

État des connaissances sur les nutriments et les contaminants biologiques et chimiques pouvant être présents dans les moules bleues de l'estuaire du Saint-Laurent ainsi que leurs effets potentiels sur la santé humaine

M-C. Lefebvre (1), P. Archambault (2), M. Lemire (1)

1. Université Laval
Département de médecine sociale et préventive
1050 Avenue de la Médecine
Québec. QC
G1V 0A6

2. Université Laval
Québec Océan, Département de Biologie
1045 Avenue de la Médecine
Québec. QC
G1V 0A6

2021

**Rapport manuscrit canadien des
sciences halieutiques et aquatiques 3232**



Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques

Les rapports manuscrits contiennent des renseignements scientifiques et techniques qui constituent une contribution aux connaissances actuelles, mais qui traitent de problèmes nationaux ou régionaux. La distribution en est limitée aux organismes et aux personnes de régions particulières du Canada. Il n'y a aucune restriction quant au sujet; de fait, la série reflète la vaste gamme des intérêts et des politiques de Pêches et Océans Canada, c'est-à-dire les sciences halieutiques et aquatiques.

Les rapports manuscrits peuvent être cités comme des publications à part entière. Le titre exact figure au-dessus du résumé de chaque rapport. Les rapports manuscrits sont résumés dans la base de données *Résumés des sciences aquatiques et halieutiques*.

Les rapports manuscrits sont produits à l'échelon régional, mais numérotés à l'échelon national. Les demandes de rapports seront satisfaites par l'établissement auteur dont le nom figure sur la couverture et la page du titre.

Les numéros 1 à 900 de cette série ont été publiés à titre de Manuscrits (série biologique) de l'Office de biologie du Canada, et après le changement de la désignation de cet organisme par décret du Parlement, en 1937, ont été classés comme Manuscrits (série biologique) de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 901 à 1425 ont été publiés à titre de Rapports manuscrits de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 1426 à 1550 sont parus à titre de Rapports manuscrits du Service des pêches et de la mer, ministère des Pêches et de l'Environnement. Le nom actuel de la série a été établi lors de la parution du numéro 1551.

Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences

Manuscript reports contain scientific and technical information that contributes to existing knowledge but which deals with national or regional problems. Distribution is restricted to institutions or individuals located in particular regions of Canada. However, no restriction is placed on subject matter, and the series reflects the broad interests and policies of Fisheries and Oceans Canada, namely, fisheries and aquatic sciences.

Manuscript reports may be cited as full publications. The correct citation appears above the abstract of each report. Each report is abstracted in the data base *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts*.

Manuscript reports are produced regionally but are numbered nationally. Requests for individual reports will be filled by the issuing establishment listed on the front cover and title page.

Numbers 1-900 in this series were issued as Manuscript Reports (Biological Series) of the Biological Board of Canada, and subsequent to 1937 when the name of the Board was changed by Act of Parliament, as Manuscript Reports (Biological Series) of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 1426 - 1550 were issued as Department of Fisheries and Environment, Fisheries and Marine Service Manuscript Reports. The current series name was changed with report number 1551.

Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques 3232

2021

ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR LES NUTRIMENTS ET LES CONTAMINANTS
BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES POUVANT ÊTRE PRÉSENTS DANS LES MOULES
BLEUES DE L'ESTUAIRE DU SAINT-LAURENT AINSI QUE LEURS EFFETS
POTENTIELS SUR LA SANTÉ HUMAINE

par

Marie-Claude Lefebvre¹, Philippe Archambault² et Mélanie Lemire¹

¹ Département de médecine sociale et préventive
Université Laval
1050 Avenue de la Médecine
Québec, QC
G1V 0A6

² Département de biologie
Université Laval
1045, Avenue de la Médecine
Québec, QC
G1V 0A6

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2021.

No de cat. Fs 97-4/3232F-PDF

ISBN 978-0-660-41193-4

ISSN 1488-5468

La présente publication doit être citée comme suit:

Lefebvre, M-C., Archambault, P et Lemire, M. 2021. État des connaissances sur les nutriments et les contaminants biologiques et chimiques pouvant être présents dans les moules bleues de l'estuaire du Saint-Laurent ainsi que leurs effets potentiels sur la santé humaine. Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat. 3232: vi + 52 p.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES	v
RÉSUMÉ	vi
ABSTRACT	vi
INTRODUCTION	1
RÉSULTATS ET DISCUSSION	2
1. DESCRIPTION DES MOULES BLEUES	2
2. QUALITÉ ALIMENTAIRE ET BÉNÉFICES ASSOCIÉS À LA CONSOMMATION DE MOULES BLEUES	3
3. VÉRIFICATION DE L'ÉTAT D'OUVERTURE OU DE FERMETURE D'UNE ZONE DE CUEILLETTE DE BIVALVES	5
4. PREMIERS FACTEURS MENANT À LA FERMETURE DE ZONES POUR LA CUEILLETTE DE MOLLUSQUES BIVALVES.....	6
5. CONTAMINANTS BIOLOGIQUES POUVANT MENER À LA FERMETURE DE ZONES POUR LA CUEILLETTE DE MOLLUSQUES BIVALVES.....	9
5.1 Coliformes fécaux et contaminants d'origine fécale	9
5.3 Autres bactéries n'étant pas associées à la contamination fécale	11
6. TOXINES MARINES POUVANT MENER À LA FERMETURE DE ZONES POUR LA CUEILLETTE DE BIVALVES	12
6.1 Saxitoxines associées à la phycotoxine paralysante (PSP).....	13
6.1.1 Définition	13
6.1.2 Période de floraison et facteurs pouvant l'influencer.....	13
6.1.3 Norme dans les zones de cueillette	14
6.1.4 Présentation clinique chez l'humain	14
6.2 L'acide domoïque associé à la phycotoxine amnestique (ASP).....	15
6.2.1 Définition	15
6.2.2 Période de floraison et facteurs pouvant l'influencer	16
6.2.3 Norme dans les zones de cueillette	16
6.2.4 Présentation clinique chez l'humain	16
6.3 L'acide okadaïque, les dinophysistoxines et les pecténotoxines associés à la phycotoxine diarrhétique (DSP)	17
6.3.1 Définition	17
6.3.2 Période de floraison et facteurs pouvant l'influencer	17
6.3.3 Norme dans les zones de cueillette	18

6.3.4 Présentation clinique chez l'humain	18
7. AUTRES CONTAMINANTS POTENTIELLEMENT PRÉSENTS DANS LES BIVALVES DU SAINT-LAURENT	19
7.1 Métaux	19
7.2 Polluants organiques persistants (POP) et les contaminants émergents.....	20
7.3 Microplastiques.....	21
7.4 Produits pharmaceutiques et de soins personnels (PPSP)	21
8. RÉOUVERTURE DES SITES DE CUEILLETTE DE BIVALVES.....	22
9. CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET CONDITIONS FUTURES	23
10. RECOMMANDATIONS POUR UNE PÊCHE RÉCRÉATIVE SÉCURITAIRE	23
CONCLUSION	25
RÉFÉRENCES.....	28
ANNEXE A	42
ANNEXE B	45
ANNEXE C	47
ANNEXE D	48

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Normes à respecter pour l'ouverture d'une zone et la surveillance d'un secteur ouvert selon les différents contaminants surveillés par le PCCSM	8
--	---

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Valeur nutritive des moules bleues par 100 grammes de chair, tiré de MAPAQ (2019a).	4
--	---

RÉSUMÉ

Lefebvre, M-C., Archambault, P et Lemire, M. 2021. État des connaissances sur les nutriments et les contaminants biologiques et chimiques pouvant être présents dans les moules bleues de l'estuaire du Saint-Laurent ainsi que leurs effets potentiels sur la santé humaine. Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat. 3232: vi + 52 p.

Les moules bleues sont parfois abondantes sur les rives de l'estuaire du Saint-Laurent et de nombreux résidents du Québec aimeraient pouvoir les cueillir pour les consommer. Cependant, la pêche récréative est interdite dans plusieurs secteurs pour des raisons de salubrité, de toxicité et/ou d'enjeux de conservation de la ressource. En effet, puisque les moules bleues sont des organismes filtreurs, elles peuvent parfois accumuler des contaminants biologiques et chimiques dans leur chair et leur consommation peut ainsi représenter un enjeu de santé publique. Une revue de la documentation scientifique a été réalisée pour déterminer quels sont les bénéfices et les risques associés à la consommation de moules bleues du Saint-Laurent dans le but de vérifier si une zone de cueillette pourrait être rouverte. Les résultats démontrent que les moules bleues sont nutritives et font partie d'une alimentation saine. Au Québec, les contaminants actuellement surveillés sont les coliformes fécaux dans l'eau et les biotoxines dans la chair des moules bleues qui sont responsables de l'intoxication paralysante, amnésiante et diarrhéique par les mollusques. D'autres contaminants chimiques pourraient être présents dans les moules, mais à ce jour ils ne font pas partie des programmes de surveillance.

ABSTRACT

Lefebvre, M-C., Archambault, P et Lemire, M. 2021. État des connaissances sur les nutriments et les contaminants biologiques et chimiques pouvant être présents dans les moules bleues de l'estuaire du Saint-Laurent ainsi que leurs effets potentiels sur la santé humaine. Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat. 3232: vi + 52 p.

Blue mussels are sometimes abundant on the shores of the St. Lawrence River's eastern shore and many Quebec residents would like to recreationnally harvest them for consumption. However, harvesting is prohibited in several areas for reasons related to pollution, toxicity and/or resource conservation issues. In fact, since blue mussels are filter feeders, they can sometimes accumulate biological and chemical contaminants in their flesh and their consumption can therefore represent a public health issue. A review of the scientific literature was conducted to determine the benefits and risks associated with the consumption of St. Lawrence blue mussels in order to verify whether a harvesting area could be reopened. The results show that blue mussels are nutritious and part of a healthy diet. In Quebec, the contaminants currently being monitored are fecal coliforms in the water and biotoxins in the blue mussel flesh that are responsible for paralytic, amnesic and diarrheal shellfish poisoning. Other chemical contaminants may be present in the blue mussels, but to date they are not part of the monitoring programs.

INTRODUCTION

Les moules sont des aliments nutritifs qui font partie de l'alimentation des humains depuis des milliers d'années (Beyer et al., 2017; Wright et al., 2018). Sur les rives du Saint-Laurent, les moules bleues sont retrouvées en abondance à certains endroits, et de nombreux Québécois les cueillent pour s'en nourrir lorsqu'une zone de cueillette est ouverte, c'est-à-dire lorsqu'elle est jugée sécuritaire pour la santé des consommateurs (Tremblay et al., 1999; Valentin et al., 2000; Gaymer et Himmelman, 2002). En effet, les moules bleues sont des aliments d'une excellente qualité nutritionnelle, mais puisque ce sont des organismes filtreurs, elles ont le potentiel d'accumuler des contaminants chimiques ou biologiques lorsqu'ils sont présents dans l'eau (Farrell et al., 2016; Wright et al., 2018). Leur consommation peut alors parfois représenter un enjeu de santé publique et nécessite une surveillance pour s'assurer qu'elle demeure sécuritaire (Farrell et al., 2016; Gouvernement du Canada, 2019a). Effectivement, des cas de morbidité et des décès ont été recensés au Québec à la suite de consommation de mollusques (Gouvernement du Canada, 2019b). Par exemple, entre 1880 et 1981, 300 cas d'intoxication paralysante par les mollusques ont été déclarés dans la province. Toutefois, peu de ces cas ont été mortels et le dernier décès date de 1981 (Duchesne et al., 2002). De plus, il importe de souligner que lorsque les moules bleues sont exemptes de contaminants, les bénéfices sur la santé surpassent les risques (Wright et al., 2018). C'est pourquoi certaines communautés côtières du Saint-Laurent qui ont remarqué une abondance de moules bleues sur leurs rives aimeraient pouvoir cueillir et consommer cette ressource en pratiquant la pêche récréative de moules bleues de manière sécuritaire, écoresponsable et durable. Cependant, la cueillette des moules bleues et autres mollusques est interdite dans presque toutes les zones le long de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Les raisons justifiant la fermeture de ces zones ne sont pas toujours clairement communiquées et sont généralement inconnues des citoyens et des élus municipaux. Un projet pilote a alors été mis sur pied dans le but de vérifier la faisabilité de la réouverture d'une zone de cueillette pour la pêche récréative de moules bleues de manière sécuritaire et durable. Ce projet s'inscrit dans le cadre de Manger notre Saint-Laurent et de la Chaire de recherche Littoral (littoral.chaire.ulaval.ca), la Chaire de recherche en partenariat Sentinelle Nord en approches écosystémiques de la santé. De nombreuses municipalités côtières pourraient potentiellement bénéficier de ce projet puisque les informations porteront sur l'ensemble de l'estuaire du Saint-Laurent.

Le premier objectif de cette revue de la littérature est de relever les bénéfices sur la santé apportés par les nutriments contenus dans les moules bleues. Ensuite, le second objectif est de relever les contaminants biologiques et chimiques qui pourraient se retrouver dans les moules bleues de l'estuaire du Saint-Laurent, leurs effets potentiels sur la santé humaine ainsi que les périodes critiques où se retrouvent ces contaminants. Finalement, ce travail a également comme objectif de décrire les étapes à suivre dans l'ordre pour pouvoir procéder à l'ouverture d'une zone de cueillette de moules bleues. Les zones de cueillette sont ouvertes ou fermées par le Programme canadien de contrôle de la salubrité des mollusques (PCCSM) (Gouvernement du Canada, 2019b). Celui-ci est régi conjointement par l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA), Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) et Pêches et Océans Canada (MPO) (Gouvernement du Canada, 2019b). Les partenaires du PCCSM travaillent conjointement pour surveiller la salubrité des mollusques et s'assurer que la cueillette soit sécuritaire. En effet, le rôle d'ECCC est entre autres d'assurer la surveillance de la qualité

bactériologique de l'eau dans les zones coquillères, l'ACIA est responsable de la surveillance des biotoxines dans la chair des mollusques et quant à lui, le MPO assure la gestion de la zone, c'est-à-dire qu'il ordonne l'ouverture ou la fermeture des zones de cueillette en fonction des recommandations d'ECCC et de l'ACIA (Gouvernement du Canada, 2019b). Au Canada, les facteurs qui sont pris en compte avant l'ouverture d'une zone de cueillette sont en premier la densité suffisante de mollusques pour pouvoir assurer une exploitation pérenne et durable de la ressource, puis la proximité de certaines infrastructures telles qu'un port ou une marina pour réduire les risques de contamination, ensuite la classification de l'eau selon les normes d'ECCC et finalement la validation de toxicité dans la chair des moules par l'ACIA (Gouvernement du Canada, 2019b). D'autres contaminants chimiques pourraient potentiellement se retrouver dans les moules, mais ne sont actuellement pas surveillés par les responsables du PCCSM. Ces contaminants pourraient éventuellement être intégrés aux programmes de suivi (Rodil et al., 2019).

