Antimicrobial resistance: bacterial pathogens of dermatologic significance and implications of rising resistance. *J. Am. Acad. Dermatol.*, 86(6): 1189–1204.

Gerba, C.P. (2000). Assessment of enteric pathogen shedding by swimmers during recreational activity and its impact on water quality. *Quant. Microbiol.*, 2: 55–68.

Gofti-Laroche, L., Gratacap-Cavallier, B., Demanse, D., Genoulaz, O., Seigneurin, J.M., et Zmirou, D. (2003). Are waterborne astrovirus implicated in acute digestive morbidity (E.M.I.R.A. study)? *J. Clin. Virol.*, 27(1): 74–82.

Goodwin, K.D., McNay, M., Cao, Y., Ebentier, D., Madison, M., et Griffith, J.F. (2012). A multi-beach study of *Staphylococcus aureus*, MRSA, and enterococci in seawater and beach sand. *Water Res.*, 46: 4195–4207.

Gordy, M.A., Cobb, T.P., et Hanington, P.C. (2018). Swimmer's itch in Canada: a look at the past and a survey of the present to plan for the future. *Environ. Health*, 17: 73.

Gouvernement du Canada (2020). Programme national de surveillance des maladies entériques (PNSME)=Sommaire annuel 2019, Agence de la santé publique du Canada, Guelph (Ont.).

Gouvernement du Canada (2022a). Norovirus. Consulté en juin 2022 à l'adresse : <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/intoxication-alimentaire/norovirus.html>.

Gouvernement du Canada (2022b). Symptômes de l'hépatite E. Consulté en juin 2022 à l'adresse : <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/maladies/hepatite-e/symptomes-hepatite-e.html>.

Gouvernement du Canada (2022c). Fiche de renseignements – *Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline (SARM) d'origine communautaire. Consulté en juin 2022 à l'adresse : <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/maladies-infectieuses/fiche-renseignements-staphylococcus-aureus-resistant-a-methicilline-sarm-origine-communautaire.html>.

Graciaa, D.S., Cope, J.R., Roberts, V.A., Cikesh, B.L., Kahler, A.M., Vigar, M., Hilborn, E.D., Wade, T.J., Backer, L.C., Montgomery, S.P., Secor, W.E., Hill, V.R., Beach, M.J., Fullerton, K.E., Yoder, J.S., et Hlavsa, M.C. (2018). Outbreaks associated with untreated recreational water – United States, 2000–2014. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 67(25): 701–706.

Graham, D.Y., Jiang, X., Tanaka, T., Opekun, A.R., Madore, H.P., et Estes, M.K. (1994). Norwalk virus infection of volunteers: new insights based on improved assays. *J. Infect. Disease*, 170: 34–43.

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

Graziani, C., Losasso, C., Luzzi, I., Ricci, A., Scavia, G., et Pasquali, P. (2017). *Salmonella*. Dans : *Foodborne diseases: Third edition*. Dodd, C. et al. (eds.). Academic Press. Cambridge, MA. pp. 133–169.

Griffin, D.W., Gibson, C.J., Lipp, E.K., Riley, K., Paul, J.H. III, et Rose, J.B. (1999). Detection of viral pathogens by reverse transcriptase PCR and of microbial indicators by standard methods in the canals of the Florida Keys. *Appl. Environ. Microbiol.*, 65: 4118–4125.

Griffith, J.F., Weisberg, S.B., Arnold, B.F., Cao, Y., Schiff, K.C., et Colford Jr., J.M. (2016). Epidemiologic evaluation of multiple alternate microbial water quality monitoring indicators at three California beaches. *Water Res.*, 94: 371–381.

Guy, R.A., Payment, P., Krull, U.J., et Horgen, P.A. (2003). Real-time PCR for quantification of *Giardia* and *Cryptosporidium* in environmental water samples and sewage. *Appl. Environ. Microbiol.*, 69(9): 5178–5185.



- Guy, R.A., Arsenault, J., Kotchi, S.O., Gosselin-Théberge, M., Champagne, M.J., et Berthiaume, P. (2018). *Campylobacter* in recreational lake water in southern Quebec, Canada: presence, concentration, and association with precipitation and ruminant farm proximity. *J. Water Health*, 16(4): 516–529.
- Haack, S.K., Fogarty, L.R., Stezer, E.A., Fuller, L.M., Brennan, A.K., Isaacs, N.M., et Johnson, H.E. (2013). Geographic setting influences Great Lakes beach microbiological water quality. *Environ. Sci. Technol.*, 47: 12054–12063.
- Haake, D.A. et Levett, P.N. (2015) *Leptospirosis in Humans*. Dans : Adler, B. (ed.) *Leptospira and Leptospirosis*. Current Topics in Microbiology and Immunology, vol 387. Springer, Berlin.
- Haas, C.N., Rose, J.B., et Gerba, C.P. (2014). *Quantitative microbial risk assessment*. Second edition. John Wiley, New York, NY.
- Hall, N.H. (2006). *Legionella*. Dans : *Waterborne pathogens*. AWWA manual of water supply practices M48. Second edition.: American Water Works Association, Denver CO. pp. 119–124
- Hallenbeck, W.H., et Brenniman, G.R. (1989). Risk of fatal amebic meningoencephalitis from waterborne *Naegleria fowleri*. *Environ. Manag.*, 13(2): 227–232.
- Hamilton, K.A., Weir, M.H., et Haas, C.N. (2017). Dose response models and a quantitative microbial risk assessment framework for the *Mycobacterium avium* complex that account for recent developments in molecular biology, taxonomy, and epidemiology. *Water Res.*, 109: 310–326.
- Hanevik, K., Wensaas, K., Rortveit, G., Egil Eide, G., Mørch, et Langeland, N. (2014). Irritable bowel syndrome and chronic fatigue 6 years after *Giardia* infections: a controlled prospective cohort study. *Clin. Infect. Dis.*, 59(10): 1394–1400.
- Heaney, C.D., Sams, E., Wing, S., Marshall, S., Brenner, K., Dufour, A.P. et Wade, T.J. (2009). Contact with beach sand among beachgoers and risk of illness. *Am. J. Epidemiol.*, 170(2): 164–172. Epub 2009 Jun 18.
- Heany, C.E., Sams, E., Dufour, A.P., Brenner, K.P., Haugland, R.A., Chern, E., Wing, S., Marshall, S., Love, D.C., Serre, M., Noble, R. et Wade, T.J. (2012). Fecal indicators in sand, sand contact, and risk of enteric illness among beachgoers. *Epidemiology*, 23(1): 95–106.
- Hellein, K.N., Battie, C., Tauchman, E., Lund, D., Oyarzabal, O.A., et Lepo, J.E. (2011) Culture-based indicators of fecal contamination and molecular microbial indicators rarely correlate with *Campylobacter* spp. in recreational waters. *J. Water Health*, 9: 695–707.
- Hewlett, E.L., Andrews, J.S., Jr., Ruffier, J., et Schaefer, and F.W. III (1982). Experimental infection of mongrel dogs with *Giardia lamblia* cysts and cultured trophozoites. *J. Infect. Dis.*, 145(1): 89–93.
- Hibler, C.P., Hancock, C.M., Perger, L.M., Wegrzyn, J.G., et Swabby, K.D. (1987). Inactivation of *Giardia* cysts with chlorine at 0.5 to 5.0°C. Technical Research Series, American Water Works Association, Denver, CO. 39 pp.
- Hintaran, A.D., Kliffen, S.J., Lodder, W., Pijnacker, R., Brandwagt, D., van der Bij, A.K., Siedenburger, E., Sonder, G.J.B., Fanoy, E.B., et Joosten, R.E. (2018). Infection risk of city canal swimming events in the Netherlands in 2016. *PLoS One*, 13(7): e0200616.
- Hlavsa, M.C., Cikesh, B.L., Roberts, V.A., Kahler, A.M., Vigar, M., Hilborn, E.D., Wade, T.J., Roellig, D.M., Murphy, J.L., Xiao, L., Yates, K.M., Kunz, J.M., Arduino, M.J., Reddy, S.C., Fullerton, K.E., Cooley, L.A., Beach, M.J., Hill, V.R., et Yoder, J.S. (2018). Outbreaks associated with treated recreational water — United States, 2000–2014. *Am. J. Transplant.*, 18(7): 1815–1819.