Plus spécifiquement, dans un premier temps, les principales caractéristiques des moules bleues seront décrites ainsi que les bienfaits sur la santé associés à leur consommation. Les bénéfices d'une alimentation locale seront aussi brièvement décrits. Par la suite, les normes du PCCSM qui sont suivies par ECCC et l'ACIA et qui peuvent mener à la fermeture d'une zone de cueillette de mollusques seront présentées. Suite à cela, les contaminants biologiques, qui sont mesurés dans l'eau et qui peuvent mener à la fermeture d'une zone de cueillette seront décrits, ainsi que leurs risques sur la santé et les normes quant à la présence de coliformes fécaux. Ensuite, les différentes intoxications causées par les bivalves contaminés par les biotoxines qui peuvent se retrouver dans les moules bleues de l'estuaire du Saint-Laurent seront décrites. Enfin, d'autres contaminants pouvant potentiellement se retrouver dans les moules, soit les métaux, les polluants organiques persistants (POP) et les contaminants émergents, les microplastiques et les produits pharmaceutiques et de soins corporels (PPSP), seront présentés. Les effets des changements climatiques et les conditions futures à prendre en compte seront également brièvement décrits. Finalement, les diverses recommandations qui ressortent de ce travail seront détaillées.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. DESCRIPTION DES MOULES BLEUES

Dans le Saint-Laurent, deux types de moules bleues très semblables physiquement sont présentes, soit *Mytilus edulis* et *M. trossulus*, et dans le présent document le terme moule bleue fera référence à ces deux types (Moreau et al., 2005). Les moules bleues sont des mollusques de la classe des bivalves, comme les palourdes, les huîtres et les pétoncles. Le terme mollusque désigne quant à lui un vaste embranchement d'animaux invertébrés à corps mous, dont les pieuvres et les calmars.

Les moules bleues sont réparties principalement dans les eaux polaires et tempérées dont la température varie entre 5 et 20°C, notamment en Europe, en Amérique du Sud et en Amérique du Nord (Sukhotin et al., 2007). Les estuaires et les baies sont les milieux où elles se développent le mieux, puisque les conditions favorisent la prolifération de leur principale source alimentaire, le phytoplancton. Elles y occupent généralement les substrats rocheux de la zone intertidale, et

s'y accrochent par des filaments de byssus. Elles peuvent vivre plus de 20 ans, bien que les spécimens de plus de 10 ans soient rares (Sukhotin et al., 2007). Étant des organismes grégaires et sessiles, elles s'accrochent les unes aux autres et forment parfois des lits denses qui tapissent les fonds marins (Beyer et al., 2017). Une fois adultes et lorsqu'elles sont submergées, elles peuvent filtrer environ 50 ml d'eau par minute, ce qui représente 3 litres par heure (Wright et al., 2018). Elles se nourrissent de phytoplancton en suspension dans l'eau dont la taille varie entre 1 et 30 µm (Famme et al., 1986).

Puisque ce sont des organismes filtreurs, sédentaires et vivant longtemps, les moules bleues sont très sensibles à la qualité de l'eau de leur milieu (Marcogliese et al., 2015). En effet, en se nourrissant, les moules bleues peuvent accumuler dans leurs tissus les divers contaminants présents dans l'eau ou les microalgues, notamment des micro-organismes, des biotoxines et des contaminants chimiques (De Witte et al., 2014). Ces contaminants peuvent ensuite entrer dans la chaîne alimentaire, car de nombreux animaux se nourrissent des moules bleues, dont les étoiles de mer, les crabes, certains oiseaux et les phoques (De Witte et al., 2014). De plus, les contaminants ne causent pas de changements visibles de l'apparence, l'odeur ou encore le goût des moules bleues (Gouvernement du Canada, 2003). Les moules bleues contaminées représentent alors un risque imperceptible, mais réel pour la santé des consommateurs humains (Farrell et al., 2016). En outre, certains contaminants ne sont pas présents toute l'année, mais présentent une saisonnalité, comme c'est le cas pour les biotoxines. En effet, les floraisons d'algues productrices de biotoxines ne surviennent que lorsque les conditions environnementales favorisent leur éclosion (Silvert et Cembella, 1995), ce qui sera décrit ultérieurement.

Une fois que les différents contaminants potentiellement présents dans l'environnement ont diminué pour revenir sous les normes, les moules se détoxifient d'elles-mêmes par divers mécanismes, dont la production de fèces et de pseudofèces (Silvert et Cembella, 1995; Brett, 2003). Donc, après un certain temps qui varie en fonction de nombreux facteurs, tels que l'âge de la moule bleue, son taux de filtration et la nature du contaminant, elles éliminent naturellement les contaminants et redeviennent sécuritaires à la consommation (Silvert et Cembella, 1995).

2. QUALITÉ ALIMENTAIRE ET BÉNÉFICES ASSOCIÉS À LA CONSOMMATION DE MOULES BLEUES

Bien qu'elles puissent parfois présenter des risques pour la santé humaine, il importe de souligner que les moules bleues sont d'abord des aliments nutritifs faisant partie d'une saine alimentation (Wright et al., 2018). En effet, elles sont une excellente source de vitamines (B2, B9, B12, C), de minéraux (fer, phosphore, sélénium, zinc), de caroténoïdes et d'oméga-3 (Wright et al., 2018; Lindqvist et al., 2019). Les moules bleues sont également considérées comme de bonnes sources de protéines, d'iode et de glucides en plus d'être faibles en gras et peu caloriques (Grienke et al., 2014; Wright et al., 2018). En effet, 100 grammes de chair de moules bleues fournissent 12 grammes de protéines et seulement 90 calories, tel que présenté à la Figure 1 (MAPAQ, 2019).

Valeur nutritive	
Par portion de 100g (chair)	
Teneur	% valeur quotidienne
Calories 90	
Lipides 2 g	3 %
Saturés 0,4 g + trans 0 g	2 %
Cholestérol 30 mg	
Sodium 290 mg	12 %
Glucides 4 g	1 %
Fibres 0 g	0 %
Sucres 0 g	
Protéines 12 g	
Vitamine A 4 %	Vitamine C 15 %
Calcium 2 %	Fer 30 %

Figure 1. Valeur nutritive des moules bleues par 100 grammes de chair, tiré de MAPAQ (2019).

Les vitamines, les minéraux et les protéines contenus dans les moules bleues sont essentiels à la formation, la croissance, la réparation et le bon fonctionnement de nombreux tissus et systèmes (Wright et al., 2018). Par exemple, la vitamine B12 est essentielle à la formation des globules rouges et au bon fonctionnement des ostéoblastes, les cellules qui fabriquent les tissus osseux (Tortora et Grabowski, 2000). La vitamine B9 est elle aussi impliquée dans la formation des globules rouges en plus d'être essentielle au développement normal du système nerveux au cours de la grossesse (Tortora et Grabowski, 2000). Le fer contenu dans les moules bleues contribue également à la formation des globules rouges et permet de transporter l'oxygène dans le sang (Tortora et Grabowski, 2000). Le phosphore sert à la formation des os et des dents en plus de constituer un des principaux système régulateur du pH sanguin (Tortora et Grabowski, 2000). Quant au zinc, il est nécessaire à la croissance normale, à la cicatrisation des plaies, à la perception du goût en plus de participer aux réactions immunitaires (Tortora et Grabowski, 2000).

Par ailleurs, une portion de moules bleues cuites à la vapeur contient deux fois plus d'oméga-3 qu'une quantité équivalente de bœuf, de poulet ou de porc (Wright et al., 2018). En outre, les oméga-3 contenus dans les moules bleues pourraient avoir un effet cardioprotecteur en plus d'améliorer de manière modeste les symptômes d'arthrite rhumatoïde et de dépression légère (Deacon et al., 2017; Wright et al., 2018; Lindqvist et al., 2019). De plus, les moules bleues pourraient avoir une activité antimicrobienne, anti-hypertensive et anticoagulante (Grienke et al., 2014). Or, les bénéfices sur la santé sont liés à la fréquence et la quantité de bivalves consommés (Venugopal et Gopakumar, 2017). En effet, pour en bénéficier pleinement, les lignes directrices 2015-2020 du *United States Department of Agriculture* (USDA) suggèrent de consommer 224g de moules bleues ou de produits de la mer par semaine (USDA, 2015).

La cueillette de moules bleues sauvages s'accompagne également de bénéfices environnementaux. En effet, la consommation d'aliments locaux permet une réduction de la distance parcourue par ceux-ci entre l'habitat naturel et l'assiette du consommateur, ce qui réduit l'émission de gaz à effet de serre et d'autres polluants (Michalsky et Hooda, 2015). La pêche récréative permet également de réduire l'utilisation d'emballages, dont les plastiques à usage

unique. De plus, la cueillette de moules bleues contribuerait à l'autonomie alimentaire, car ce sont des aliments disponibles localement, nutritifs et gratuits (MSSS, 2008).

Les habitants du Québec qui s'adonnent à la pêche récréative de bivalves le font principalement parce qu'ils apprécient l'activité et le goût des mollusques (Tremblay et al., 1999). Ils ne semblent toutefois pas en connaître les valeurs nutritives et les effets positifs qui en découlent sur la santé (Tremblay et al., 1999). De plus, plusieurs consommateurs s'informent peu sur les raisons des fermetures de secteur et ils semblent peu conscientisés aux risques que peut représenter la consommation de ces aliments, particulièrement lors des périodes propices à la floraison d'algues productrices de biotoxines ou lorsque les zones de cueillette sont fermées (Tremblay et al., 1999). La sensibilisation quant aux bénéfices et aux risques associés à la consommation des bivalves devrait alors être renforcée (Tremblay et al., 1999). En effet, les moules bleues risquent d'être contaminées par les biotoxines pendant les mois les plus chauds de l'année, mais le reste du temps lorsque les biotoxines sont sous les normes, les moules sont généralement très nutritives et sécuritaires (Wright et al., 2018).

3. VÉRIFICATION DE L'ÉTAT D'OUVERTURE OU DE FERMETURE D'UNE ZONE DE CUEILLETTE DE BIVALVES

Afin de s'adonner à la pêche récréative de moules bleues de manière sécuritaire et durable, il importe d'abord de vérifier le statut (i.e. ouvert ou fermé) de la zone de cueillette en vertu du PCCSM. L'état des zones de cueillette est mise à jour sur le site du MPO à l'adresse suivante : https://gisp.dfo-mpo.gc.ca/Html5Viewer/Index.html?viewer=CSSP_Public_Fr_Site&locale=fr-CA (page consultée le 16 novembre 2021). Une zone initialement ouverte pourrait être fermée temporairement pour plusieurs raisons (Gouvernement du Canada, 2019b). Les raisons les plus fréquentes justifiant une fermeture temporaire sont une augmentation du niveau de contamination bactériologique (e.g. un bris dans un système de traitement des eaux, des pluies abondantes, une détérioration de la qualité de l'eau lors d'un changement de saison et une présence abondante d'oiseaux marins) et/ou une augmentation de la présence de biotoxines qui excèdent les normes ou un déversement accidentel de contaminants chimiques (Gouvernement du Canada, 2019b).

En plus des fermetures liées au PCCSM, une période de fermeture annuelle est prévue pour les zones de pêche dans le but d'assurer la conservation des moules et la pérennité de l'espèce. Ces périodes sont définies pour chaque région à l'annexe X.1 du Règlement de pêche de l'Atlantique de 1985 (Ministère de la Justice, 2020). Par exemple, la fermeture des zones de pêche récréative de moules bleues dans les eaux des régions du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie, entre Rivière-du-Loup et Pointe-à-la-croix, est prévue à chaque année entre le 1^{er} janvier et le 1^{er} mars tel que stipulé à l'[annexe X.1](#) du Règlement de pêche de l'Atlantique de 1985 (Ministère de la Justice, 2020). Une ordonnance de modification de la période de fermeture peut toutefois être déposée pour en prolonger la durée ou changer les dates si le banc de moules bleues est soumis à des enjeux de conservation. Une zone de récolte peut également être fermée à un tout autre moment de l'année si la ressource n'est pas assez abondante pour en assurer une exploitation pérenne et durable (Gouvernement du Canada, 2019b). Toutefois, les techniques de mesure d'abondance de la ressource ne seront pas abordées dans le présent document.

Enfin, lorsqu'un individu ou une communauté désire s'adonner à la pêche récréative de moules bleues dans une zone qui est fermée à la cueillette depuis plusieurs années, il importe de d'abord comprendre les facteurs ayant menés à la fermeture de la zone par les partenaires du PCCSM. Par exemple, par le passé au Québec, de nombreux secteurs ont été fermés à la cueillette en raison de la mesure d'une concentration de coliformes fécaux supérieure aux normes du PCCSM, ce qui peut parfois être expliqué par la présence d'un nombre important de résidences isolées sans traitement individuel des eaux usées (E.-R. Girard, Comité interministériel régional des mollusques du Québec, Montréal (Québec), communication personnelle, 2020). Le processus se veut itératif entre le demandeur et les responsables du PCCSM afin de corriger certains aspects du dépôt d'une demande de réouverture d'une zone de cueillette. Notez que les étapes de réouverture d'une zone de cueillette sont détaillées dans l'algorithme de l'annexe A.