- Hoque, M.E., Hope, V.T., Scragg, R., et Kjellstrom, T. (2003). Children at risk of giardiasis in Auckland: a case-control analysis. *Epidemiol. Infect.*, 131(1): 655–662.
- Huang, H., Brooks, B.W., Lowman, R., et Carrillo, C.D. (2015). *Campylobacter* species in animal, food, and environmental sources, and relevant testing programs in Canada. *Can. J. Microbiol.*, 61(10): 701–721.
- Hunter, P.R. (1997). *Waterborne disease—epidemiology and ecology*. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
- Hunter, P.R. et Thompson, R.C. (2005). The zoonotic transmission of *Giardia* and *Cryptosporidium*. *Int. J. Parasitol.*, 35(11–12): 1181–1190.
- Huppé, V., Gauvin, D., et Lévesque, B. (2019). La qualité des eaux récréatives au Québec et les risques à la santé. Institut national de santé publique du Québec. Disponible à l'adresse : <https://www.inspq.qc.ca/publications/2501>
- Hutson, A.M., Atmar, R.L., Marcus, D.M., et Estes, M.K. (2003). Norwalk virus-like particle hemagglutination by binding to H histoblood group antigens. *J. Virol.*, 77: 405–415.
- Isaac-Renton, J., Bowie, W.R., King, A., Irwin, G.S., Ong, C.S., Fung, C.P., Shokeir, M.O., et Dubey, J.P. (1998). Detection of *Toxoplasma gondii* oocysts in drinking water. *Appl. Environ. Microbiol.*, 64(6): 2278–2280.
- Ishii, S., Yan, T., Shively, D.A., Byappanahalli, M.N., Whitman, R.L., et Sadowsky, M.J. (2006). *Cladophora* (Chlorophyta) spp. harbor human bacterial pathogens in nearshore water of Lake Michigan. *Appl. Environ. Microbiol.*, 72(7): 4545–4553.
- Ishii, S. et Sadowsky, M.J. (2008). *Escherichia coli* in the environment: Implications for water quality and human health. *Microbes Environ.*, 23(2): 101–108.
- James, A.E., Kesteloot, K., Paul, J.T., McMullen, R.L., Louie, S., Waters, C., Dillaha, J., Tumilson, J., Haselow, D.T., Smith, J.C., Lee, S., Ritter, T., Lucas, C., Kunz, J., Miller, L.A., et Said, M.A. (2022). Potential association of Legionnaires' Disease with hot spring water, Hot Springs National Park and Hot Springs, Arkansas, USA, 2018–2019. *Emerging Infections Diseases*, 28(1):44–50.
- Janda, J.M. et Abbott, S.L. (2010). The genus *Aeromonas*: Taxonomy, pathogenicity, and infection. *Clinical Microbiology Reviews*, 23(1): 35–73.
- Jiang, S.C. et Chu, W. (2004). PCR detection of pathogenic viruses in southern California urban rivers. *J. Appl. Microbiol.*, 97: 17–28.
- Jofre, J., Lucena, F., Blanch, A.R. (2021) Coliphages as a complementary tool to improve the management of urban wastewater treatments and minimize health risks in receiving waters. *Water*, 13:1110
- Jokinen, C.C., Koot, J., Cole, L., Desruisseau, A., Edge, T.A., Khan, I.U.H., Koning, W., Lapen, D.R., Pintar, K.D.M., Reid-Smith, R., Thomas, J.L., Topp, E., Wang, L.Y., Wilkes, G., Ziebell, K., van Bochove, E., et Gannon, V.P.J. (2015). The distribution of *Salmonella enterica* serovars and subtypes in surface water from five agricultural regions across Canada. *Water Res.*, 76: 120–131.
- Jones, T.H., Brassard, J., Topp, E., Wilkes, G., et Lapen, D.R. (2017). Waterborne viruses and F-specific coliphages in mixed-use watersheds: microbial associations, host specificities, and affinities with environmental/land use factors. *Appl. Environ. Microbiol.*, 83:e02763-16.



- Juárez, M.M., Tártara, L.I., Cid, A.G., Real, J.P., Bermúdez, J.M., Rajal, V.B., et Palma, S.D. (2018). *Acanthamoeba* in the eye, can the parasite hide even more? Latest developments on the disease. *Cont. Lens Anterior Eye*, 41(3): 245–251.
- Kadykalo, S., Thomas, J., Parmley, E.J., Pintar, K., et Fleury, M. (2020). Antimicrobial resistance of *Salmonella* and generic *Escherichia coli* isolated from surface water samples used for recreation and a source of drinking water is southwestern Ontario, Canada. *Zoonoses Public Health*, 67: 566–575.
- Kaffenberger, B.H., Shetlar, D., Norton, S.A., et Rosenbach, M. (2017). The effect of climate change on skin disease in North America. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 76(1): 140–147.
- Kaur, S. (2014). Chapter 9: Pathogenic mycobacteria and water. Dans : *Water and health*. Singh, P.P. and Sharma, V. (eds.) Springer. India. pp. 137–153.
- Keithlin, J., Sargeant, J., Thomas, M.K., et Fazil, A. (2014). Chronic sequelae of *E. coli* O157: Systematic review and meta-analysis of the proportion of *E. coli* O157 cases that develop chronic sequelae. *Foodborne Pathog. Dis.*, 11(2): 79–95.
- Keithlin, J., Sargeant, J.M., Thomas, M.K., et Fazil, A. (2015). Systematic review and meta-analysis of the proportion of non-typhoidal *Salmonella* cases that develop chronic sequelae. *Epidemiol. Infect.*, 143: 1333–1351.
- Khan, I.U.H., Loughborough, A., et Edge, T.A. (2009). DNA-based real-time detection and quantification of aeromonads from fresh water beaches on Lake Ontario. *J. Water Health*, 7(2): 312–323.
- Khan, I.U.H., Hill, S., Nowak, E., Palmer, M.E., Jarjanzai, H., Lee, D.Y., Mueller, M., Schop, R., Weir, S., Irwin Abbey, A.M.I., Winter, J., et Edge, T.A. (2013a). Investigation of the prevalence of thermophilic *Campylobacter* species at Lake Simcoe recreational beaches. *Inland Wat.*, 3: 93–104.
- Khan, I.U.H., Hill, S., Nowak, E., et Edge, T.A. (2013b). Effect of incubation temperature on the detection of thermophilic *Campylobacter* species from freshwater beaches, nearby wastewater effluents, and bird fecal droppings. *Appl. Environ. Microbiol.*, 79(24): 7639–7645.
- Kobayashi, M., Oana, K., et Kawakami, Y. (2014). Bath water contamination with *Legionella* and nontuberculous mycobacteria in 24-hour home baths, hot springs, and public bathhouses in Nagano Prefecture, Japan. *Jpn. J. Infect. Dis.*, 67: 276–281.
- Kothary, M.H. et Babu, U.S. (2001). Infective dose of foodborne pathogens in volunteers: A review. *J. Food Safety*, 21(1): 49–73.
- Kramer, M.H., Herwaldt, B.L., Craun, G.F., Calderon, R.L., et Juraneck, D.D. (1996). Surveillance for waterborne-disease outbreaks—United States, 1993–1994. *MMWR CDC Surveill. Summ.*, 45: 1–33.
- Krikelis, V., Spyrou, N., Markoulatos, P., et Serie, C. (1985). Seasonal distribution of enteroviruses and adenoviruses in domestic sewage. *Can. J. Microbiol.*, 31: 24–25.
- Kucik, C.J., Martin, G.L., et Sortor, B.V. (2004). Common intestinal parasites. *Am. Fam. Physician*, 69(5):1161–1168.
- La Rosa, G., Bonadonna, L., Lucentini, L., Kenmoe, S., et Suffredini, E. (2020). Coronavirus in water environments: occurrence, persistence and concentration methods – a scoping review. *Water Res.*, 179: 115899.
- Laitinen, O.H., Honkanen, H., Pakkanen, O., Oikarinen, S., Hankaniemi, M.M., Huhtala, H., Ruokoranta, T., Lecouturier, V., André, P., Harju, R., Virtanen, S.M., Lehtonen, J., Almond, J.W., Simell, T., Simell, O., Ilonen, J.,