4. PREMIERS FACTEURS MENANT À LA FERMETURE DE ZONES POUR LA CUEILLETTE DE MOLLUSQUES BIVALVES

Avant de vérifier la présence de contaminants dans l'eau ou la chair des moules bleues d'une zone de récolte, d'autres facteurs doivent d'abord être pris en considération. Ces facteurs sont déterminés par le PCCSM. Les zones suivantes sont interdites à la cueillette récréative ou commerciale (Gouvernement du Canada, 2019b):

- Dans un rayon de 300 mètres du point de rejet d'un effluent industriel ou d'un système de traitement des eaux usées, qu'il soit continu ou intermittent;
- Dans les secteurs avoisinant un point de rejet sanitaire continu pour lequel le traitement des eaux usées et la dilution dans l'eau du secteur coquillier ne permettent pas d'obtenir une réduction adéquate des particules virales;
- Dans un rayon de 125 mètres de ports, marinas ou quais, de parcs en filets pour poissons ou de toute installation flottante, incluant les habitations flottantes;
- Dans un rayon de 25 mètres d'une installation ou d'une habitation flottante se trouvant dans un régime foncier ou un parc aquacole pour lequel un plan de gestion de « zéro effluent » est en vigueur;
- Dans les secteurs où la concentration de matières fécales ou de toute substance toxique ou nocive dépasse les normes établies et qu'une dépuración ou un assainissement des mollusques soit impossible.

Certains de ces facteurs peuvent varier dans le temps et doivent être réévalués périodiquement. En effet, lorsqu'une zone est en statut « ouvert » à la cueillette, ceci signifie que les eaux de la zone sont classifiées selon les normes en vigueur par ECCC (via un laboratoire accrédité par la norme ISO 17025) et qu'elle est aussi échantillonnée par l'ACIA quant au suivi des biotoxines dans la chair des mollusques. Les deux ministères échantillonnent à des fréquences précises pour pouvoir détecter une contamination et ainsi prévenir des effets sur la santé des consommateurs (Gouvernement du Canada, 2019b). Par exemple, ECCC effectue au moins cinq tournées d'échantillonnage de la qualité de l'eau afin de détecter la présence de coliformes fécaux par année et deux tournées d'échantillonnage dans les secteurs isolés, alors que l'ACIA effectue le suivi hebdomadaire des biotoxines lorsqu'une zone est ouverte à la pêche récréative (Gouvernement du Canada, 2019b).

Si les coliformes fécaux ou une des trois biotoxines présentent une concentration supérieure aux normes respectives, la zone est immédiatement fermée à la cueillette (Gouvernement du Canada, 2019b). Lorsque le contaminant redescend sous les normes, la zone de cueillette peut être ré-ouverte après un certain temps qui varie en fonction du contaminant (Gouvernement du Canada, 2019b). Les processus de réouverture des zones de pêche récréative sont détaillés à la section 8. Le Tableau 1 résume les normes des différents contaminants qui sont surveillés par le PCCSM (Gouvernement du Canada, 2019b)

Tableau 1. Normes à respecter pour l'ouverture d'une zone et la surveillance d'un secteur ouvert selon les différents contaminants surveillés par le PCCSM

Contaminant	Intoxication	Norme à respecter pour l'ouverture d'une zone	Méthode d'échantillonnage	Réouverture des zones de cueillette	Surveillance une fois le secteur ouvert à la cueillette
Coliformes fécaux (exprimés en nombre le plus probable : NPP)	Diverses intoxications, dont la gastroentérite, le norovirus, l'hépatite, la salmonellose, les infections causées par <i>Vibrio</i> , etc.	<ul style="list-style-type: none"> • Médiane du NPP <14/100ml d'eau et maximum 10% des échantillons > NPP 43/100ml d'eau • Moyenne géométrique du NPP <14/100ml d'eau et le 90^e percentile estimé du NPP ne dépasse pas 43/100ml d'eau 	<ul style="list-style-type: none"> • Dans l'eau par le biais d'un minimum de 15 tournées d'échantillonnage • Les sources réelles et potentielles de pollution ont été identifiées et on a déterminé qu'elles n'affectent pas le secteur coquillier 	Après au moins 7 jours lorsque la concentration des coliformes dans l'eau est revenue sous la norme et les moules bleues contiennent ≤230 coliformes fécaux/100g de chair	<ul style="list-style-type: none"> • 5 tournées annuelles d'échantillonnage par station dans les secteurs non isolés • 2 tournées annuelles d'échantillonnage par station dans les secteurs isolés
Saxitoxines (STX) et ses dérivés	Intoxication par phycotoxine paralysante (PSP)	<80 µg éq. STX /100g de chair	Dans la chair des moules bleues lorsque 3 échantillons consécutifs prélevés sur une période de 14 jours sont sous les normes	Lorsque 3 échantillons consécutifs sous les normes sont prélevés sur 14 jours et montrent une tendance à la baisse	Fréquence déterminée par différents facteurs : saison, niveaux historiques de biotoxines dans le secteur et les activités de cueillette, etc. Généralement hebdomadaire
Acide domoïque (AD)	Intoxication par phycotoxine amnésique (ASP)	<20 µg/g de chair	Dans la chair des moules bleues lorsque 3 échantillons consécutifs prélevés sur une période de 14 jours sont sous les normes	Lorsque 3 échantillons consécutifs sous les normes sont prélevés sur 14 jours et montrent une tendance à la baisse	Fréquence déterminée par différents facteurs : saison, niveaux historiques de biotoxines dans le secteur et les activités de cueillette, etc. Généralement hebdomadaire
Acide okadaïque (AO), les dinophysistoxines (DTX) et les pecténotoxines (PTX)	Intoxication par phycotoxine diarrhéique (DSP)	<ul style="list-style-type: none"> • <0,2 µg éq. AO et/ou DTX seuls ou en combinaison/g de chair • <0,2 µg PTX/g de chair 	Dans la chair des moules bleues lorsque 3 échantillons consécutifs prélevés sur une période de 14 jours sont sous les normes	Lorsque 3 échantillons consécutifs sous les normes sont prélevés sur 14 jours et montrent une tendance à la baisse	Fréquence déterminée par différents facteurs : saison, niveaux historiques de biotoxines dans le secteur et les activités de cueillette, etc. Généralement hebdomadaire

5. CONTAMINANTS BIOLOGIQUES POUVANT MENER À LA FERMETURE DE ZONES POUR LA CUEILLETTE DE MOLLUSQUES BIVALVES

Avant l'ouverture d'un site de cueillette de mollusques, les coliformes fécaux sont les premiers contaminants biologiques à être mesurés dans l'eau, puisqu'ils reflètent la qualité de l'eau et le niveau de contamination bactérienne de la zone de cueillette (Mallet et al., 2009; Gouvernement du Canada, 2019b). En effet, la majorité des coliformes fécaux ne sont pas des pathogènes. Ils sont des indicateurs de contamination d'origine fécale puisqu'ils sont souvent associés à d'autres micro-organismes pathogènes, soit d'autres bactéries, des virus ou des protozoaires qui peuvent provenir directement du milieu marin, mais qui sont le plus souvent d'origine fécale (Valentin et al., 2000). Par ailleurs, la surveillance de ces micro-organismes est importante, car les intoxications causées par la consommation de bivalves contaminés par des virus, des bactéries ou des parasites sont plus fréquentes que par les biotoxines (Butt et al., 2004a). Puisque ces micro-organismes sont inactivés par la chaleur de la cuisson ($>60^{\circ}\text{C}$), ils causent généralement des symptômes que lorsque les bivalves sont consommés crus ou trop légèrement cuits (OMS, 2011; Amagliani et al., 2012). De ce fait, les intoxications par les micro-organismes concernent principalement les huîtres puisqu'elles sont généralement consommées crues et les moules bleues lorsqu'elles ne sont pas suffisamment cuites (Butt et al., 2004a; Iwamoto et al., 2010). Par ailleurs, la congélation à -20°C pendant 7 jours permet de tuer les parasites, alors que la multiplication des bactéries et des virus n'est que temporairement arrêtée et reprend dès que l'aliment est décongelé (MAPAQ, 2013). La majorité des intoxications par les micro-organismes affectent principalement le système digestif et causent des symptômes qui s'apparentent à la gastro-entérite (Amagliani et al., 2012). Toutefois, dans certains cas, les pathogènes en cause peuvent déclencher des intoxications sévères, particulièrement chez les individus qui souffrent de problèmes de santé affectant le système immunitaire ou hépatique (Amagliani et al., 2012). Les symptômes, temps d'incubation, durée de l'infection ainsi que la température et le temps d'inactivation des différents types d'infections sont détaillés dans le tableau de l'annexe B. Lorsque la concentration des coliformes fécaux dans l'eau dépasse la norme autorisée, la consommation de bivalves est un enjeu de santé publique, car elle peut présenter des risques pour les consommateurs.

5.1 Coliformes fécaux et contaminants d'origine fécale

Les coliformes fécaux représentent un sous-groupe des coliformes totaux et sont également appelés coliformes thermotolérants, car ils ont la capacité de croître et de fermenter le lactose à $44,5^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ pendant 24 heures ± 2 hrs (INSPQ, 2019). Cependant, les coliformes fécaux sont inactivés après un certain temps à des températures supérieures à 60°C (OMS, 2011). De ces bactéries, *Escherichia coli* (*E. coli*) représente près de 90% des coliformes, mais d'autres bactéries y sont rattachées dont *Citrobacter*, *Enterobacter* et *Klebsiella* (INSPQ, 2019). Les coliformes fécaux proviennent la plupart du temps de matières fécales humaines ou animales, mais peuvent aussi provenir d'eaux rejetées par des industries alimentaires ou de pâtes et papiers ne comportant pas d'étape de désinfection (INSPQ, 2019). Les installations septiques défectueuses, les animaux de ferme, les animaux sauvages, dont les mammifères marins et les

oiseaux, ainsi que les bateaux qui déversent directement leurs eaux usées dans l'environnement sont d'autres sources de coliformes fécaux et autres micro-organismes associés (Gouvernement du Canada, 2019c).

Lorsque les moules bleues sont contaminées par les coliformes fécaux, ceux-ci se concentrent principalement dans le système digestif du bivalve dans une concentration semblable, mais parfois supérieure à celle du milieu marin (Potasman et al., 2002). Cependant, tel que mentionné précédemment, les coliformes fécaux sont généralement peu pathogènes et sont inactivés en quelques heures en milieu marin (Archibald, 2000; Valentin et al., 2000; Mallet et al., 2009). Ils sont alors éliminés plus rapidement des moules bleues que les autres micro-organismes pathogènes qui y sont associés, dont les virus (Valentin et al., 2000; Mallet et al., 2009). Par ailleurs, les bivalves contaminés par les coliformes fécaux peuvent également revenir sous la norme de réouverture, qui est de ≤ 230 du nombre le plus probable (NPP) de coliformes fécaux/100 grammes de chair (tableau 1), en seulement 24 heures lorsque placés en milieu salubre, par exemple lors d'un processus de dépuración en milieu naturel (Mallet et al., 2009; Gouvernement du Canada, 2019b). Toutefois, les bivalves cueillis de manière récréative ne subissent généralement pas de dépuración et sont parfois consommés crus, ou cuits à la vapeur jusqu'à l'ouverture des coquilles, ce qui ne permet pas de détruire tous les micro-organismes (MAPAQ, 2013). En effet, la dépuración est une solution efficace, mais elle n'est pas praticable par les cueilleurs récréatifs puisqu'elle implique l'installation de bassins de décantation où de l'eau de mer est en circulation constante.

Bien que ce ne soit que les coliformes fécaux qui sont mesurés dans l'eau, tel que mentionné, de nombreux autres micro-organismes peuvent contaminer les bivalves alors que ces derniers ne sont pas mesurés (Potasman et al., 2002). Ces micro-organismes peuvent provenir du milieu marin ou de contamination croisée, mais sont principalement excrétés par les humains et les animaux infectés (Valentin et al., 2000). Les pathogènes qui s'accumulent le plus souvent dans les bivalves ne seraient alors pas les coliformes fécaux, mais plutôt en ordre décroissant, d'abord les virus (hépatite A et les norovirus), puis les bactéries (*Salmonelles*, *Campylobacter*, *Shigella* et *Vibrio*) et dans certains cas des parasites (*Giardia*, *Cryptosporidium*, *Toxoplasma*) (Valentin et al., 2000; Robertson, 2007; FAO, 2010; Levesque et al., 2010; Hohweyer et al., 2013). De ce fait, certains auteurs considèrent que les coliformes fécaux ne constituent pas les indicateurs les plus fiables de contamination fécale (Valentin et al., 2000). En effet, l'absence de coliformes fécaux ne permettrait pas de confirmer que l'eau et les mollusques ne sont pas contaminés par d'autres micro-organismes, tels que ceux mentionnés ci-haut (Valentin et al., 2000). Les coliformes fécaux sont toutefois actuellement utilisés comme indicateurs, car leur densité est semblable au niveau de contamination par les matières fécales et leur survie dans l'environnement est similaire (CEAEQ, 2016). De plus, des études réalisées en Caroline du sud et la Gulf Coast aux États-Unis ont soulevé que la surveillance des coliformes fécaux a permis de réduire efficacement certaines infections bactériennes liées à l'ingestion de fruits de mer (Schwab et al., 1998; Burkhardt et Calci, 2000).