- Veijola, R., Knip, M., et Hyöty, H. (2014). Coxsackievirus B1 is associated with induction of β -cell autoimmunity that portends type 1 diabetes. *Diabetes*, 63: 446–455.
- Lan Chun, C., Kahn, C.I., Borchert, A.J., Byappanahalli, M.N., Whitman, R.L., Peller, J., Pier, C., Lin, G., Johnson, E.A., et Sadowsky, M.J. (2015). Prevalence of toxin-producing *Clostridium botulinum* associated with the macroalga *Cladophora* in three Great Lakes: growth and management. *Sci. Total Environ.*, 511: 523–529.
- Laverick, M.A., Wyn-Jones, A.P., et Carter, M.J. (2004). Quantitative RT-PCR for the enumeration of noroviruses (Norwalk-like viruses) in water and sewage. *Lett. Appl. Microbiol.*, 39: 127–136.
- LeChevallier, M.W., (2006). *Mycobacterium avium* complex. Dans : Waterborne pathogens. AWWA manual of water supply practices M48. Second edition. American Water Works Association, Denver CO. pp. 125–130.
- Lee, S.H., Levy, D.A., Craun, G.F., Beach, M.J., et Calderon, R.L. (2002). Surveillance for waterborne-disease outbreaks—United States, 1999–2000. *MMWR CDC Surveill. Summ.*, 51: 1–47.
- Lee, C.S., Lee, C., Marion, J., Want, Q., Saif, L., et Lee, J. (2014). Occurrence of human enteric viruses at freshwater beaches during swimming season and its link to water inflow. *Sci. Total Environ.*, 472: 757–766.
- Leighton, B.J., Ratzlaff, D., McDougall, C., Stewart, G., Nadine, A., et Gustafson, L. (2004). Schistosome dermatitis at Crescent Beach—preliminary report. *Environ. Health Rev.*, Spring: 5–13.
- Lennon, G., Cashman, O., Lane, K., Cryan, B., et O’Shea, H. (2007). Prevalence and characterization of enteric adenoviruses in the south of Ireland. *J. Med. Virol.*, 79(10): 1518–1526.
- Leoni, E., Catalani, F., Marini, S., et Dallolio, L. (2018). Legionellosis associated with recreational waters: a systematic review of cases and outbreaks in swimming pools, spa pools, and similar environments. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 15: 1612.
- Levantesi, C., Bonadonna, L., Briancesco, R., Grohmann, E., Toze, S., et Tandoi, V. (2012). *Salmonella* in surface and drinking water: occurrence and water-mediated transmission. *Food Res. Int.*, 45: 587–602.
- Lévesque, B., Giovenazzo, P., Guerrier, P., Laverdière, D., et Prud’Homme, H. (2002). Investigation of an outbreak of cercarial dermatitis. *Epidemiol. Infect.*, 129: 379–386.
- Levett P.N. (2015) Systematics of *Leptospiraceae*. Dans : *Leptospira and Leptospirosis. Current Topics in Microbiology and Immunology*, vol 387. Adler, B. (ed.). Springer, Berlin.
- Levin-Edens, E., Soge, O.O., No, D., Stiffarm, A., Meschke, J.S., et Roberts, M.C. (2012). Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* from Northwest marine and freshwater recreational beaches. *FEMS Microbiol. Ecol.*, 79: 412–420.
- Levy, D.A., Bens, M.S., Craun, G.F., Calderon, R.L, et Herwaldt, B.L. (1998). Surveillance for waterborne-disease outbreaks—United States, 1995–1996. *MMWR CDC Surveill. Summ.*, 47: 1–34.
- Levy, K., Woster, A.P., Goldstein, R.S., et Carlton, E.J. (2016). Untangling the impacts of climate change on waterborne diseases: a systematic review of relationships between diarrheal diseases and temperature, rainfall, flooding and drought. *Environ. Sci. Technol.*, 50: 4905–4922.
- Lightfoot, D. (2004). *Salmonella* and other enteric organisms. Dans : *Waterborne zoonoses: identification, causes, and control*. Cotruvo, J.A., Dufour A., Rees, G., Bartram, J., Carr, R., Cliver, D.O., Craun, G.F., Fayer, R., et Gannon, V.P.J. (eds.). IWA Publishing, London, UK pp. 228–241.



Lindesmith, L., Moe, C., Marionneau, S., Ruvoën, N., Jiang, X., Lindblad, L., Stewart, P., Lependu, J., et Baric, R. (2003). Human susceptibility and resistance to Norwalk virus infection. *Nat. Med.*, 9(5): 548–553.

Lipp, E.K., Kurz, R., Vincent, R., Rodriguez-Palacios, C., Farrah, S.R., et Rose, J.B. (2001). The effects of seasonal variability and weather on microbial fecal pollution and enteric pathogens in a subtropical estuary. *Estuaries*, 24: 266–276.

Lönnrot, M., Korpela, K., Knip, M., Ilonen, J., Simell, O., Korhonen, S., Savola, K., Muona, P., Simell, T., Koskela, P., et Hyöty, H. (2000). Enterovirus infections as a risk factor for β -cell autoimmunity in a prospectively observed birth cohort: The Finnish diabetes prediction and prevention study. *Diabetes*, 49(8): 1314–1318.

LPSN (2019). List of prokaryote names with standing in nomenclature (LPSN). Consulté en juin 2019 à l'adresse : www.bacterio.net.

LPSN (2020) Genus *Pseudomonas*. Consulté en octobre 2020 à l'adresse : <https://www.bacterio.net/genus/pseudomonas>.

MacIntyre, C.R., Dyda, A., Bui, C.M. et Chughtai, A.A. (2018). Rolling epidemic of Legionnaires' disease outbreaks in small geographic areas. *Emerg. Microbes Infect.*, 7(1): 36.

Manitoba Water Stewardship (2007). Manitoba's water protection handbook. Manitoba Water Stewardship, Winnipeg, MB. Disponible à l'adresse : https://www.gov.mb.ca/sd/pubs/water/lakes-beaches-rivers/water_protection_handbook.pdf

Marciano-Cabral, F., et Cabral, G.A. (2007). The immune response to *Naegleria fowleri* amebae and pathogenesis of infection. *FEMS Immunol. Med. Microbiol.*, 51(2): 243–259.

Marino, F., Moringo, M., Martinez-Manzanares, E., et Borrego, J. (1995). Microbiological-epidemiological study of selected marine beaches in Malaga (Spain). *Water Sci. Technol.*, 31: 5–9.

Marion, J.W., Lee, C., Lee, C.S., Wang, Q., Lemeshow, S., Buckley, T.J., Saif, L.J., et Lee, J. (2014). Integrating bacterial and viral water quality assessment to predict swimming-associated illness at a freshwater beach: A cohort study. *PLoS One*, 9(11).

Marthaler, D., Rossow, K., Gramer, M., Collins, J., Goyal, S., Tsunemitsu, H., Kuga, K., Suzuki, T., Ciarlet, M., et Matthijnssens, J. (2012). Detection of substantial porcine group B rotavirus genetic diversity in the United States, resulting in a modified classification proposal for G genotypes. *Virology*, 433(1): 85–96.

Matson, D.O. (2004). Caliciviruses and hepatitis E virus. Dans : *Textbook of pediatric infectious diseases*. Feigin, R.D., Cherry, J.D., Demmler, G.J., and Kaplan, S.L. (eds.). Fifth edition. Saunders Co., Philadelphia, PA.

McBride, G., Till, D., Ryan, T., Ball, A., Lewis, G., Palmer, S., Weinstein, P. (2002). Pathogen occurrence and human health risk assessment analysis, Freshwater Microbiology Research Programme Report, Ministry for the Environment, Ministry of Health, New Zealand.

McBride, G.B., Stott, R., Miller, W., Bambic, D., et Wuertz, S. (2013). Discharge-based QMRA for estimation of public health risks from exposure to stormwater-borne pathogens in recreational waters in the United States. *Water Res.*, 47: 5282–5297.

Medema G.J., Shaw S., Waite M., Snozzi M., Morreau A., et Grabow W. (2003). Chapter 4: Catchment characterisation and source water quality. Dans : *Assessing microbial safety of drinking water*. World Health Organization, Geneva, Switzerland, pp. 111–158.

- Medema, G.J., Teunis, P.F.M., Havelaar, A.H., et Haas, C.N. (1996). Assessment of the dose-response relationship of *Campylobacter jejuni*. *Int. J. Food Microbiol.*, 30 (1-2):101–111.
- Mena, K.D., et Gerba, C.P. (2009). Waterborne adenovirus. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.*, 198: 133–167.
- Méndez, E., et Arias, C.F. (2007). Astroviruses. Dans : *Fields Virology*. Knipe, D.M. and Howley, P.M. (eds.). Fifth edition. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, PA.
- Mercado, R., Buck, G.A., Manque, P.A., and Ozaki, L.S. (2007). *Cryptosporidium hominis* infection of the human respiratory tract. *Emerg. Infect. Dis.*, 13(3): 462–464.
- Messner, M.J., Chappell, C.L., et Okhuysen, P.C. (2001). Risk assessment for *Cryptosporidium*: a hierarchical Bayesian analysis of human dose response data. *Water Res.*, 35: 3934–3940.
- Moore, A.C., Herwaldt, B.L., Craun, G.F., Calderon, R.L., Highsmith, A.K., et Juranek, D.D. (1993). Surveillance for waterborne disease outbreaks—United States, 1991–1992. *MMWR CDC Surveill. Summ.*, 42: 1–22.
- Moore, J.E., Gilpin, D., Crothers, E., Canney, A., Kaneko, A., et Matsuda, M. (2002). Occurrence of *Campylobacter* spp. and *Cryptosporidium* spp. in seagulls (*Larus* spp.). *Vector Borne Zoonotic Dis.*, 2: 111–114.
- Moore, E.R.B., Tindall, B.J., Martins Dos Santos, V.A.P., Pieper, D.H., Ramos, J-L., et Palleroni, N.J. (2006). Nonmedical: *Pseudomonas*. Dans : *The Prokaryotes: A handbook on the biology of bacteria*. Third edition. Volume 4: Bacteria: Firmicutes, Cyanobacteria. Dworkin, M., et al. (eds.). Springer, Singapore. pp. 646–703.
- Morgan, D.R., Johnson, P.C., DuPont, H.L., Satterwhite, T.K., et Wood, L.V. (1985). Lack of correlation between known virulence properties of *Aeromonas hydrophila* and enteropathogenicity for humans. *Infect. Immun.*, 50(1): 62–65.
- Moyer, N.P. (révisé par Standridge, J.) (2006). *Aeromonas*. Dans : *Waterborne pathogens*. AWWA manual of water supply practices M48. Second edition. American Water Works Association, Denver, CO. pp. 81–85.
- Murphy, H.M., Thomas, M.K., Schmidt, P.J., Medeiros, D.T., McFadyen, S., et Pintar, K.D.M. (2016). Estimating the burden of acute gastrointestinal illness due to *Giardia*, *Cryptosporidium*, *Campylobacter*, *E. coli* O157 and norovirus associated with private wells and small water systems in Canada. *Epidemiology and Infection*, 144 (7): 1355–1370.
- Nairn, C., Galbraith, D.N., Taylor, K.W., et Clements, G.B. (1999). Enterovirus variants in the serum of children at the onset of type 1 diabetes mellitus. *Diabetic Med.*, 16(6): 509–513.
- NASEM (2020). Management of Legionella in Water Systems. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25474>.
- Novak Babič M., Gunde-Cimerman N., Breskvar M., Džeroski S., Brandão J. (2022). Occurrence, diversity and anti-fungal resistance of fungi in sand of an urban beach in Slovenia—environmental monitoring with possible health risk implications. *Journal of Fungi*, 8(8):860.
- Oikarinen, S., Tauriainen, S., Hober, D., Lucas, B., Vazeou, A., Sioofy-Khojine, A., Bozas, E., Muir, P., Honkanen, H., Ilonen, J., Knip, M., Keskinen, P., Saha, M., Huhtala, H., Stanway, G., Bartsocas, C., Ludvigsson, J., Taylor, K., et Hyöty, H. (2014). Virus antibody survey in different European populations indicates risk association between coxsackievirus B1 and type 1 diabetes. *Diabetes*, 63(2): 655–662.