5.2 Norme pour les coliformes fécaux dans les zones de cueillette

Pour l'ouverture d'une zone de cueillette, dans chaque secteur, la présence de coliformes fécaux est mesurée dans l'eau et non dans la chair des bivalves. Si la mesure dépasse la norme établie, la zone est immédiatement fermée à la cueillette pendant au moins 7 jours (Gouvernement du

Canada, 2019b) (Tableau 1). La norme pour la cueillette de mollusques concernant les coliformes fécaux est que la médiane des échantillons dans l'eau ne doit pas excéder 14 NPP/100ml d'eau et de ces échantillons, un maximum de 10% peuvent excéder 43 NPP/100ml (Gouvernement du Canada, 2019b). De plus, la moyenne du NPP ne doit pas excéder 14/100ml d'eau et le 90^e percentile estimé du NPP de coliformes fécaux ne doit pas dépasser 43/100ml (Gouvernement du Canada, 2019b).

5.3 Autres bactéries n'étant pas associées à la contamination fécale

Les bactéries du genre *Vibrio* sont une autre grande source d'intoxication par la consommation de bivalves crus ou partiellement cuits en Amérique (Ashrafudoulia et al., 2019). Ce sont des bactéries gram-négatives naturellement présentes dans les régions côtières et les estuaires des régions tempérées, mais qui sont aussi parfois excrétées dans les matières fécales des individus infectés (Mallet et al., 2009; Gouvernement du Canada, 2017a). Bien qu'une éclosion à *V. parahaemolyticus* associée à la consommation de moules bleues ait été rapportée en Alaska, ces bactéries sont pour le moment plutôt détectées dans les eaux des régions plus au sud de l'estuaire du Saint-Laurent, car leur croissance est favorisée par les eaux chaudes, soit de 15°C ou plus (Butt et al., 2004a; Baker-Austin et al., 2013). Les *Vibrios* qui sont les plus souvent impliqués dans les intoxications liées à la consommation de bivalves contaminés sont d'abord *V. parahaemolyticus* suivi de *V. vulnificus*, et les eaux canadiennes abritent également dans de plus faibles concentrations *V. alginolyticus* et *V. fluvalis* (Butt et al., 2004a; Gouvernement du Canada, 2017a). Les symptômes d'une intoxication au *V. parahaemolyticus* sont semblables à une gastro-entérite dans 60 à 80% des cas (Butt et al., 2004a; Onarinde et Dixon, 2018). Mais, dans de rares cas, les individus infectés par *V. parahaemolyticus* peuvent développer une infection des plaies, si une plaie est en contact avec de l'eau contaminée ou directement avec un bivalve, ou la septicémie (Butt et al., 2004a; Onarinde et Dixon, 2018). Quant à elles, les infections à *V. vulnificus* ont le potentiel de causer des symptômes plus sévères, car elles sont plus souvent associées à des plaies nécrosées et à la septicémie ce qui peut mener au décès, particulièrement chez les individus immunosupprimés ou souffrant de problèmes hépatiques (Butt et al., 2004a). Comme pour les autres micro-organismes pathogènes, puisque les bactéries du genre *Vibrio* sont inactivées par la chaleur de la cuisson, les bivalves ne devraient jamais être consommés sans une cuisson adéquate pour réduire les risques d'intoxication (Gouvernement du Canada, 2017a).

À ce jour, les bactéries du genre *Vibrio* ont été détectées sur la côte canadienne Atlantique, mais peu de données sont retrouvées quant à leur présence dans l'estuaire du Saint-Laurent (Banerjee et al., 2018). La détection de *V. parahaemolyticus* semble plus importante l'été, et serait influencée par la température de l'eau, la salinité, la présence de nutriments et la turbidité de l'eau (Banerjee et al., 2018; Onarinde et Dixon, 2018). Or, avec les changements climatiques, l'augmentation de la température de l'eau et d'autres conditions océanographiques pourraient favoriser la croissance des bactéries *Vibrio* dans des latitudes plus nordiques comme dans le Saint-Laurent (Baker-Austin et al., 2013; Banerjee et al., 2018). Il serait donc pertinent que des études de caractérisation de la présence de *Vibrio* dans les eaux coquillières ainsi que dans les bivalves de l'estuaire du Saint-Laurent soient réalisées. Ceci permettrait de statuer le risque auquel sont exposés les consommateurs de bivalves provenant de l'estuaire du Saint-Laurent. Par la suite, la répartition des bactéries du genre *Vibrio* devra être surveillée puisqu'elles pourraient migrer vers le nord sous l'influence des changements climatiques.

6. TOXINES MARINES POUVANT MENER À LA FERMETURE DE ZONES POUR LA CUEILLETTE DE BIVALVES

Les toxines marines (aussi appelées biotoxines ou phycotoxines) sont moins souvent impliquées dans les intoxications par les bivalves que les micro-organismes, mais les conséquences sur la santé peuvent parfois être plus graves (Wright et al., 2018). Contrairement aux micro-organismes, les biotoxines sont thermorésistantes, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas détruites par la chaleur (Isbister et Kiernan, 2005; OMS, 2011). Dans le monde, plus de 5000 espèces de microalgues marines (aussi appelées phytoplancton) sont recensées, dont une quarantaine produisent des biotoxines pouvant poser des risques pour la santé humaine (Brett, 2003). En outre, lors d'une floraison, plusieurs espèces de microalgues différentes peuvent proliférer ce qui complique leur identification (Daguer et al., 2018). Au Canada, on retrouve les biotoxines suivantes : les saxitoxines associées à la phycotoxine paralysante (PSP), l'acide domoïque associé à la phycotoxine amnésique (ASP) ainsi que l'acide okadaïque, les dinophysistoxines et les pecténotoxines associés à la phycotoxine diarrhéique (DSP) (Gouvernement du Canada, 2019b). De la centaine d'espèces de phytoplancton qui sont retrouvées dans le Saint-Laurent, environ douze produisent des toxines nuisibles, dont *Alexandrium tamarense* qui est responsable de la PSP, *Dinophysis acuminata*, *D. norvegica*, *D. rotundata* et *Prorocentrum minimum*, responsables de la DSP ainsi que *Pseudo-nitzschia seriata*, responsable de l'ASP (Blasco et al., 1998; Scarratt et al., 2017). De ces microalgues, la toxine produite par *A. tamarense* est la plus toxique et la PSP est la plus commune des intoxications par les mollusques (Blasco et al., 1998; Isbister et Kiernan, 2005). De plus, ces toxines peuvent s'introduire dans la chaîne alimentaire et affecter non seulement les humains, mais aussi les poissons, les mammifères marins, ainsi que les oiseaux qui se nourrissent des produits de la mer (Anderson et al., 2012; Trainer et al., 2012). Dans le monde entier depuis quelques années, les floraisons de phytoplancton produisant des biotoxines augmentent en intensité, en nombre et en localisation, ce qui serait causé par l'augmentation constante de la population mondiale, l'urbanisation, l'agriculture et l'industrialisation (Glibert et al., 2005; Glibert et al., 2014). D'autres facteurs peuvent également expliquer ces changements, soit une plus grande attention portée à ces phénomènes, l'eutrophisation des eaux côtières et le transport des eaux de ballast par les navires (Brett, 2003). Toutefois, au Canada, depuis juin 2019, le règlement sur les eaux de ballast a été modifié pour réduire les risques environnementaux qui y sont associés, notamment pour prévenir l'introduction d'espèces envahissantes (Gouvernement du Canada, 2019d). Les risques associés aux déversements des eaux de ballast dans le développement et/ou la prolifération d'algues toxiques devraient donc être réduits. Les intoxications par les mollusques, les biotoxines impliquées et les périodes de floraison sont détaillées dans le tableau de l'annexe C.

D'autres biotoxines peuvent causer des intoxications à la suite de la consommation de bivalves contaminés, mais à ce jour elles ne semblent pas être retrouvées dans l'estuaire du Saint-Laurent. En effet, l'intoxication neurotoxique par les mollusques affecte les bivalves sur la côte sud-est des États-Unis, soit en Floride et en Caroline du Nord, dans le golfe du Mexique, les Caraïbes et en Nouvelle-Zélande (Isbister et Kiernan, 2005; Daguer et al., 2018). Elle est causée par l'accumulation de brevéttoxines produites par le dinoflagellé *Gymnodinium brevis* et se manifeste par des dérangements gastro-intestinaux et neurologiques (Isbister et Kiernan, 2005). Les symptômes peuvent également apparaître suite à l'inhalation de toxines en suspension dans l'air (Nicolas et al., 2017). Enfin, les intoxications causées par l'azaspiracide sont principalement

associées à la consommation de mollusques provenant de l'Irlande, et les symptômes sont semblables à l'intoxication par phycotoxine diarrhéique (DSP) en plus de causer des symptômes neurologiques (Daguer et al., 2018). La localisation de ces biotoxines devrait être surveillée, car les changements climatiques et les courants marins pourraient modifier leur emplacement, ce qui sera abordé à la section 9.

6.1 Saxitoxines associées à la phycotoxine paralysante (PSP)

6.1.1 Définition

L'intoxication par PSP est causée par les saxitoxines (STX) et ses dérivés, qui sont produits par *A. tamarense*, une microalgue de la classe des dinoflagellés (Blasco et al., 1998). L'estuaire du Saint-Laurent semble colonisé principalement par *A. tamarense* et *A. ostenfeldii* (regroupées sous l'appellation *Alexandrium* spp.), toutefois *A. ostenfeldii* n'a jamais contribué à une floraison toxique (Scarratt et al., 2017). Les STX et leurs dérivés sont des substances hydrosolubles qui sont résistantes à la cuisson et à la congélation (Isbister et Kiernan, 2005; Etheridge, 2010; Daguer et al., 2018). Après l'absorption, elles s'accumulent d'abord dans le système digestif des moules bleues, puis elles sont transportées dans d'autres tissus ou organes par la circulation sanguine, où elles sont métabolisées en partie seulement, ce qui ralentit leur élimination (Blanco et al., 2003). La multiplication rapide d'*A. tamarense* colore parfois l'eau en rouge ce qui lui vaut le nom de « marée rouge » (Gouvernement du Canada, 2019a). Cependant, la floraison d'algues produisant ces toxines ne s'accompagne pas toujours d'une coloration rouge de l'eau (Gouvernement du Canada, 2019a). En conséquence, l'absence de marée rouge n'indique pas nécessairement que la cueillette de mollusques soit sécuritaire (Gouvernement du Canada, 2019a). Les STX sont distribuées partout sur la planète, mais se retrouvent principalement dans les régions côtières tempérées et tropicales (Grattan et al., 2016a). L'Est de l'Amérique du Nord, la région du Saint-Laurent ainsi que le golfe du Maine et de la Nouvelle-Angleterre sont particulièrement à risque de floraison (Shumway et al., 2018). De plus, une augmentation des taux de germination des kystes de *A. tamarense* a été observée dans les sédiments des rives nord et sud le long de l'estuaire du Saint-Laurent à la fin de l'été et au début de l'automne, indiquant un risque plus élevé de floraison d'*A. tamarense* (Fauchot et al., 2008). En effet, *A. tamarense* présente un cycle de vie complexe qui alterne entre une phase de dormance dans les sédiments, suivie d'une germination qui transforme les cellules en phase végétative et les transporte dans la colonne d'eau. Les cellules germinées peuvent tranquillement migrer vers la surface et initier une floraison lorsque les conditions environnementales sont propices. Après un certain temps, qu'il y ait eu floraison ou non, les cellules entrent à nouveau en phase de dormance et sédimentent au fond des cours d'eau (Fauchot et al., 2008).

6.1.2 Période de floraison et facteurs pouvant l'influencer

La floraison des kystes d'*A. tamarense* est un événement annuel récurrent dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent, mais le moment où l'éclosion est initiée, la durée et l'envergure varient d'une année à l'autre (Weise et al., 2002). Ces variations sont influencées par un ensemble de

facteurs qui ne sont pas encore connus en détail (Weise et al., 2002). Ces facteurs incluent notamment les précipitations, l'ensoleillement, la salinité de l'eau, la stabilité de la colonne d'eau, la présence de nutriments, le débit des rivières adjacentes, la température et les vents (Weise et al., 2002; Gouvernement du Canada, 2019a). Le Saint-Laurent est probablement colonisé par plusieurs populations locales d'*A. tamarense* ayant leurs propres caractéristiques hydrologiques et environnementales qui déterminent le moment et l'étendue de leur floraison (Weise et al., 2002). Lors des dernières années, les périodes qui ont été les plus propices aux éclosions, sans nécessairement mener à une fermeture d'une zone de cueillette, étaient au printemps, pendant l'été et au début de l'automne (Gouvernement du Canada, 2019a). Dans la région du Bas-Saint-Laurent, la floraison d'*Alexandrium* spp. survient généralement au cours de la dernière semaine de juin et la première semaine de juillet (Blasco et al., 1998). Cependant, il est parfois possible qu'une deuxième floraison survienne vers la fin du mois d'août ou au début du mois de septembre (Blasco et al., 1998). À presque tous les ans entre 1989 et 1998, *A. tamarense* était détectable dans le nord-ouest du golfe du Saint-Laurent, à Sept-Îles, pendant une période de 3 semaines entre le 18 juin et le 2 juillet, ce qui correspond à la période où l'eau est normalement chaude et la salinité relativement basse (Weise et al., 2002).

6.1.3 Norme dans les zones de cueillette

Les effets de santé chez l'humain ont été documentés à partir de 80 µg éq. STX/100g dans la chair des bivalves et ce seuil correspond à la norme actuelle utilisée au Canada pour cette biotoxine (Blasco et al., 1998; Gouvernement du Canada, 2019b). De ce fait, compte tenu des risques sur la santé, les zones où un seul bivalve échantillonné présente une concentration égale ou supérieure à cette concentration sont immédiatement fermées à la cueillette (Gouvernement du Canada, 2019b). Cette concentration dans la chair des bivalves s'observe généralement lorsque la concentration dans l'eau d'*A. tamarense* atteint 1000 cellules/L (Blasco et al., 1998). De plus, la réouverture des zones de cueillette est en relation avec le taux de dépuración, car les bivalves accumulent plus rapidement les biotoxines qu'ils ne les éliminent (Blasco et al., 1998). En effet, chaque bivalve peut accumuler approximativement 3g de poids sec de microalgues en seulement 24 heures (Brett, 2003). Les bivalves peuvent donc devenir toxiques en une journée, mais lorsque les STX et ses dérivés ne sont plus présents dans l'environnement, les bivalves se détoxifient en moyenne après 10 à 50 jours (Shumway, 1990; Brett, 2003).

6.1.4 Présentation clinique chez l'humain

Les STX et leurs dérivés bloquent les canaux sodium (Na⁺), ce qui empêche l'entrée de Na⁺ dans les cellules des nerfs moteurs et sensoriels des mammifères. Ce blocage perturbe la conduction de l'influx dans les cellules nerveuses et musculaires, ce qui mène à la paralysie (Isbister et Kiernan, 2005). La sévérité des symptômes est généralement reliée à la quantité de toxines ingérées, ce qui dépend à la fois de la concentration des STX dans les moules bleues et de la quantité de moules bleues ingérées (CCNSE, 2013; Gouvernement du Canada, 2019a). La moitié des réactions surviennent en quelques minutes à moins d'une heure, mais dans certains cas, ils peuvent prendre jusqu'à 10 heures avant de se manifester (CCNSE, 2013). Les symptômes caractéristiques de l'intoxication par PSP sont l'engourdissement ou une sensation de

picotement débutant par la langue et les lèvres, et pouvant graduellement atteindre le visage et le cou ainsi que de la difficulté à avaler et des fourmillements aux doigts et aux orteils (Gouvernement du Canada, 2019a). Ces symptômes s'accompagnent parfois de somnolence, d'étourdissements, de maux de tête, d'une perte de vision temporaire, de nausées, de vomissements, de salivation, de transpiration abondante, de diarrhée et de fièvre (CCNSE, 2013; Gouvernement du Canada, 2019a). Les symptômes d'une intoxication plus grave sont une paresthésie généralisée, une faiblesse ou raideur des bras et des jambes, de la tachycardie, une perte de coordination et un discours incohérent (CCNSE, 2013; Gouvernement du Canada, 2019a). Dans les cas d'intoxication extrêmes, une paralysie des muscles respiratoires peut survenir de 2 à 12 heures après l'ingestion d'aliments contaminés, ce qui peut entraîner le décès d'un individu à la suite d'un arrêt respiratoire (CCNSE, 2013; Gouvernement du Canada, 2019a).

Les symptômes doivent être rapidement identifiés et les individus transportés aux urgences pour être surveillés étroitement et recevoir de l'assistance si une insuffisance respiratoire se développe (Gouvernement du Canada, 2019a). Aucun antidote n'existe pour renverser les effets des STX (CCNSE, 2013; Gouvernement du Canada, 2019a). Dans les cas d'intoxication légers à modérés, les symptômes se résorbent généralement d'eux-mêmes dans les heures ou les deux à trois jours suivants (CCNSE, 2013). Les individus ayant subi une intoxication grave peuvent ressentir une faiblesse jusqu'à une semaine après l'ingestion (Shumway, 1990). Les effets sur la santé d'une exposition chronique à de faibles doses de STX sont encore méconnus (Brett, 2003).

6.2 L'acide domoïque associé à la phycotoxine amnestique (ASP)

6.2.1 Définition

Cette intoxication est causée par l'acide domoïque (AD), un acide aminé hydrosoluble et polaire (Couture et al., 2001; Vilarino et al., 2018). L'AD est une neurotoxine naturellement produite par certaines microalgues rouges et par des algues unicellulaires provenant de la classe des diatomées (Couture et al., 2001; Vilarino et al., 2018). Dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent, seulement deux espèces de diatomées qui produisent potentiellement cette biotoxine sont présentes jusqu'à maintenant, soit *Pseudo-nitzschia seriata* et *P. delicatissima* (Couture et al., 2001). Selon Couture et al. (2001) la toxicité n'est causée que par *P. seriata*. En effet, des floraisons massives de *P. delicatissima* n'ont pas causé de toxicité, car cette microalgue ne semble pas produire d'AD (Couture et al., 2001). Puisque l'AD est hydrophile, il ne bioaccumule pas dans les tissus, mais il se concentre dans les glandes digestives des organismes filtreurs et en est rapidement éliminé (Trainer et al., 2012). Une fois dans les moules bleues, l'AD devient très stable et résistant à la chaleur ainsi qu'à la congélation (Lefebvre et Robertson, 2010).

L'intoxication par ASP a été décrite pour la première fois en 1987 au Canada, à la suite de la consommation de moules de culture provenant de la côte est de l'Île-du-Prince-Édouard (Lefebvre et Robertson, 2010). Lors de cet épisode, environ 140 personnes ont présenté des symptômes et trois autres personnes sont décédées (Todd, 1993). Il semblerait que cet épisode représente le premier cas documenté où des diatomées ont été reconnues comme pouvant produire des phycotoxines (Couture et al., 2001). Depuis, aucun autre cas d'intoxication humaine ne semble avoir été rapporté dans le monde (Lefebvre et Robertson, 2010; Trainer et al., 2012).

Toutefois, l'AD a depuis été associé à de la morbidité et au décès de nombreux animaux sauvages, dont des oiseaux et des mammifères marins (Trainer et al., 2012).

6.2.2 Période de floraison et facteurs pouvant l'influencer

Les microalgues productrices d'AD se retrouvent dans presque toutes les régions côtières du monde (Trainer et al., 2012). Dans le golfe du Saint-Laurent, une floraison massive a nécessité la fermeture de certaines zones de cueillette en 2002 (Trainer et al., 2012). Depuis, des zones de cueillette ont dû être fermées à quelques reprises à la suite de la détection d'AD produit par *P. seriata* (Bates et al., 2018). Toutefois, les floraisons de *P. seriata* ne semblent pas présenter une récurrence annuelle comme c'est le cas pour les floraisons d'*A. tamarense*. Les floraisons de diatomées produisant l'AD peuvent atteindre des concentrations de 10^6 à 10^8 cellules/L et durer jusqu'à deux mois (Trainer et al., 2012). La salinité, la température de l'eau, les vents, de fortes précipitations, le débit des rivières et la concentration de nutriments semblent exercer une influence sur les éclosions de *Pseudo-nitzschia sp.* (Trainer et al., 2012). Enfin, la plupart des floraisons surviennent au cours du printemps et de l'automne, lorsque l'irradiance est faible (Bates et al., 2002; Trainer et al., 2012).

6.2.3 Norme dans les zones de cueillette

Lorsque la concentration d'AD dans la chair d'un mollusque est supérieure ou égale à 20 µg/g, la cueillette est immédiatement interdite dans la zone (Gouvernement du Canada, 2019b). Puisque l'AD est hydrophile et qu'il s'accumule à l'intérieur des glandes digestives des bivalves, la moule bleue se dépure en quelques heures lorsqu'elle est isolée dans un milieu marin exempt de la toxine (Wohlgeschaffen et al., 1992; Trainer et al., 2012).

6.2.4 Présentation clinique chez l'humain

La structure spatiale de l'AD explique son interaction avec les récepteurs de glutamate et ses effets toxiques au niveau du système nerveux central (Lefebvre et Robertson, 2010). L'AD crée une excitation neuronale pouvant causer des lésions cérébrales, voire la mort à de fortes doses (Couture et al., 2001). Les symptômes se manifestent en général de 15 minutes à 48 heures après l'ingestion de mollusques contaminés (Vilarino et al., 2018). Les premiers symptômes à apparaître sont des nausées, des vomissements, des crampes abdominales et de la diarrhée, parfois associés à des faiblesses musculaires (Gouvernement du Canada, 2019a). À des doses d'AD entre 1,9 et 4,2 mg/kg, il est possible d'observer des symptômes sévères, soit une perte de mémoire pouvant être accompagnée de confusion, de désorientation, de détresse respiratoire, de convulsions et de coma (Todd, 1993; Vilarino et al., 2018). Les symptômes se résolvent dans la plupart des cas spontanément en quelques jours, mais les intoxications les plus graves peuvent perdurer pendant des mois ou mener au décès suite à l'apoptose et la nécrose de neurones (Todd, 1993; Vilarino et al., 2018). Le symptôme caractéristique de l'intoxication par ASP est un désordre permanent de la mémoire antérograde (Grattan, et al., 2016a). De plus, les individus de sexe masculin ou d'âge avancé sont plus susceptibles de subir des symptômes sévères ou de souffrir d'amnésie (Vilarino et al., 2018).

À ce jour, aucun antidote contre l'AD n'a été identifié, et le traitement consiste à un support respiratoire, la correction de l'instabilité hémodynamique et des arythmies cardiaques lorsque nécessaire (Vilarino et al., 2018). Les effets d'une exposition chronique à de faibles doses ne

sont pas encore connus en détail et nécessiteront des études plus approfondies (Grattan, et al., 2016a). Toutefois, un faible déclin de la mémoire a été observé chez des autochtones provenant de tribus de la région du nord-ouest du Pacifique, dans l'état de Washington, qui ont consommé des produits de la mer contaminés à des niveaux inférieurs aux normes pendant quelques années (Grattan et al., 2016b). De plus, des études chez les rongeurs ont démontré qu'une exposition chronique à de faibles doses pourrait affecter la fonction rénale ainsi que le développement du fœtus au cours de la grossesse (Grant et al., 2010; Funk et al., 2014).

6.3 L'acide okadaïque, les dinophysistoxines et les pectenotoxines associés à la phycotoxine diarrhétique (DSP)

6.3.1 Définition

Cette intoxication est causée par différents dinoflagellés produisant des biotoxines, dont *Dinophysis* spp., incluant *D. norvegica*, et *Prorocentrum* spp. qui sont retrouvés dans le Saint-Laurent (James et al., 2010; Scarratt et al., 2017). Les biotoxines associées à la DSP se divisent en deux classes, soit l'acide okadaïque (AO) et la dinophysistoxine (DTX) et ses dérivés (James et al., 2010). Les trois plus toxiques sont l'AO, la DTX1 et la DTX2 (Suzuki et Quilliam, 2011). Ces toxines sont thermostables, liposolubles et elles s'accumulent dans les organes du système digestif des moules, soit l'estomac et les intestins, ainsi que dans les cellules des différents organes, principalement les glandes digestives (Murata et al., 1982; James et al., 2010; Blanco, 2018). Deux autres groupes de toxines ayant une structure similaire et produites par ces dinoflagellés ont été retirés du groupe de biotoxines associées à la DSP, soit les pectenotoxines (PTX) et les yessotoxines (YTX), car elles ne causent pas de diarrhées et ne sont pas associées à des intoxications chez l'humain (Suzuki et Quilliam, 2011). Les moules bleues sont les bivalves les plus souvent contaminés par ces biotoxines, alors que les palourdes et les pétoncles sont plus rarement associés à cette intoxication (BCCDC, 2020). Pour les moules bleues, l'organisme entier est généralement consommé. Par contre, pour le pétoncle, seul le muscle adducteur est habituellement consommé et celui-ci, contrairement aux organes digestifs, n'accumule pas de biotoxines (BCCDC, 2020). De plus, l'AO a été détecté pour la première fois dans l'estuaire du Saint-Laurent en 1989 (Cembella, 1989).

6.3.2 Période de floraison et facteurs pouvant l'influencer

L'DSP a été rapportée au Canada, aux États-Unis, au Japon, en France et dans d'autres parties de l'Europe ainsi qu'en Nouvelle-Zélande et en Amérique du Sud (Grattan et al., 2016a). Les floraisons de dinoflagellés causant l'intoxication par DSP ont généralement lieu dans les mois les plus chauds, soit du mois de juin à octobre dans l'hémisphère Nord (James et al., 2010). Les facteurs causant l'initiation, le maintien et la fin d'une éclosion sont encore peu connus, mais pourraient être influencés par différents facteurs dont la salinité et la température de l'eau, la stabilité de la colonne d'eau, la luminosité et les nutriments (Mafra et al., 2015).

6.3.3 Norme dans les zones de cueillette

Au Canada, la consommation de produits de la mer est interdite lorsque les concentrations atteignent 0,2 µg éq. AO et/ou DTX seuls ou en combinaison par gramme de chair (Gouvernement du Canada, 2019b). Bien que les PTX ne semblent pas causer de symptômes d’DSP chez l’humain, le PCCSM considère qu’une zone de cueillette doit également être fermée à la cueillette lorsque les niveaux de PTX sont égaux ou supérieurs à 0,2 µg/g de chair (Gouvernement du Canada, 2019b). Les moules bleues se dépurent de l’AO et des DTX principalement sous forme d’excrétion sur une période variant de 7 à 45 jours (Weise et al., 2002; Mafra et al., 2015; Nielsen et al., 2016).

6.3.4 Présentation clinique chez l’humain

L’AO et de ses dérivés affectent la muqueuse intestinale des mammifères en inhibant les protéines phosphatase sérine-thréonine de type 1 (PP1) et 2A (PP2A) (Cohen et al., 1990). Ceci causerait de l’inflammation et affecterait la perméabilité duodénale ainsi que le contrôle de la sécrétion de sodium par les cellules intestinales (Funk et al., 2014; Daguer et al., 2018). Les symptômes caractéristiques de l’intoxication par DSP s’apparentent à la gastro-entérite, soit de la diarrhée, des nausées, des vomissements, des douleurs et des crampes abdominales (Funk et al., 2014; Gouvernement du Canada, 2019a). Ils s’accompagnent parfois de maux de tête et de fièvre (Funk et al., 2014). Les symptômes peuvent débuter dans les 30 minutes suivant l’ingestion, ils apparaissent dans la majorité des cas de 2 à 3 heures après l’ingestion, mais dans certains cas peuvent prendre jusqu’à 15 heures avant de se manifester (Suzuki et Quilliam, 2011). Dans de rares cas, les symptômes peuvent être sévères et mener à la déshydratation, bien qu’aucun décès n’a été rapporté jusqu’à maintenant dans la littérature (Blanco, 2018).