- Oishi, I., Yamazaki, K., Kimoto, T., Minekawa, Y., Utagawa, E., Yamazaki, S., Inouye, S., Grohmann, G.S., Monroe, S.S., Stine, S.E., Carcamo, C., Ando, T., et Glass, R.I. (1994). A large outbreak of acute gastroenteritis associated with astrovirus among students and teachers in Osaka. *Japan. J. Infect. Dis.*, 170(2): 439–443.
- Okhuysen, P.C., Chappell, C.L., Serling, C.R., Jakubowski, W., et DuPont, H.L. (1998). Susceptibility and serologic response of healthy adults to reinfection with *Cryptosporidium parvum*. *Infect. Immunol.*, 66:441–443.
- Okhuysen, P.C., Chappell, C.L., Crabb, J.H., Sterling, C.R., et DuPont, H.L. (1999). Virulence of three distinct *Cryptosporidium parvum* isolates for healthy adults. *J. Infect. Dis.*, 180:1275–1281.
- Okhuysen, P.C., Rich, S.M., Chappell, C.L., Grimes, K.A., Widmer, G., Feng, X., et Tzipori, S. (2002). Infectivity of a *Cryptosporidium parvum* isolate of cervine origin for healthy adults and interferon-gamma knockout mice. *J. Infect. Dis.*, 185(9): 1320–1325.
- Olson, M.E., Thorlakson, C.L., Deselliers, L., Worck, D.W., et McAllister, T.A. (1997). *Giardia* and *Cryptosporidium* in Canadian farm animals. *Vet. Parasitol.*, 68: 375–381.
- Ortega, Y.R., et Sanchez, R. (2010). Update on *Cyclospora cayetanensis*, a food-borne and waterborne parasite. *Clinical Microbiology Reviews*, 23(1): 218–234.
- Oster, R.J., Wijesinghe, R.U., Haack, S.K., Fogarty, L.R., Tucker, T.R., et Riley, S.C. (2014). Bacterial pathogen gene abundance and relation to recreational water quality at seven Great Lakes beaches. *Environ. Sci. Technol.*, 48: 14148–14157.
- Pallansch, M., et Roos, R. (2007). Enteroviruses: Polioviruses, coxsackieviruses, echoviruses, and newer enteroviruses. Dans : *Fields Virology*. Knipe, D.M. and Howley, P.M. (eds.). Fifth edition. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, PA.
- Palombo, E.A. et Bishop, R.F. (1996). Annual incidence, serotype distribution, and genetic diversity of human astrovirus isolates from hospitalized children in Melbourne, Australia. *J. Clin. Microbiol.*, 34(7): 1750–1753.
- Pang, X., Qiu, Y., Gao, T., Zurawell, R., Neumann, N.F., Craik, S., et Lee, B.E. (2019). Prevalence, levels and seasonal variations of human enteric viruses in six major rivers in Alberta, Canada. *Water Res.*, 153: 349–356.
- Payment, P. (1984). Viruses and bathing beach quality. *Can. J. Public Health*, 75: 43–48.
- Payment, P., Berte, A., Prevost, M., Menard, 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. *Can. J. Microbiol.*, 46: 565–576.
- Percival, S.L., Chalmers, R.L., Embrey, M., Hunter, P.R., Sellwood, J., et Wyn-Jones, P. (2004). *Microbiology of waterborne diseases*. Elsevier Academic Press, San Diego, CA.
- Percival, S.L., et Williams, D.W. (2014a). *Aeromonas*. Dans : *Microbiology of waterborne diseases: Microbiological aspects and risks: Second edition*. Elsevier Ltd., Oxford, UK. pp. 49–64.
- Percival, S.L., et Williams, D.W. (2014b). *Campylobacter*. Dans : *Microbiology of waterborne diseases: Microbiological aspects and risks: Second edition*. Elsevier Ltd., Oxford, UK. pp. 65–78.
- Percival, S.L., et Williams, D.W. (2014c). *Escherichia coli*. Dans : *Microbiology of waterborne diseases: Microbiological aspects and risks: Second edition*. Elsevier Ltd., Oxford, UK. pp. 89–117.

- Percival, S.L., et Williams, D.W. (2014d). *Legionella*. Dans : Microbiology of waterborne diseases: Microbiological aspects and risks: Second edition. Elsevier Ltd., Oxford, UK. pp. 155–175.
- Percival, S.L., et Williams, D.W. (2014e). *Mycobacterium*. Dans : Microbiology of waterborne diseases. Second edition. Elsevier Ltd., Oxford, UK, pp. 177–207.
- Percival, S.L., et Williams, D.W. (2014f). *Salmonella*. Dans : Microbiology of waterborne diseases: Microbiological aspects and risks. Second edition. Elsevier Ltd., Oxford, UK. pp. 209–222.
- Percival, S.L., et Williams, D.W. (2014g). *Shigella*. Dans : Microbiology of waterborne diseases: Microbiological aspects and risks. Second edition. Elsevier Ltd., Oxford, UK. pp. 223–236.
- Pina, S., Puig, M., Lucena, F., Jofre, J., et Girones, R. (1998). Viral pollution in the environment and in shellfish: human adenovirus detection by PCR as an index of human viruses. *Appl. Environ. Microbiol.*, 64: 3376–3382.
- Pintar, K., Thomas, K.M., Christidis, T., Otten, A., Nesbitt, A., Marshall, B., Pollari, F., Hurst, M., et Ravel, A. (2017) A comparative exposure assessment of *Campylobacter* in Ontario, Canada. *Risk Anal.*, 37: 677–715.
- Plano, L.R.W., Garza, A.C., Shibata, T., Elmir, S.M., Kish, J., Sinigalliano, C.D., Gidley, M.L., Miller, G., Withum, K., Fleming, L.E., et Solo-Gabriele, H.M. (2011). Shedding of *Staphylococcus aureus* and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* from adult and pediatric bathers in marine waters. *BMC Microbiol.*, 11:5.
- Plano, L.R.W., Shibata, T., Garza, A.C., Kish, J., Fleisher, J.M., Sinigalliano, C.D., Gidley, M.L., Withum, K., Elmir, S.M., Hower, S., Jackson, C.R., Barrett, J.B., Cleary, T., Davidson, M., Davis, J., Mukherjee, S., Fleming, L.E., et Solo-Gabriele, H.M. (2013). Human-associated methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* from a subtropical recreational marine beach. *Microb. Ecol.*, 65: 1039–1051.
- Plutzer, J., Törökné, A., et Karanis, P. (2010). Combination of ARAD microfiber filtration and LAMP methodology for simple, rapid and cost-effective detection of human pathogenic *Giardi duodenalis* and *Cryptosporidium* spp. in drinking water. *Lett. Appl. Microbiol.*, 50: 82–88.
- Pond, K. (2005). Water recreation and disease. Plausibility of associated infections: acute effects, sequelae and mortality. IWA Publishing, London, UK.
- Pond, K., Rueedi, J., et Pedley, S. (2004). Pathogens in drinking water sources (MicroRisk literature review). Disponible à l'adresse : http://217.77.141.80/clueadeau/microrisk/publish/cat_index_11.shtml
- Prystajecky, M., Tsui, C.K.M., Hsiao, W.L., Uyaguari-Diaz, M.I., Ho, J., Tang, P., et Isaac-Renton, J. (2015). *Giardia* spp. are commonly found in mixed assemblages in surface water, as revealed by molecular and whole-genome characterization. *Appl. Environ. Microbiol.*, 81: 4827–4834.
- Priyadarshi, N. (2005). Cultural eutrophication. Dans : Water encyclopedia, Vol. 3, Surface and agricultural water. Lehr, J.H. and Keeley, J. (eds.). John Wiley and Sons, Hoboken, NJ.
- Prussin, A.J., II, Schwake, D.O. et Marr, L.C. (2017). Ten questions concerning the aerosolization and transmission of *Legionella* in the built environment. *Build. Environ.*, 123: 684–695.
- Puig, M., Jofre, J., Lucena, F., Allard, A., Wadell, G., et Girones, R. (1994). Detection of adenoviruses and enteroviruses in polluted waters by nested PCR amplification. *Appl. Environ. Microbiol.*, 60: 2963–2970.
- Ravel, A., Hurst, M., Petrica, N., David, J., Mutschall, S.K., Pintar, K., Taboada, E.N., et Pollari, F. (2017). Source attribution of human campylobacteriosis at the point of exposure by combining comparative exposure assessment and subtype comparison based on comparative genomic fingerprinting. *PLoS ONE*, 12(8): e0183790.