La majorité des cas ne nécessitent pas de traitement et les symptômes se résolvent d’eux-mêmes dans les 3 jours suivants l’intoxication (Suzuki et Quilliam, 2011). Les cas les plus sévères nécessitent une réhydratation pour corriger la perte d’ions et de fluides (Couture et al., 2001). Puisque les symptômes sont semblables aux intoxications virales et bactériennes causées par les mollusques et qu’aucun test clinique ne permet d’identifier le pathogène en cause, l’intoxication par DSP est possiblement parfois confondue avec d’autres types d’intoxications et son incidence souvent sous-estimée (Funk et al., 2014). Les effets à long terme d’une exposition à l’AO et ses dérivés ne sont pas encore bien connus, mais ces toxines pourraient être associées à des problèmes médicaux à long terme (Funk et al., 2014). Quelques études animales et cellulaires suggèrent que l’AO et ses dérivés pourraient augmenter les risques de développer un cancer colorectal puisqu’ils agissent comme des promoteurs de tumeurs (Fujiki et al., 1988; Cohen et al., 1990; Valdiglesias et al., 2011). Plus d’études seront toutefois nécessaires pour établir un lien de causalité clair entre une exposition chronique à une faible dose d’AO et ses dérivés et l’incidence de cancer colorectal chez l’humain (Couture et al., 2001).

7. AUTRES CONTAMINANTS POTENTIELLEMENT PRÉSENTS DANS LES BIVALVES DU SAINT-LAURENT

De nombreux autres polluants sont rejetés dans le bassin versant du fleuve et de l'estuaire du Saint-Laurent par diverses activités anthropiques. Parmi ces polluants se retrouvent notamment les métaux, les polluants organiques persistants, les pesticides, les contaminants émergents, les microplastiques et les produits pharmaceutiques et de soins personnels. La teneur de ces contaminants dans les bivalves du Saint-Laurent n'est généralement pas connue, puisqu'à ce jour le PCCSM ne réalise pas de biosurveillance des contaminants d'origine chimique. Leur teneur dans les bivalves peut être influencée par divers facteurs, dont la proximité d'industries, le niveau de traitement des eaux usées, la présence d'activités agricoles utilisant des pesticides dans le bassin versant et la densité de la population dans chaque région d'intérêt (Plan d'action Saint-Laurent 2011-2026, 2015a,b). Les contaminants chimiques mesurés dans les bivalves devraient alors être étudiés en fonction des activités anthropiques environnantes présentes dans le bassin versant d'intérêt. Par exemple, la teneur de certains pesticides dans la chair des moules pourrait être mesurée dans les régions agricoles. Les divers polluants ainsi que leurs effets sur la santé à la suite d'une exposition chronique à de faibles doses sont présentés à l'annexe D.

7.1 Métaux

De nombreux métaux sont retrouvés dans le Saint-Laurent, dont le fer (Fe), le cuivre (Cu), le mercure (Hg), le cadmium (Cd), le zinc (Zn), l'arsenic (As) et le plomb (Pb) (Marcogliese et al., 2015; Plan d'action Saint-Laurent 2011-2026, 2015b). Ces métaux proviennent principalement du bruit de fond géologique naturel, mais aussi de sources anthropiques diffuses, dont les industries et l'agriculture (Choinière et Beaumier, 1997; Gobeil et al., 2005). Les moules bleues bioaccumulent les métaux dans les glandes digestives, parfois à des concentrations supérieures à la concentration aquatique environnante (Zuykov et al., 2013). De plus, la concentration des métaux dans les moules bleues est sujette à des variations spatiales et temporelles, en plus d'être influencée par la nature du métal et les activités humaines environnantes (Stankovic et Jovic, 2012). Par ailleurs, il est possible d'observer une grande variabilité interindividuelle de la quantité de métaux contenue dans les moules bleues, ce qui peut être expliqué par l'âge et le taux de filtration du bivalve (Zuykov et al., 2013). Certains métaux sont particulièrement toxiques à de faibles doses chez l'humain, dont le Pb, le Cd, l'As et le Hg (Stankovic et Jovic, 2012) et méritent une attention particulière. Par ailleurs, il semblerait que ces métaux, s'ils sont présents dans les écosystèmes, se bioaccumulent dans les bivalves selon l'ordre de grandeur suivant : As>Pb>Cd>Hg (Stankovic et Jovic, 2012). En outre, les données les plus récentes quant à la concentration de tous les métaux excepté le Hg dans les mollusques de l'estuaire du Saint-Laurent datent du début des années 2000 (Gagnon et al., 2004). Seul le mercure semble avoir été mesuré dans les moules bleues de l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent dans les dernières années, et ses concentrations sont sensiblement les mêmes qu'il y a 40 ans (Cossa et Tabard, 2020). Une mise à jour de la concentration des autres métaux permettrait d'évaluer les risques associés à la consommation de moules bleues de l'estuaire du Saint-Laurent, car les effets des métaux sur la santé humaine sont influencés par la dose et la fréquence de l'exposition (Ali et Khan, 2019). Or, au début des années 2000, tous les métaux retrouvés dans les bivalves du Saint-Laurent étaient sous les normes recommandées pour prévenir des effets sur la santé excepté l'arsenic, bien qu'il s'y retrouvait sous forme organique (Gagnon et al., 2004). En effet, dans les bivalves, l'arsenic est principalement retrouvé sous forme organique, soit l'arsenobétaïne, qui

n'est pas toxique pour l'être humain (ATSDR, 2007). Une autre étude chez la moule bleue du Saint-Laurent indiquerait que son système digestif, qui est consommé en même temps que le reste de la moule, pourrait accumuler des concentrations élevées d'As inorganique et de Cd, mais ces données n'ont pas été publiées à ce jour (R. St-Louis, Département de biologie de l'UQAR, Rimouski (Québec), communication personnelle, 2020). Plus d'études seront donc nécessaires pour documenter les concentrations actuelles de ces métaux dans les moules bleues du fleuve et de l'estuaire du Saint-Laurent.

7.2 Polluants organiques persistants (POP) et les contaminants émergents

Les différents POP et les contaminants émergents sont des composés de synthèse, soit entre autres des retardateurs de flamme, des pesticides et des polymères utilisés dans de nombreux produits d'usage courant qui se retrouvent ensuite dans l'environnement. La présence de ces contaminants dans les cours d'eau, les estuaires et les océans est un problème mondial qui menace la santé humaine et l'environnement (Rodil et al., 2019). Les POP sont très résistants à la dégradation et persistent de nombreuses années dans l'environnement, parfois même s'ils ne sont plus produits depuis longtemps (Rodil et al., 2019). Plusieurs sont aussi volatiles et voyagent sur de grandes distances et s'accumulent vers les pôles suivant les courants atmosphériques et océaniques. De par ces propriétés, ils se bioamplifient également à travers la chaîne alimentaire, c'est-à-dire qu'on les retrouve en concentrations plus élevées dans les poissons prédateurs et les mammifères marins. Les plus anciens POP comme les bisphényles polychlorés (BPC) et les pesticides organochlorés (ex. DDT), sont lipophiles et s'accumulent essentiellement dans les tissus à forte teneur en lipides. Les composés perfluorés, aussi connus sous le nom de substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (PFAS), sont quant à eux hydrophiles et s'accumulent davantage dans les muscles et les organes. Dans les années 2000, différents contaminants ont été mesurés à des concentrations variables dans les échantillons d'eau prélevés tout au long du fleuve Saint-Laurent entre Montréal et Québec, notamment des retardateurs de flamme et des pesticides (Marcogliese et al., 2015; Plan d'action Saint-Laurent 2011-2026, 2015b). Par contre, à notre connaissance il ne semble pas exister de données récentes (après 1996) pour les régions plus en aval de la région de Québec. Par contre voir le rapport de Mousseau et Amellin (1996) pour des données avant cette période. Puisque plusieurs de ces contaminants sont des perturbateurs endocriniens, ils pourraient avoir un impact sur les organismes aquatiques et sur la santé humaine même à de faibles doses (Marcogliese et al., 2015; Rodil et al., 2019). Ils sont également connus pour leurs effets carcinogènes, mutagènes ainsi que sur les fonctions cardiométaboliques, neurologiques et immunitaires (Mathalon et Hill, 2014; Vandermeersch et al., 2015; Wright et Kelly, 2017). Selon certains auteurs, ces polluants devraient donc être considérés dans les nouveaux programmes de surveillance de la contamination des organismes marins dans le fleuve et l'estuaire du Saint-Laurent (Gagnon et al., 2004; Rodil et al., 2019). Toutefois, même si plusieurs sont maintenant bannis, puisque la liste de ces contaminants produits par l'industrie chimique s'allonge continuellement, varie en fonction de ce qui est produit, utilisé et rejeté dans l'environnement et que leurs coûts d'analyse sont très élevés, ceci rend difficile leur suivi environnemental sur une base de biosurveillance périodique (Maruya et al., 2014; Rodil et al., 2019). Aussi, la présence de certains polluants dans un milieu marin est influencée par les activités anthropiques qui se déroulent à proximité (Ali et Khan, 2019). De ce fait, les pesticides pourraient être plus concentrés dans les régions agricoles et les régions faiblement peuplées ont généralement des concentrations de polluants inférieures aux centres urbains (Dodder et al., 2014; Maruya et al., 2014). Toutefois, comme ils voyagent sur de longues

distances, les POP sont parfois détectables sur une distance de plusieurs kilomètres à partir de leur point de rejet (Maruya et al., 2014).

7.3 Microplastiques

Les microplastiques sont des morceaux de plastique de 5 millimètres ou moins qui ne sont pas dégradés ou entièrement retirés de l'eau par les usines d'épuration des eaux usées, et inclut généralement les nanoplastiques ($< 1 \mu\text{m}$) (Castaneda et al., 2014; Mathalon et Hill, 2014; Smith et al., 2018). Les microplastiques proviennent principalement de tissus synthétiques, mais aussi de la dégradation de gros morceaux de plastique, des produits d'hygiène et des cosmétiques (Mathalon et Hill, 2014; Van Cauwenberghe et Janssen, 2014). Les microplastiques sont retrouvés dans les sédiments du Saint-Laurent dans la section d'eau douce en quantité parfois abondante entre Montréal et Québec (Castaneda et al., 2014). La pollution par le plastique dans l'estuaire du Saint-Laurent est actuellement à l'étude par une équipe de chercheurs (Merinov, 2019). Les effets écologiques de ce type de pollution sont encore peu connus, mais ils pourraient affecter les organismes marins en les intoxiquant ou en obstruant leurs voies digestives et/ou respiratoires (Birnstiel et al., 2019). Les moules bleues peuvent accumuler des microplastiques, car pour se nourrir elles filtrent l'eau et absorbent les particules de 1 à 30 μm qui y sont en suspension (Famme et al., 1986; Lehner et al., 2019). De ce fait, les consommateurs de moules bleues seraient à risque d'ingérer des microplastiques, et la quantité absorbée est influencée par l'exposition environnementale du bivalve et la quantité de moules bleues ingérée (Birnstiel et al., 2019). Les effets des microplastiques sur la santé humaine sont eux aussi peu connus à ce jour (Smith et al., 2018). Ils seraient influencés par la taille et la nature chimique des particules ainsi que la quantité ingérée (Smith et al., 2018). Les microplastiques peuvent eux-mêmes contenir du bisphénol A (BPA) ou des phtalates qui sont aussi reconnus comme des perturbateurs endocriniens (Vandermeersch et al., 2015). Par ailleurs, puisqu'ils sont hydrophobes, les microplastiques peuvent adsorber différents POP, des métaux et peuvent être colonisés par des micro-organismes telles les bactéries du genre *Vibrio* (Wright et Kelly, 2017).

7.4 Produits pharmaceutiques et de soins personnels (PPSP)

La consommation de médicaments augmente continuellement, et bien qu'ils apportent de nombreux bénéfices, ce sont des contaminants émergents retrouvés dans l'environnement, particulièrement dans les cours d'eau (Mezzelani et al., 2018). Plus de 3000 molécules pharmaceutiques qui servent quotidiennement à l'usage humain et animalier, sont ensuite éliminées par les voies d'excrétion naturelles et se retrouvent dans les eaux usées (Roig et Thomas, 2014; Johnson et Chen, 2017). D'autres produits fréquemment utilisés, tels les gels douche, shampooing, dentifrices et cosmétiques se retrouvent également dans les eaux usées (Plan d'action Saint-Laurent 2011-2026, 2015a). Or, d'une part, les usines de traitement des eaux usées n'ont pas été conçues pour retirer spécifiquement les PPSP, alors que d'autre part, certaines communautés au Québec ne détiennent toujours pas ces installations et déversent directement leurs eaux usées dans le fleuve et l'estuaire (Roig et Thomas, 2014; Johnson et Chen, 2017). De ce fait, plusieurs PPSP sont désormais détectés dans les eaux du Saint-Laurent en concentration variant en fonction de la densité de la population, du type et de la quantité de médicaments consommés par celle-ci (Plan d'action Saint-Laurent 2011-2026, 2015a; Comber et al., 2018). Cependant, comme pour plusieurs autres contaminants de synthèse, la détection des PPSP dans l'environnement est complexe, puisque les molécules peuvent être transformées en

métabolites, adsorbées sur différentes surfaces, transformées par le rayonnement solaire ou réagir avec d'autres contaminants (Plan d'action Saint-Laurent 2011-2026, 2015a; Mezzelani et al., 2018). De plus, à ce jour, aucune méthode ne permet de détecter l'ensemble des sous-produits secondaires à la dégradation des PPSP, principalement par méconnaissance de ceux-ci (Plan d'action Saint-Laurent 2011-2026, 2015a). Les médicaments qui ont été détectés dans les bivalves s'y retrouvent généralement en faible concentration, soit quelques ng/g, et bien que les risques pour la santé des consommateurs semblent faibles, des études plus approfondies seront nécessaires pour le certifier (Mezzelani et al., 2018). Toutefois, les médicaments pourraient avoir un impact direct sur la santé des moules bleues et de leurs stocks. Par exemple à Montréal, les moules d'eau douce en aval de rejets d'eaux usées contenant des estrogènes ont démontré une féminisation et une mortalité plus élevée que celles en amont, ce qui pourrait affecter la survie de l'espèce (Blaise et al., 2003).