- Rendtorff, R.C. (1978). The experimental transmission of *Giardia lamblia* among volunteer subjects. Dans : Waterborne transmission of giardiasis. Jakubowski, W. and Hoff, J.C. (eds.). United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH. pp. 64–81 (EPA 600/9-79-001).
- Roach, P.D., Olson, M.E., Whitley, G., et Wallis, P.M. (1993). Waterborne *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts in the Yukon, Canada. *Appl. Environ. Microbiol.*, 59(1): 67–73.
- Robins-Browne, R.M., Holt, K.E., Ingle, D.J., Hocking, D.M., Yang, J., et Tauschek, M. (2016). Are *Escherichia coli* pathotypes still relevant in the era of whole-genome sequencing? *Front. Cell. Infect. Microbiol.*, 6 (NOV), art. no. 141.
- Roivainen, M., Alfthan, G., Jousilahti, P., Kimpimäki, M., Hovi, T., et Tuomilehto, J. (1998). Enterovirus infections as a possible risk factor for myocardial infarction. *Circulation*, 98(23): 2534–2537.
- Rose, J.B., Mullinax, R.L., Singh, S.N., Yates, M.V., et Gerba, C.P. (1987) Occurrence of rotaviruses and enteroviruses in recreational waters of Oak Creek, Arizona. *Water Res.*, 11, 1375–1381.
- Rose, J.B., Epstein, P.R., Lipp, E.K., Sherman, B.H., Bernard, S.M., et Patz, J.A. (2001). Climate variability and change in the United States: potential impacts on water- and foodborne diseases caused by microbiologic agents. *Environ. Health Perspect.* 109 (Suppl. 2): 211–221
- Rotbart, H.A. (1995). Human enterovirus infections. ASM Press, Washington, DC.
- Rudko, S.P., Reimink, R.L., Froelich, K., Gordy, M.A., Blankespoor, C.L., et Hanington, P.C. (2018). Use of qPCR-based cercariometry to assess swimmer's itch in recreational lakes. *EcoHealth*, 15: 827–839.
- Ryan, U.M., Bath, C., Robertson, I., Read, C., Elliot, A., McInnes, L., Traub, R., et Besier, B. (2005). Sheep may not be an important zoonotic reservoir for *Cryptosporidium* and *Giardia* parasites. *Appl. Environ. Microbiol.*, 71(9): 4992–4997.
- Ryan, U., Fayer, R., et Xiao, L. (2014). *Cryptosporidium* species in humans and animals: current understanding and research needs. *Parasitology*. 141:1667–1685.
- Sanchez-Vargas, F.M., Abu-El-Haija, M.A., et Gomez-Duarte, O.G. (2011). *Salmonella* infections: An update on epidemiology, management, and prevention. *Travel Med. Infect. Dis.*, 9(6): 263–277.
- Santé Canada (2019a). Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : Document technique – Les virus entériques. Bureau de la qualité de l'eau et de l'air, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ont.).
- Santé Canada (2019b). Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique – Les protozoaires entériques : *Giardia* et *Cryptosporidium*. Bureau de la qualité de l'eau et de l'air, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ont.).
- Santé Canada (2022a). Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada – Conseils sur les bactéries pathogènes d'origine hydrique. Bureau de la qualité de l'eau et de l'air, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ont.).
- Santé Canada (2022b). Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives au Canada : Document technique – Les cyanobactéries et leurs toxines. Bureau de la qualité de l'eau et de l'air, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ont.).

Santé Canada (2023a). Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives au Canada – Indicateurs de contamination fécale. Bureau de la qualité de l'eau et de l'air, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ont.).

Santé Canada (2023b). Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives au Canada : Document technique – Comprendre et gérer les risques dans les eaux récréatives. Bureau de la qualité de l'eau et de l'air, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ont.).

Santé Canada (en cours de publication). Guidelines for Canadian Recreational Water Quality: Summary of Recreational Water Quality Guidelines. Bureau de la qualité de l'eau et de l'air, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ont.).

Sassoubre, L.M., Love, D.C., Silverman, A.I., Nelson, K.L., et Boehm, A.B. (2012). Comparison of enterovirus and adenovirus concentration and enumeration methods in seawater from Southern California, USA and Baja Malibu, Mexico. *J. Water Health*, 10 (3): 419–430.

Schets, F.M., van den Berg, H.H.J.L., Vennema, H., Pelgrim, M.T.M., Collé, C., Rutjes, S.A., et Lodder, W.J. (2018). Norovirus outbreak associated with swimming in a recreational lake not influenced by external human fecal sources in The Netherlands, August 2012. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 15: 2550.

Schoen, M.E. et Ashbolt, N.J. (2010). Assessing pathogen risk to swimmers at non-sewage impacted recreational beaches. *Environ. Sci. Technol.*, 44: 2286–2291.

Schönberg-Norio, D., Takkinen, J., Hänninen, M.L., Katila, M.L., Kaukoranta, S.S., Mattila, L., et Rautelin, H. (2004). Swimming and *Campylobacter* infections. *Emerg. Infect. Dis.*, 10(8):1474–1477.

Schulze-Robbecke, R. et Buchholtz, K. (1992). Heat susceptibility of aquatic mycobacteria. *Appl. Environ. Microbiol.*, 58(6): 1869–1873.

Schuster, F.L. et Visvesvara, G.S. (2004). Amebae and ciliated protozoa as causal agents of waterborne zoonotic disease. *Vet. Parasitol.* 126:91–120.

Schvoerer, E., Ventura, M., Dubos, O., Cazaux, G., Serceau, R., Gournier, N., Dubois, V., Caminade, P., Fleury, H.J., et Lafon, M.E. (2001). Qualitative and quantitative molecular detection of enteroviruses in water from bathing areas and from a sewage treatment plant. *Res. Microbiol.*, 152(2): 179–186.

Sckrabulis, J.P., Flory, A.R., et Raffel, T.R. (2020). Direct onshore wind predicts daily swimmer's itch (avian schistosome) incidence at a Michigan beach. *Parasitology*, 147: 431–440.

Seyfried, P.L. et Cook, R.J. (1984). Otitis externa infections related to *Pseudomonas aeruginosa* levels in five Ontario lakes. *Can. J. Public Health*, 75: 83–91.

Seyfried, P.L., Tobin, R.S., Brown, N.E., et Ness, P.F. (1985). A prospective study of swimming-related illness, II. Morbidity and the microbiological quality of water. *AJPH*, 75(9): 1071–1075.

Shah, C., Baral, R., Bartaula, B., et Shrestha, L.B. (2019). Virulence factors of uropathogenic *Escherichia coli* (UPEC) and correlation with antimicrobial resistance. *BMC Microbiol.*, 19: 204.

Siddiqui, R., Ali, I.K.M., Cope, J.R., et Khan, N.A. (2016). Biology and pathogenesis of *Naegleria fowleri*. *Acta Trop.*, 164: 375–394.



- Silva, V., Araújo, S., Monteiro, A., Eira, J., Pereira, J.E., Maltez, L., Igrejas, G., Lemsaddek, T.S., Poeta, P. (2023) *Staphylococcus aureus* and MRSA in livestock: antimicrobial resistance and genetic lineages. *Microorganisms*, 11: 124.
- Simmonds, P., Gorbalenya, A.E., Harvala, H., Hovi, T., Knowles, N.J., Lindberg, A.M., Oberste, M.S., Palmenberg, A.C., Reuter, G., Skern, T., Tapparel, C., Wolthers, K.C., Woo, P.C.Y., et Zell, R. (2020). Recommendations for the nomenclature of enteroviruses and rhinoviruses. *Arch. Virol.*, 165: 793–797.
- Sinclair, R.G., Jones, E.L., et Gerba, C.P. (2009). Viruses in recreational water-borne disease outbreaks: A review. *J. Appl. Microbiol.*, 107(6): 1769–1780.
- Smith, D.B., Simmonds, P., Jameel, S., Emerson, S.U., Harrison, T.J., Meng, X., Okamoto, H., Van der Poel, W.H.M., et Purdy, M.A. (2014). Consensus proposals for classification of the family hepeviridae. *J. Gen. Virol.*, 95: 2223–2232.
- Soller, J.A., Bartrand, T., Ashbolt, N.J., Ravenscroft, J., et Wade T.J. (2010). Estimating the primary etiologic agents in recreational freshwaters impacted by human sources of fecal contamination. *Water Res.*, 44: 4736–4747.
- Solo-Gariele, H.M., Harwood, V.J., Kay, D., Fujioka, R.S., Sadowsky, M.J., Whitman, R.L., Wither, A., Caniça, M., Carvalho da Fonseca, R., Duarte, A., Edge, T.A., Gargaté, M.J., Gunde-Cimerman, N., Hagen, F., McLellan, S.L., Nogueira da Silva, A., Novak Babič, M., Prada, S., Rodrigues, R., Romão, D. et al. (2016). Beach sand and the potential for infectious disease transmission: observations and recommendations. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 96(1): 101–120.
- Springer, G.L. et Shapiro, E.D. (1985). Fresh water swimming as a risk factor for otitis externa: a case–control study. *Arch. Environ. Health*, 40: 202–206.
- Steele, J.A., Blackwood, A.D., Griffith, J.F., Noble, R.T., et Schiff, K.C. (2018). Quantification of pathogens and markers of fecal contamination during storm events along popular surfing beaches in San Diego, California. *Water Research*, 136: 137–149.
- Stinear, T., Ford, T., et Vincent, V. (2004). Analytical methods for the detection of waterborne and environmental pathogenic mycobacteria. Dans : *Pathogenic mycobacteria in water. A guide to public health consequences, monitoring and management*. Pedley, S. (ed.). IWA Publishing. World Health Organization., Geneva, Switzerland. pp. 55–73.
- Stout, J.E., Koh, W.J., et Yew, W.W. (2016). Update on pulmonary disease due to non-tuberculous mycobacteria. *Int. J. Infect. Dis.*, 45: 123–134.
- Stuart, J.M., Orr, H.J., Warburton, F.G., Jeyakanth, S., Pugh, C., Morris, I., Sarangi, J., et Nichols, G. (2003). Risk factors for sporadic giardiasis: a case–control study in southwestern England. *Emerg. Infect. Dis.*, 9(2):229–233.
- Surman-Lee, S., Fields, B., Hornei, B., Ewig, S., Exner, M., Tartakovsky, I., Lajoie, L., Dangendorf, F., Bentham, R., Cabanes, P.A., Fourier, P., Trouvet, T., et France Wallet, F. (2007). Chapter 2: Ecology and environmental sources of *Legionella*. Dans : *Legionella and the prevention of legionellosis*. Bartram, J. et al. (eds.). World Health Organization, Geneva, Switzerland. pp. 29–38.
- Tani, N., Dohi, Y., Kurumatani, N., et Yonemasu, K. (1995). Seasonal distribution of adenoviruses, enteroviruses and reoviruses in urban river water. *Microbiol. Immunol.*, 39: 577–580.

- Taylor, L.H., Latham, S.M., et Woolhouse, M.E.J. (2001). Risk factors for human disease emergence. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*, 356(1411): 983–989.
- Tenter, A.M., Heckeroth, A.R., et Weiss, L.M. (2000). *Toxoplasma gondii*: from animals to humans. *International Journal for Parasitology*, 30: 1217–1258.
- Teunis, P.F.M., Bonačić Marinović, A., Tribble, D.R., Porter, C.K., et Swart, A. (2018). Acute illness from *Campylobacter jejuni* may require high doses while infection occurs at low doses. *Epidemics*, 24:1–20.
- Teunis, P.F.M., van den Brandhof, W., Nauta, M., Wagenaar, J., van den Kerkhof, H., et van Pelt, W. (2005). A reconsideration of the *Campylobacter* dose–response relation. *Epidemiol. Infect.*, 133 (4): 583–592.
- Thomas, J.M. et Ashbolt, N.J. (2011). Do free-living amoebae in treated drinking water systems present an emerging health risk? *Environ. Sci. Technol.*, 45(3): 860–869.
- Thompson, R.C. (2004). The zoonotic significance and molecular epidemiology of *Giardia* and giardiasis. *Vet. Parasitol.*, 126(1–2):15–35.
- Traub, R.J., Monis, P.T., Robertson, I., Irwin, P., Mencke, N., et Thompson, R.C. (2004). Epidemiological and molecular evidence supports the zoonotic transmission of *Giardia* among humans and dogs living in the same community. *Parasitology*, 128(Pt. 3):253–262.
- Traub, R.J., Robertson, I.D., Irwin, P.J., Mencke, N., et Thompson, R.C. (2005). Canine gastrointestinal parasitic zoonoses in India. *Trends Parasitol.*, 21(1):42–48.
- US EPA (2006). *Aeromonas*: Human health criteria document. Office of Science and Technology. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. (EPA/68-C-02-026).
- van Asperen, I.A., de Rover, C.M., Schijven, J.F., Oetomo, S.B., Schellekens, J.F., van Leeuwen, N.J., Colle, C., Havelaar, A.H., Kromhout, D., and Sprenger, M.W. (1995). Risk of otitis externa after swimming in recreational fresh water lakes containing *Pseudomonas aeruginosa*. *Br. Med. J.*, 311: 1407–1410.
- van der Poel, W. et Rzezutka, A. (2017). Hepatitis A. Dans : *Global Water Pathogen Project*. Rose, J.B. and Jiménez-Cisneros, B. (eds). <http://www.waterpathogens.org> (J.S Meschke, and R. Girones (eds) Part 3 Viruses).
- Verbrugge, L.M., Rainey, J., Reimink, R., et Blankespoor, H. (2004). Prospective study of swimmer’s itch incidence and severity. *J. Parasitol.*, 90(4): 697–704.
- Vergara, G.G.R.V, Rose, J.B., et Gin, K.Y.H. (2016). Risk assessment of noroviruses and human adenoviruses in recreational surface waters. *Water Research*, 103: 276–282.
- Verhoef, L., Hewitt, J., Barclay, L., Ahmed, S.M., Lake, R., Hall, A.J., Lopman, B., Kroneman, A., Vennema, H., Vinje, J., and Koopmans, M. (2015). Norovirus genotype profiles associated with foodborne transmission, 1999–2012. *Emerg. Infect. Dis.*, 21(4): 592–599.
- Verhougstraete, M.P., Byappanahalli, M.N., Rose, J.B., et Whitman, R.L. (2010). *Cladophora* in the Great Lakes: impacts on beach water quality and human health. *Water Sci. Technol.*, 62(1): 68–76.
- Visvesvara, G.S. et Moura, H. (2006). *Naegleria fowleri*. Dans : *Waterborne pathogens*. AWWA manual of water supply practices M48. American Water Works Association, Denver, CO. pp. 229–232.



- Visvesvara, G.S., Moura, H., et Schuster, F.L. (2007). Pathogenic and opportunistic free-living amoebae: *Acanthamoeba* spp., *Balamuthia mandrillaris*, *Naegleria fowleri*, and *Sappinia diploidea*. *FEMS Immunol. Med. Microbiol.*, 50(1): 1–26.
- Wade, T.J., Augustine, S.A.J., Griffin, S.M., Sams, E.A., Oshima, K.H., Egorov, A.I., Simmons, K.J., Eason, T.N., et Dufour, A. (2018). Asymptomatic norovirus infection associated with swimming at a tropical beach: a prospective cohort study. *PLoS ONE*, 13(3): e0195056.
- Wagenaar, J.A., Newell, D.G., Kalupahana, R.S., et Lapo Mughini-Gras, L. (2015). *Campylobacter*: Animal reservoirs, human infections, and options for control. Dans : *Zoonoses – Infections affecting humans and animals: Focus on public health aspects*. Sing, A. (ed.). Springer. Dordrecht, Netherlands. pp. 159–177.
- Watson, S.B., Zastepa, A., Boyer, G.L., et Matthews, E. (2017) Algal bloom response and risk management: On-site response tools. *Toxicon*, 129: 144–152.
- Wensaas, K.A., Langeland, N., Hanevik, K., Mørch, K., Eide, G.E., et Rortveit, G. (2012). Irritable bowel syndrome and chronic fatigue 3 years after acute giardiasis: historic cohort study. *Gut.*, 61:214–219.
- Whitman, R.L., Shively, D.A., Pawlik, H., Nevers, M.B., et Byappanahalli, M.N. (2003). Occurrence of *Escherichia coli* and enterococci in *Cladophora* (Chlorophyta) in nearshore water and beach sand of Lake Michigan. *Appl. Environ. Microbiol.*, 69: 4714–4719.
- WHO (2003). Guidelines for safe recreational water environments. Vol. 1. Coastal and fresh waters. World Health Organization, Geneva, Switzerland. Disponible à l'adresse : <http://whqlibdoc.who.int/publications/2003/9241545801.pdf>
- WHO (2006). Guidelines for safe recreational water environments. Vol. 2. Swimming pools and similar environments. World Health Organization, Geneva, Switzerland. Disponible à l'adresse : www.who.int/water_sanitation_health/bathing/bathing2/en/
- WHO (2017). Prioritization of pathogens to guide discovery, research and development of new antibiotics for drug-resistant bacterial infections, including tuberculosis. World Health Organization. Geneva, Switzerland. <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-EMP-IAU-2017.12> [consulté en octobre 2019].
- Wong, K., Fong, T, Bibby, K., et Molina, M. (2012). Application of enteric viruses for fecal pollution source tracking in environmental waters. *Environ. International*, 45: 151–164.
- Wynwood, S.J., Graham, G.C., Weier, S.L., Collet, T.A., McKay, D.B., et Craig, S.B. (2014). Leptospirosis from water sources. *Pathog. Glob. Health*, 108(7): 334–338.
- Xagorarakis, I., Kuo, D.H., Wong, K., Wong, M., et Rose, J.B. (2007). Occurrence of human adenoviruses at two recreational beaches of the Great Lakes. *Appl. Environ. Microbiol.*, 73(24): 7874–7881.
- Yayli, G., Kiliç, S., et Örmeci, A.R. (2002). Hepatitis agents with enteric transmission--an epidemiological analysis. *Infection*, 30(6): 334–337.
- Yoder, J.S., Blackburn, B.G., Craun, G.F., Hill, V., Levy, D.A., Chen, N., Lee, S.H., Calderon, R.L., et Beach, M.J. (2004). Surveillance for waterborne-disease outbreaks associated with recreational water—United States, 2001–2002. *MMWR CDC Surveill. Summ.*, 53: 1–22.
- Yoder, J.S., Eddy, B.A., Visvesvara, G.S., Capewell, L., et Beach, M.J. (2010). The epidemiology of primary amoebic meningoencephalitis in the USA, 1962–2008. *Epidemiol. Infect.*, 138(7): 968–975.