En conclusion, il importe de souligner que les gros poissons qui se nourrissent de petits poissons et les mammifères marins contiennent généralement plus de Hg, de POP et de contaminants émergents que les moules bleues, et que de nombreux autres aliments contiennent des microplastiques. Selon une revue de la littérature réalisée par la *European Food Safety Authority Panel for Contaminants in the Food Chain* (EFSA CONTAM Panel) en 2016, la consommation d'un seul repas de 225g de moules bleues contribuerait à une augmentation de moins de 2% de l'exposition aux BPC, aux HAP et aux BPA et les effets associés sur la santé humaine seraient faibles. Par exemple, un litre d'eau embouteillée exposerait les consommateurs à environ 2500 particules de microplastique (Ossmann et al., 2018), ce qui serait trois fois plus qu'un repas de moules bleues fortement contaminées par les microplastiques. À ce jour, il n'existe pas à notre connaissance de données sur la contamination du Saint-Laurent et des effets des microplastiques sur la santé des individus qui consomment des aliments de la mer qui en contiennent. Puisque le Saint-Laurent contient de nombreuses ressources alimentaires qui pourraient être consommées comme les moules bleues, et que les sources de pollution sont nombreuses, il serait pertinent de faire une caractérisation de la situation et d'instaurer un suivi de la pollution par les différents contaminants chimiques pouvant se retrouver dans le Saint-Laurent, notamment ceux qui sont moins documentés comme les microplastiques et les PPSP.

8. RÉOUVERTURE DES SITES DE CUEILLETTE DE BIVALVES

Une zone de cueillette qui a été fermée à la suite de la détection de coliformes fécaux dans l'eau peut être ré-ouverte après au moins 7 jours et lorsque la concentration des coliformes fécaux dans l'eau est revenue sous la norme et que les échantillons de moules bleues contiennent ≤ 230 NNP de coliformes fécaux/100g de chair (Gouvernement du Canada, 2019b). Quant aux biotoxines, les zones de cueillette peuvent être ré-ouvertes après l'obtention de trois résultats consécutifs qui sont inférieurs aux normes dans la chair des moules bleues et en décroissance sur une période de 14 jours (Gouvernement du Canada, 2019b). Chaque mesure doit être espacée d'une semaine et le premier et le troisième résultat doivent être espacés de 14 jours (Gouvernement du Canada, 2019b). À la suite d'un déversement de produits chimiques, la zone peut être ré-ouverte à la cueillette après au moins 7 jours si les échantillons de chair des bivalves démontrent une absence de contamination par les substances chimiques déversées (Gouvernement du Canada, 2019b).

9. CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET CONDITIONS FUTURES

Les changements climatiques pourraient modifier la localisation et l'intensité des floraisons des microalgues produisant des biotoxines (Wells et al., 2015). En effet, ceux-ci pourraient causer une augmentation des floraisons ainsi que leur apparition à des localisations imprévues (Nicolas et al., 2017). Par ailleurs, avec le réchauffement des eaux dans l'estuaire du Saint-Laurent, les changements climatiques pourraient entraîner un déplacement de nouvelles espèces de phytoplancton des zones tropicales vers le nord (Pecl et al., 2017). En conséquence, de nouvelles algues toxiques pourraient alors apparaître dans le Saint-Laurent. Pour mieux prévenir d'éventuelles intoxications par les bivalves, il serait pertinent de surveiller périodiquement leur répartition dans le monde et plus particulièrement sur la côte est américaine. En effet, l'intoxication neurotoxique par les mollusques causée par les brevéttoxines, qui est actuellement absente du Canada, est retrouvée dans les eaux et les bivalves de la Caroline du Nord et puisque les microalgues ont tendance à migrer progressivement vers le nord, il serait judicieux de surveiller la répartition des microalgues en cause. Une équipe de chercheurs tente d'ailleurs de mettre au point un système de prévision des floraisons d'algues nuisibles en mesurant les kystes de dinoflagellés de l'espèce *Alexandrium* dans les sédiments au cours de l'automne ou du début de l'hiver (NCCOS, 2019). En effet, les floraisons d'*Alexandrium catenella*, responsables de l'IPM dans le golfe du Maine, dépendent de la mesure de l'abondance de kystes dans les sédiments à la fin de la saison précédente (NCCOS, 2019). Ce système de prévision des floraisons d'algues nuisibles semble prometteur et pourrait éventuellement permettre de prévoir le moment et l'intensité des floraisons au cours de l'été suivant. Le réchauffement de l'eau causé par les changements climatiques pourrait aussi résulter en une augmentation de populations des bactéries du genre *Vibrio* dans le Saint-Laurent, puisque la multiplication de ces bactéries est favorisée lorsque la température de l'eau est de 15°C ou plus. Il serait donc également pertinent de surveiller la répartition de ces bactéries, sur la côte est américaine et canadienne. Finalement, la hausse des températures de l'eau et de l'air causée par les changements climatiques pourrait nuire à la survie des moules bleues, car les moules sont acclimatées à des températures de l'eau entre 5 et 20°C et ne tolèrent pas des températures supérieures à 29°C (Jones et al., 2010; Zippay et Helmuth, 2012; FAO, 2020).

10. RECOMMANDATIONS POUR UNE PÊCHE RÉCRÉATIVE SÉCURITAIRE

Tel que mentionné précédemment, la moule bleue est un aliment d'une excellente qualité nutritionnelle et sa consommation apporte de nombreux bénéfices sur la santé des individus. Or, pour assurer une pêche récréative qui ne présente pas de risques pour la santé des consommateurs et qui assure une exploitation durable des stocks de moules bleues, la présente revue de la littérature met en évidence que plusieurs recommandations doivent être considérées :

- **S'assurer que les cueilleurs comprennent bien que les bivalves ne doivent jamais être cueillis dans une zone fermée, par exemple en communiquant davantage les raisons de la fermeture d'une zone.** Pour réduire les risques de contamination biologique et chimique, les bivalves ne devraient être cueillis que dans les zones ouvertes à la cueillette (Butt et al., 2004b).
- **Communiquer aux cueilleurs que même lorsqu'une zone est ouverte à la cueillette, il est préférable de manger des moules bleues cuites adéquatement pour réduire les risques de**

contamination par les micro-organismes. En effet, la cuisson adéquate des bivalves réduirait les risques de contamination par les bactéries, les virus et les parasites (Butt et al., 2004b; Gouvernement du Canada, 2017a). La cuisson adéquate consiste à faire bouillir les bivalves jusqu'à ce que les coquilles s'ouvrent, puis de laisser bouillir au moins 5 minutes supplémentaires. À la vapeur, la cuisson devrait être poursuivie pendant au moins 9 minutes de plus (Gouvernement du Canada, 2017a). Finalement, Santé Canada recommande d'atteindre une température interne de 74°C pour réduire les risques de contamination d'origine microbiologique (Gouvernement du Canada, 2017a).

- **Rappeler aux cueilleurs que la cuisson et la congélation ne détruisent pas les biotoxines ni les contaminants chimiques.** Cela ne prévient donc pas les intoxications.
- **Rappeler également que les bivalves qui sont restés fermés après la cuisson ne devraient jamais être consommés,** car ils étaient probablement déjà morts et ils pourraient contenir des micro-organismes pathogènes (Gouvernement du Canada, 2017a).
- Proposer la vaccination contre l'hépatite A pour réduire les risques de contracter cette infection lors de la consommation de produits de la mer (Prato et al., 2013). Au Québec, la vaccination contre l'hépatite A est déjà intégrée au calendrier de vaccination des enfants depuis juin 2019 (Gouvernement du Québec, 2020). Les consommateurs réguliers de moules bleues et autres produits de la mer qui ne sont pas vaccinés contre l'hépatite A pourraient donc songer à se faire vacciner.
- **Documenter la présence et la répartition des bactéries du genre *Vibrio* dans le fleuve et l'estuaire du Saint-Laurent, car cela permettrait de statuer le risque d'exposition à ces bactéries via la consommation de bivalves du Saint-Laurent.** Par la suite, une surveillance de la répartition des *Vibrio* devrait être instaurée puisqu'ils pourraient migrer vers le nord en raison des changements climatiques si les températures de l'estuaire du Saint-Laurent atteignent des températures de 15°C ou plus.
- **Suivant le principe de précaution et pour réduire les coûts de surveillance, envisager de fermer les sites à la pêche récréative lors des mois les plus propices aux floraisons d'algues nuisibles.** Par exemple, les zones de cueillette pourraient être fermées entre la mi-juin et la fin du mois d'août. Ce principe semble appliqué en Colombie-Britannique, car les zones de cueillette de mollusques sont fermées sur une base saisonnière à cause des risques de contaminations par les biotoxines (Gouvernement du Canada, 2019e).
- Mettre en place des activités d'éducation et de sensibilisation auprès des cueilleurs pourrait contribuer à promouvoir les bénéfices de la consommation de moules bleues et réduire les risques d'intoxications causés par la consommation de bivalves contaminés par des micro-organismes ou des biotoxines.
- Mettre en place des usines de traitement des eaux là où les installations sont inexistantes ou sommaires (uniquement un dégrilleur) permettant une réduction de la concentration de contaminants biologiques et chimiques dans les bivalves en réduisant la contamination à la source.
- Documenter la concentration des divers polluants chimiques dans la chair des moules bleues du Saint-Laurent, car cela permettrait d'évaluer les risques qu'ils peuvent représenter sur la santé des consommateurs. Par exemple, dans une région agricole, la teneur des différents métaux ou des pesticides couramment utilisés sur les terrains agricoles environnants devrait être mesurée dans la chair des moules bleues, pour pouvoir statuer les risques associés à leur

consommation (Ministère de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques, 2020).

- Documenter l'impact des changements climatiques sur l'émergence de nouvelles espèces de phytoplancton et les stocks de moules bleues dans l'estuaire du Saint-Laurent.
- Mieux recenser les risques pour la santé en lien avec la consommation de moules bleues et d'autres fruits de mer au Québec.
- Mieux documenter les effets d'une exposition chronique à de faibles doses de biotoxines chez les populations qui consomment régulièrement des bivalves. De plus, il serait nécessaire de poursuivre les recherches pour mieux connaître les effets d'une exposition simultanée à différents contaminants, car ils sont généralement étudiés séparément. Toutefois les moules bleues peuvent en contenir plusieurs à la fois et ceux-ci pourraient avoir des effets additifs, agonistes ou antagonistes (Beyer et al., 2017).

CONCLUSION

En somme, les moules bleues de l'estuaire du Saint-Laurent représentent une ressource alimentaire nutritive et abondante faisant partie d'une alimentation saine et locale. La pêche récréative de moules bleues permettrait d'apporter de nombreux bénéfices pour la santé en plus de réduire modestement l'impact environnemental lié à l'alimentation.

Le présent projet a permis de documenter et de regrouper les différentes étapes qui mènent à l'ouverture ou à la réouverture d'une zone de cueillette, tel que présenté dans l'algorithme décisionnel de l'annexe A. Avant d'ouvrir une zone de pêche récréative de moules bleues, il faut d'abord s'assurer que les moules bleues soient présentes en quantité suffisante pour assurer une exploitation pérenne et durable de la ressource. Ensuite, la distance entre un banc de moules bleues et certaines installations (i.e. quai, émissaire d'eaux usées, usine de traitement d'eaux usées) doit être respectée en fonction des critères déterminés par le PCCSM. Par exemple, une zone de cueillette de moules bleues doit se trouver à l'extérieur d'un rayon de 125m d'un quai ou de 300m d'un point de rejet d'eaux usées.

Lorsque ces critères sont respectés, les coliformes fécaux sont les premiers contaminants à être mesurés dans l'eau puisqu'ils reflètent la qualité de l'eau du milieu. Bien que les coliformes fécaux soient généralement peu pathogènes, ils sont souvent accompagnés de virus, d'autres bactéries ou de parasites qui ont un pouvoir pathogène plus élevé. Par ailleurs, les micro-organismes sont plus fréquemment retrouvés dans les bivalves que les biotoxines. Donc, lorsque les coliformes fécaux dépassent les normes, les risques que les autres micro-organismes soient présents sont plus élevés et ces derniers peuvent parfois causer des intoxications graves comme les bactéries *Vibrio* qui peuvent mener à la septicémie. En outre, la répartition des *Vibrio* dans l'estuaire du Saint-Laurent n'est actuellement pas connue. Il serait alors intéressant de la caractériser pour mieux pouvoir statuer le risque engendré par la consommation de bivalves cueillis le long de l'estuaire du Saint-Laurent. Puisque les changements climatiques pourraient

faire migrer les *Vibrio* vers le nord, les bactéries *Vibrio* pourraient éventuellement être incluses dans les programmes de surveillance des bivalves pour mieux protéger la santé des consommateurs. En résumé, selon les étapes du PCCSM, une fois que les 15 tournées d'échantillonnage de la qualité d'eau pour la classification d'une zone ont été réalisées et qu'un suivi des biotoxines est entamé, la zone de cueillette peut passer en statut « ouvert ». Par la suite, ECCC effectuera annuellement 5 tournées d'échantillonnage du suivi de la qualité de l'eau dans la zone de cueillette, alors que l'ACIA effectuera un suivi hebdomadaire des biotoxines dans la chair des moules bleues. De plus, puisque la mesure des coliformes fécaux ne permettrait pas de détecter efficacement certains micro-organismes, dont les *Vibrio*, il est recommandé de cuire adéquatement les moules bleues selon les recommandations formulées ci-haut pour réduire les risques de contamination microbiologique.