Yoder, J.S., Straif-Bourgeois, S., Roy, S.L., Moore, T.A., Visvesvara, G.S., Ratard, R.C., Hill, V.R., Wilson, J.D., Linscott, A.J., Crager, R., Kozak, N.A., Sriram, R., Narayanan, J., Mull, B., Kahler, A.M., Schneeberger, C., Da Silva, A.J., Poudel, M., Baumgarten, K.L., Xiao, L., et Beach, M.J. (2012). Primary amebic meningoencephalitis deaths associated with sinus irrigation using contaminated tap water. *Clin. Infect. Dis.*, 55(9): e7-e85.

Zahedi, A., Papparini, A., Jian, F., Robertson, I., et Ryan, U. (2016). Public health significance of zoonotic *Cryptosporidium* species in wildlife: Critical insights into better drinking water management. *Int. J. Parasitol.: Parasites Wildl.* 5: 88–109.

Zaongo, S.D., Shaio, M.F., et Ji, D.D. (2018). Effects of culture media on *Naegleria fowleri* growth at different temperatures. *J. Parasitol.*, 104 (5):451–456.

Zastepa, A., Pick, F.R., et Blais, J.M. (2014). Fate and persistence of particulate and dissolved microcystin-LA from *Microcystis* blooms. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 20(6): 1670–1686.



ANNEXE A : LISTE DES ABRÉVIATIONS

ADN	acide désoxyribonucléique
ARN	acide ribonucléique
CDC	Centers for Disease Control and Prevention
ECEH	<i>Escherichia coli</i> entérohémorragique
ECEI	<i>Escherichia coli</i> entéroinvasive
E. coli	Escherichia coli
ECUP	<i>Escherichia coli</i> uropathogène
MEAP	méningo-encéphalite amibienne primitive
MNT	mycobactéries non tuberculeuses
PCR	réaction en chaîne de la polymérase
SARM	<i>Staphylococcus aureus</i> résistant à la méthicilline
SHU	syndrome hémolytique et urémique
sida	syndrome d'immunodéficience acquise
spp.	espèces
VHA	virus de l'hépatite A
VHE	virus de l'hépatite E

ANNEXE B

Agents microbiens pathogènes présents dans les zones d'eaux récréatives

Tableau B.1 : Bactéries pathogènes potentiellement préoccupantes pour les zones d'eaux récréatives

Agent pathogène (membres couramment associés à des maladies au Canada)	Principaux effets sur la santé	Groupes à risque élevé de maladie/ maladie grave	Sources de contamination	Voies d'exposition dans les eaux utilisées à des fins récréatives	Importance en tant qu'agent pathogène présent dans les eaux utilisées à des fins récréatives
Campylobacter (<i>C. jejuni</i> , <i>C. coli</i>)	Diarrhée, douleur abdominale, frissons, fièvre; potentiellement mortel; peut provoquer des maladies inflammatoires de l'intestin	Jeunes enfants, personnes âgées, personnes dont le système immunitaire est affaibli	Volaille, bovins, ovins, animaux de compagnie, oiseaux aquatiques, eaux usées domestiques	Ingestion	Risque potentiel dans les eaux douces et marines; aucune éclosion recensée au Canada, mais agent observé dans les eaux de surface; éclosions déclarées aux États-Unis.
Escherichia pathogènes (groupe des <i>E. coli</i> entérohémorragiques [ECEH], dont <i>E. coli</i> O157:H7)	Diarrhée, douleur abdominale, fièvre; certains causent des maladies graves comme la colite hémorragique pouvant mener au syndrome hémolytique et urémique	Jeunes enfants, personnes âgées, personnes dont le système immunitaire est affaibli	Bovins, eaux usées domestiques	Ingestion	Risque potentiel dans les eaux douces et marines; éclosions au Canada et aux États-Unis.



Agent pathogène (membres couramment associés à des maladies au Canada)	Principaux effets sur la santé	Groupes à risque élevé de maladie/ maladie grave	Sources de contamination	Voies d'exposition dans les eaux utilisées à des fins récréatives	Importance en tant qu'agent pathogène présent dans les eaux utilisées à des fins récréatives
Shigella (<i>S. sonnei</i> , <i>S. flexneri</i>)	Diarrhée, douleur abdominale, fièvre	Jeunes enfants, personnes âgées, personnes dont le système immunitaire est affaibli	Eaux usées domestiques	Ingestion	Risque potentiel dans les eaux douces et marines; aucune éclosion déclarée au Canada, mais cause fréquente d'éclosions aux États-Unis.
Salmonella (sérotypes non typhoïdiques)	Diarrhée, nausées, vomissements	Jeunes enfants, personnes âgées, personnes dont le système immunitaire est affaibli	Volaille, porcins, oiseaux, bovins, animaux de compagnie, eaux usées domestiques	Ingestion	Risque potentiel dans les eaux douces et marines; aucune éclosion déclarée au Canada ou aux États-Unis, mais agent observé dans les eaux de surface
Legionella (<i>L. pneumophila</i>)	Maladie du légionnaire (maladie respiratoire grave provoquant une pneumonie) et fièvre de Pontiac (symptômes pseudogrippaux)	Personnes âgées, personnes dont le système immunitaire est affaibli ou présentant des problèmes de santé sous-jacents	Naturellement présent à de faibles concentrations dans les eaux douces; rare dans les eaux marines; peut se développer en grand nombre dans les systèmes techniques	Inhalation	Aucune éclosion liée aux eaux naturelles au Canada et aux États-Unis, le risque est jugé extrêmement faible; les sources chaudes et les cuves hydrothermales peuvent présenter un risque.

Agent pathogène (membres couramment associés à des maladies au Canada)	Principaux effets sur la santé	Groupes à risque élevé de maladie/ maladie grave	Sources de contamination	Voies d'exposition dans les eaux utilisées à des fins récréatives	Importance en tant qu'agent pathogène présent dans les eaux utilisées à des fins récréatives
Mycobacterium (mycobactéries non tuberculeuses [MTN])	Maladies respiratoires, infections cutanées	Personnes atteintes d'une affection sous-jacente (système immunitaire affaibli ou immunodéficience, peau écorchée ou traumatisée)	Naturellement présent dans les eaux douces, les sols et les eaux usées; moins courant dans les eaux marines	Inhalation, ingestion, contact direct avec de l'eau	Aucune éclosion liée aux eaux naturelles au Canada et aux États-Unis, le risque est jugé extrêmement faible; les sources chaudes et les cuves hydrothermales peuvent présenter un risque.
Pseudomonas (P. aeruginosa)	Infections de la peau, des yeux et des oreilles, éruptions cutanées	Aucun groupe répertorié pour les voies d'exposition dans les eaux utilisées à des fins récréatives	Naturellement présent dans les eaux douces et marines	Contact direct avec de l'eau	Risque potentiel dans les eaux douces et marines; aucune éclosion liée aux eaux naturelles au Canada et aux États-Unis, mais des études ont établi un lien entre <i>P. aeruginosa</i> présent dans les eaux naturelles et des infections oculaires et cutanées.



Agent pathogène (membres couramment associés à des maladies au Canada)	Principaux effets sur la santé	Groupes à risque élevé de maladie/ maladie grave	Sources de contamination	Voies d'exposition dans les eaux utilisées à des fins récréatives	Importance en tant qu'agent pathogène présent dans les eaux utilisées à des fins récréatives
Aeromonas (<i>A. hydrophila</i> , <i>A. caviae</i> , <i>A. veronii</i> [biotype <i>sobria</i>], <i>A. trota</i>)	Maladies gastro-intestinales, infections des plaies; graves conséquences possibles (septicémie, fièvre, jaunisse, choc septique)	Personnes présentant une plaie ouverte ou une lésion pénétrante	Naturellement présent dans les eaux douces et marines, matières fécales d'origine humaine et animale	Contact direct avec de l'eau, ingestion	Risque potentiel dans les eaux douces et marines; aucune éclosion déclarée en Amérique du Nord; a été lié à des infections cutanées, mais non à des maladies gastro-intestinales découlant d'une exposition à des eaux utilisées à des fins récréatives.
Leptospira	Symptômes bénins ressemblant à ceux de la grippe; en l'absence de traitement, la maladie peut évoluer vers une forme plus grave (maladie de Weil).	Personnes présentant des coupures ou des abrasions de la peau	Urine de rats, de souris, de campagnols ou d'animaux domestiques infectés, habituellement par ruissellement vers des points d'eau	Contact direct avec de l'eau	Risque potentiel dans les eaux douces; aucun cas lié à des activités pratiquées dans des eaux récréatives au Canada; éclosions aux États-Unis associées à des courses d'aventure et à des eaux frappées par la sécheresse.

Agent pathogène (membres couramment associés à des maladies au Canada)	Principaux effets sur la santé	Groupes à risque élevé de maladie/ maladie grave	Sources de contamination	Voies d'exposition dans les eaux utilisées à des fins récréatives	Importance en tant qu'agent pathogène présent dans les eaux utilisées à des fins récréatives
Staphylococcus (S. aureus)	Coupures et écorchures infectées; furoncles, pustules, dermatite, folliculite, impétigo; l'infection causée par <i>S. aureus</i> résistant à la méthicilline (SARM) est potentiellement mortelle	Personnes présentant des coupures ou des abrasions de la peau	Bouche, nez et gorge des baigneurs; foyers infectieux existants; eaux usées domestiques	Contact direct avec de l'eau	Risque potentiel dans les eaux douces et marines; a également été étudiée en tant qu'indicateur de la salubrité de l'eau, mais les résultats des études n'ont pas permis d'établir un lien systématique entre la bactérie et des effets néfastes sur la santé.

Tableau B.2 : Virus pathogènes potentiellement préoccupants pour les zones d'eaux récréatives

Agent pathogène (membres couramment associés à des maladies au Canada)	Principaux effets sur la santé	Groupes à risque élevé de maladie/ maladie grave	Sources de contamination	Voies d'exposition dans les eaux utilisées à des fins récréatives	Importance en tant qu'agent pathogène présent dans les eaux utilisées à des fins récréatives
Norovirus (génogroupes GI, GII et GIV)	Diarrhée, nausées, vomissements, douleur abdominale, fièvre	Les personnes âgées peuvent développer une maladie plus grave	Matières fécales humaines (eaux usées, excrétion par les baigneurs)	Ingestion	Cause fréquente d'éclotions aux États-Unis; aucune donnée sur les éclotions disponible pour le Canada, mais les norovirus sont considérés comme un risque important dans les eaux douces et marines.



Agent pathogène (membres couramment associés à des maladies au Canada)	Principaux effets sur la santé	Groupes à risque élevé de maladie/ maladie grave	Sources de contamination	Voies d'exposition dans les eaux utilisées à des fins récréatives	Importance en tant qu'agent pathogène présent dans les eaux utilisées à des fins récréatives
Entérovirus (entérovirus A, B, C et D)	Fièvre, irritation de la gorge, vomissements, malaises; certains entérovirus peuvent provoquer des maladies plus graves (myocardite, méningite, poliomyélite, encéphalite)	Aucun groupe répertorié pour les voies d'exposition dans les eaux utilisées à des fins récréatives	Matières fécales humaines (eaux usées, excrétion par les baigneurs)	Ingestion	Risque potentiel dans les eaux douces et marines; très peu d'éclosions ont été signalées dans le monde et aucune éclosion au Canada; la présence des virus a été relevée dans des eaux de surface au Canada.
Rotavirus (groupe A)	Vomissements, diarrhée; potentiellement mortel en cas de déshydratation et de déséquilibre électrolytique	Jeunes enfants, personnes âgées, personnes dont le système immunitaire est affaibli	Matières fécales humaines (eaux usées, excrétion par les baigneurs)	Ingestion	Risque potentiel dans les eaux douces et marines; aucune éclosion n'a été signalée au Canada; la présence des virus a été relevée dans des eaux de surface au Canada.

Agent pathogène (membres couramment associés à des maladies au Canada)	Principaux effets sur la santé	Groupes à risque élevé de maladie/ maladie grave	Sources de contamination	Voies d'exposition dans les eaux utilisées à des fins récréatives	Importance en tant qu'agent pathogène présent dans les eaux utilisées à des fins récréatives
Adénovirus (types 40 et 41)	Maladies gastro-intestinales	Jeunes enfants	Matières fécales humaines (eaux usées, excrétion par les baigneurs)	Ingestion	Risque potentiel dans les eaux douces et marines; très peu d'éclosions ont été signalées dans le monde et aucune éclosion au Canada; la présence des virus a été relevée dans des eaux de surface au Canada.
Virus des hépatites (types A et E)	Anorexie, malaise et fièvre suivis de nausées, de vomissements, de la jaunisse et de lésions hépatiques	Adultes	Matières fécales humaines (eaux usées, excrétion par les baigneurs)	Ingestion	Risque potentiel dans les eaux douces et marines; aucune éclosion n'a été signalée au Canada; la présence du virus de l'hépatite A été relevée dans des eaux de surface au Canada; l'hépatite E est rare dans les pays développés.



Agent pathogène (membres couramment associés à des maladies au Canada)	Principaux effets sur la santé	Groupes à risque élevé de maladie/ maladie grave	Sources de contamination	Voies d'exposition dans les eaux utilisées à des fins récréatives	Importance en tant qu'agent pathogène présent dans les eaux utilisées à des fins récréatives
Astrovirus (génotypes A et B)	Vomissements, diarrhée, fièvre légère	Jeunes enfants	Matières fécales humaines (eaux usées, excrétion par les baigneurs)	Ingestion	Risque potentiel dans les eaux douces et marines; aucune éclosion n'a été signalée au Canada; la présence des virus a été relevée dans des eaux de surface au Canada.

Tableau B.3 : Protozoaires pathogènes potentiellement préoccupants pour les zones d'eaux récréatives

Agent pathogène (membres couramment associés à des maladies au Canada)	Principaux effets sur la santé	Groupes à risque élevé de maladie/ maladie grave	Sources de contamination	Voies d'exposition dans les eaux utilisées à des fins récréatives	Importance en tant qu'agent pathogène présent dans les eaux utilisées à des fins récréatives
Giardia (<i>G. lamblia</i> - synonymes : <i>G. intestinalis</i> et <i>G. duodenalis</i>)	Diarrhée, nausées, fatigue, fièvre; peut mener à des maladies plus graves	Les jeunes enfants risquent d'être malades plus longtemps	Matières fécales d'origine humaine et animale	Ingestion	Risque potentiel dans les eaux douces et marines; cause fréquente d'éclosions aux États-Unis. Aucune éclosion n'a été signalée au Canada, mais des cas se sont probablement produits sans avoir été détectés ou signalés.

Agent pathogène (membres couramment associés à des maladies au Canada)	Principaux effets sur la santé	Groupes à risque élevé de maladie/maladie grave	Sources de contamination	Voies d'exposition dans les eaux utilisées à des fins récréatives	Importance en tant qu'agent pathogène présent dans les eaux utilisées à des fins récréatives
Cryptosporidium (<i>C. hominis</i> , <i>C. parvum</i>)	Diarrhée, nausées, vomissements, anorexie, fièvre	Les personnes immunodéprimées présentent un risque accru de complications graves	Matières fécales d'origine humaine et animale	Ingestion	Risque potentiel dans les eaux douces et marines; cause fréquente d'éclosions aux États-Unis Aucune éclosion n'a été signalée au Canada, mais des cas se sont probablement produits sans avoir été détectés ou signalés.
Naegleria (<i>N. fowleri</i>)	Méningo-encéphalite amibienne primitive, presque toujours mortelle	Aucun groupe répertorié pour les voies d'exposition dans les eaux utilisées à des fins récréatives	Naturellement présent dans les eaux douces tropicales et subtropicales	Introduction d'eau dans les voies nasales	Extrêmement rare; aucun cas signalé au Canada. La plupart des cas déclarés sont associés à des climats chauds.
Acanthamoeba (génotype T4)	Kératite amibienne (affection de la cornée)	Personnes portant des lentilles de contact pour se baigner	Naturellement présent dans les eaux douces et marines	Contact direct dans l'eau avec la muqueuse de l'œil	Omniprésents dans l'environnement; les activités aquatiques récréatives ne constitueraient pas un facteur de risque important de maladies.
Entamoeba	Maladies gastro-intestinales, parfois graves ou potentiellement mortelles	Aucun groupe répertorié pour les voies d'exposition dans les eaux utilisées à des fins récréatives	Matières fécales humaines	Ingestion	Aucune éclosion n'a été signalée au Canada; les activités aquatiques récréatives ne constitueraient pas un facteur de risque important de maladies.



Agent pathogène (membres couramment associés à des maladies au Canada)	Principaux effets sur la santé	Groupes à risque élevé de maladie/maladie grave	Sources de contamination	Voies d'exposition dans les eaux utilisées à des fins récréatives	Importance en tant qu'agent pathogène présent dans les eaux utilisées à des fins récréatives
Toxoplasma	Symptômes pseudogrippaux, mais agent potentiellement mortel	Personnes enceintes, immunodéprimées	Matières fécales d'origine humaine et animale	Ingestion	Aucune éclosion n'a été signalée au Canada; les activités aquatiques récréatives ne constitueraient pas un facteur de risque important de maladies.
Cyclospora	Diarrhée, nausées, vomissements, anorexie, fièvre	Aucun groupe répertorié pour les voies d'exposition dans les eaux utilisées à des fins récréatives	Matières fécales humaines	Ingestion	Aucune éclosion n'a été signalée au Canada; les activités aquatiques récréatives ne constitueraient pas un facteur de risque important de maladies.