Bien que les intoxications par les mollusques bivalves contaminés par les biotoxines sont moins fréquentes que celles par les micro-organismes, les conséquences sur la santé humaine peuvent être beaucoup plus sévères en fonction de la quantité de moules bleues ingérée. De plus, contrairement aux contaminants microbiologiques, la cuisson et la congélation ne détruisent pas les biotoxines, car elles sont thermostables. Il importe alors de cueillir des bivalves uniquement dans les secteurs ouverts à la cueillette, car une surveillance hebdomadaire des biotoxines y est effectuée. Il n'existe toutefois pas de données statistiques récentes sur les issues de santé en lien avec la consommation de moules bleues et d'autres fruits de mer au Québec. Enfin, les changements climatiques pourraient modifier la fréquence et l'intensité des floraisons en plus d'augmenter les risques d'importer de nouveaux types de biotoxines, ce qui demandera une surveillance accrue.

De nombreux autres polluants ont le potentiel de s'accumuler dans les moules bleues, dont certains métaux, les POP, les contaminants émergents, les microplastiques et les PPSP. Toutefois, puisque leur concentration dans les moules bleues du Saint-Laurent n'est pas connue, il est difficile d'évaluer les risques qu'ils représentent pour la santé des consommateurs. Il semblerait toutefois que les contaminants chimiques ne soient que faiblement concentrés dans les moules bleues et que les bénéfices qu'ils apportent sur la santé surpassent les risques. Il serait tout de même pertinent de mesurer certains de ces contaminants dans les moules bleues lorsque l'ouverture d'une zone de pêche récréative est envisagée. De plus, puisque la concentration des contaminants chimiques peut être influencée par les activités anthropiques environnantes, comme l'agriculture ou les industries, il serait pertinent d'adapter la liste des contaminants mesurés en fonction des contaminants potentiellement rejetés par les installations de chaque région. Par exemple, les métaux et certains pesticides pourraient être mesurés dans les moules bleues des municipalités se situant en région agricole. Il faut toutefois prendre en compte que certains polluants peuvent être transportés sur de longues distances par les courants atmosphériques et océaniques.

Enfin, en plus de s'assurer de la sécurité des consommateurs, il importe également d'assurer la durabilité et l'exploitation pérenne de la pêche récréative. Bien que ce sujet n'ait pas été abordé dans la présente revue de la littérature, l'évaluation de l'abondance de la ressource doit être réalisée dans un premier temps avant d'entamer des discussions au niveau du PCCSM. Ceci permettrait d'éviter de mesurer de nombreux contaminants si les moules bleues ne sont pas en quantité suffisante pour assurer la régénération des stocks. De plus, une fois une zone ouverte à la récolte, de bonnes pratiques de pêche récréative devraient être enseignées aux cueilleurs pour assurer une exploitation durable. En effet, les moules bleues se fixent les unes aux autres par leurs byssus et il est préférable de cueillir les moules qui sont au pourtour d'un banc plutôt qu'au milieu, car sinon cela pourrait affecter la stabilité du banc et même le faire disparaître.

RÉFÉRENCES

- Agence Canadienne d'inspection des aliments (ACIA). (2018). Programme canadien de contrôle de la salubrité des mollusques – Manuel des opérations. Récupéré de <http://www.inspection.gc.ca/aliments/directives-archivees-sur-les-aliments/poisson-et-produits-de-la-mer/manuels/programme-canadien-de-contrôle-de-la-salubrité-des-fra/1351609988326/1351610579883>
- Ali, H., & Khan, E. (2019). Trophic transfer, bioaccumulation, and biomagnification of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in food chains/webs-Concepts and implications for wildlife and human health. *Human and Ecological Risk Assessment*, 25(6), 1353-1376. doi:10.1080/10807039.2018.1469398
- Amagliani, G., Brandi, G., & Schiavano, G. F. (2012). Incidence and role of Salmonella in seafood safety. *Food Research International*, 45(2), 780-788. doi:10.1016/j.foodres.2011.06.022
- Anderson, D. M., Alpermann, T. J., Cembella, A. D., Collos, Y., Masseret, E., & Montresor, M. (2012). The globally distributed genus *Alexandrium*: Multifaceted roles in marine ecosystems and impacts on human health. *Harmful Algae*, 14, 10-35. doi:10.1016/j.hal.2011.10.012
- Archibald, F. (2000). The presence of coliform bacteria in Canadian pulp and paper mill water systems - A cause for concern? *Water Quality Research Journal of Canada*, 35(1), 1-22. Récupéré de <Go to ISI>://WOS:000085123900001
- Ashrafudouliya, M., Miza, M. F. R., Park, H., Byun, K. H., Lee, N., Park, S. H., & Ha, S. D. (2019). Genetic Relationship, Virulence Factors, Drug Resistance Profile and Biofilm Formation Ability of *Vibrio parahaemolyticus* Isolated From Mussel. *Frontiers in Microbiology*, 10, 14. doi:10.3389/fmicb.2019.00513
- ATSDR. (1999). Toxicological profile for mercury. Récupéré de <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=115&tid=24#bookmark06>
- ATSDR. (2007). Toxicological Profile for Arsenic. United States government. Récupéré de <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp2.pdf>
- ATSDR. (2019a). Toxic Substances Portal – Polychlorinated Bisphenyls (PCB). Récupéré de <https://www.cdc.gov/TSP/ToxProfiles/ToxProfiles.aspx?id=142&tid=26>
- ATSDR. (2019b). Toxic Substances Portal – DDT, DDe, DDD. Récupéré de <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp.asp?id=81&tid=20https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp.asp?id=142&tid=26>
- Auby, I., Trut, G., Gouriou, L., & Oger-Jeanneret, H. (2013). Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) dans les huîtres du Bassin d'Arcachon. Comparaison avec les teneurs mesurées dans les autres masses d'eau du bassin Adour Garonne. Réflexions établies sur la base de l'exploitation des données RNO, ROCCH, DCE
- Baker-Austin, C., Trinanes, J. A., Taylor, N. G. H., Hartnell, R., Siitonen, A., & Martinez-Urtaza, J. (2013). Emerging *Vibrio* risk at high latitudes in response to ocean warming. *Nature Climate Change*, 3(1), 73-77. doi:10.1038/nclimate1628
- Banerjee, S. K., Rutley, R., & Bussey, J. (2018). Diversity and Dynamics of the Canadian Coastal *Vibrio* Community: an Emerging Trend Detected in the Temperate Regions. *Journal of Bacteriology*, 200(15), 4. doi:10.1128/jb.00787-17

- Bates, S. S., Hubbard, K. A., Lundholm, N., Montresor, M., & Leaw, C. P. (2018). *Pseudo-nitzschia*, *Nitzschia*, and domoic acid: New research since 2011. *Harmful Algae*, 79, 3-43. doi:10.1016/j.hal.2018.06.001
- Bates, S. S., Léger, C., White, J. M., MacNair, N., Ehrman, J. M., Levasseur, M., & Sauv e, G. (2002). Domoic acid production by the diatom *Pseudo-nitzschia seriata* causes spring closures of shellfish harvesting for the first time in the Gulf of St. Lawrence, eastern Canada. Paper presented at the Xth Int Conference on Harmful Algae, St. Pete Beach, FL
- BCCDC. (2020). Diarrhetic shellfish poisoning. British Columbia Provincial Health Services Authority. Récupéré de <http://www.bccdc.ca/health-info/diseases-conditions/diarrhetic-shellfish-poisoning>
- Beuchat, L. R. (1975). Environmental factors affecting survival and growth of *Vibrio parahaemolyticus*. A review. *Journal of Milk and Food Technology*, 38(8), 476-480.
- Beyer, J., Green, N. W., Brooks, S., Allan, I. J., Ruus, A., Gomes, T., Br te, I. J., Sch oyen, M. (2017). Blue mussels (*Mytilus edulis* spp.) as sentinel organisms in coastal pollution monitoring: A review. *Marine Environmental Research*, 130(C), 338-365. doi:10.1016/j.marenvres.2017.07.024
- Birnstiel, S., Soares-Gomes, A., & da Gama, B. A. P. (2019). Depuration reduces microplastic content in wild and farmed mussels. *Marine Pollution Bulletin*, 140, 241-247. doi:10.1016/j.marpolbul.2019.01.044
- Blaise, C., Gagne, F., Salazar, M., Salazar, S., Trottier, S., & Hansen, P. D. (2003). Experimentally-induced feminisation of freshwater mussels after long-term exposure to a municipal effluent. *Fresenius Environmental Bulletin*, 12(8), 865-870.
- Blanco, J. (2018). Accumulation of *Dinophysis* Toxins in Bivalve Molluscs. *Toxins*, 10(11), 27. doi:10.3390/toxins10110453
- Blanco, J., Reyero, I., & Franco, J. (2003). Kinetics of accumulation and transformation of paralytic shellfish toxins in the blue mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Toxicon*, 42(7), 777-784. doi:10.1016/j.toxicon.2003.10.007
- Blasco, D., Levasseur, M., Gélinas, R., Larocque, R., Cembella, A. D., Huppertz, B., & Bonneau, E. (1998). Monitorage du phytoplancton toxique et des toxines de type IPM dans les mollusques du Saint-Laurent: 1989   1994. Rapport statistique canadien sur l'hydrographie et les sciences océaniques 151 : x + 151p.
- Bontje, D., Hermens, J., Vermeire, T., & Damstra, T. (2004). Integrated Risk Assessment: Nonylphenol Case Study. Report Prepared For The Who/Unep/Ilo International Programme On Chemical Safety. WHO/IPCS/IRA/12/04
- Brett, M. M. (2003). Food poisoning associated with biotoxins in fish and shellfish. *Current Opinion in Infectious Diseases*, 16(5), 461-465. doi:10.1097/00001432-200310000-00013
- British Columbia Centre for Disease Control (BCCDC). (2019). Récupéré de <http://www.bccdc.ca/health-info/diseases-conditions/diarrhetic-shellfish-poisoning>
- Burkhardt, W., & Calci, K. R. (2000). Selective accumulation may account for shellfish-associated viral illness. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(4), 1375-1378. doi:10.1128/aem.66.4.1375-1378.2000
- Butt, A. A., Aldridge, K. E., & Sanders, C. V. (2004a). Infections related to the ingestion of seafood Part I: viral and bacterial infections. *Lancet Infectious Diseases*, 4(4), 201-212. doi:10.1016/s1473-3099(04)00969-7

- Butt, A. A., Aldridge, K. E., & Sanders, C. V. (2004b). Infections related to the ingestion of seafood. Part II: parasitic infections and food safety. *Lancet Infectious Diseases*, 4(5), 294-300. doi:10.1016/s1473-3099(04)01005-9
- Byrne, B., Dunne, G., & Bolton, D. J. (2006). Thermal inactivation of *Bacillus cereus* and *Clostridium perfringens* vegetative cells and spores in pork luncheon roll. *Food microbiology*, 23(8), 803-808.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. (2002). Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: Nonylphenols and its ethoxylates. Récupéré de <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/198> le 8 octobre 2019.
- Castañeda, R. A., Avlijas, S., Simard, M. A., & Ricciardi, A. (2014). Microplastic pollution in St. Lawrence River sediments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71(12), 1767-1771. doi:10.1139/cjfas-2014-0281
- CCNSE. (2013). Intoxication paralysante par les mollusques. *Centre de collaboration nationale en santé environnementale*. Récupéré de <http://www.ccnse.ca/documents/practice-scenario/intoxication-paralysante-par-les-mollusques>
- CEAEQ. (2016). Recherche et dénombrement des coliformes fécaux: méthode par filtration sur membrane. Ministère du Développement durable, de l'Environnement, et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec Récupéré de <http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/pdf/MA700Col10.pdf>
- Cembella, A. (1989). Occurrence of okadaic acid, a major diarrheic shellfish toxin, in natural populations of *Dinophysis* spp. from the eastern coast of North America. *Journal of Applied Phycology*, 1(4), 307-310. doi:10.1007/BF00003466
- Centre de collaboration nationale en santé environnementale (CCNSE). (2014). Récupéré de <http://www.ccnse.ca/documents/practice-scenario/intoxication-paralysante-par-les-mollusques>
- Centre de collaboration nationale en santé environnementale (CCNSE). (2019). Récupéré de <http://www.ccnse.ca/documents/evidence-review/effets-possibles-des-compos%C3%A9s-perfluor%C3%A9s-sur-la-sant%C3%A9-humaine-ubc-bridge>
- Charlier, C., & Plomteux, G. (2002). Effets perturbateurs endocriniens des pesticides organochlores : endocrine disruption and organochlorines residues. *Acta Clinica Belgica*, 57(sup1), 2-7.
- Choinière, J., & Beaumier, M. (1997). Bruits de fond géochimiques pour différents environnements géologiques au Québec. Ministère des ressources naturelles - Services des minéraux industriels et de l'assistance à l'exploration. Récupéré de <http://gq.mines.gouv.qc.ca/documents/examine/GM58798/GM58798.pdf>
- Cohen, P., Holmes, C. F. B., & Tsukitani, Y. (1990). Okadaic acid - new probe for the study of cellular-regulation. *Trends in Biochemical Sciences*, 15(3), 98-102. doi:10.1016/0968-0004(90)90192-e
- Comber, S., Gardner, M., Sorme, P., Leverett, D., & Ellor, B. (2018). Active pharmaceutical ingredients entering the aquatic environment from wastewater treatment works: A cause for concern? *Science of the Total Environment*, 613, 538-547. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.09.101
- Cossa, D., & Tabard, A.-M. (2020). Mercury in Marine Mussels from the St. Lawrence Estuary and Gulf (Canada): A Mussel Watch Survey Revisited after 40 Years. *Applied Sciences*, 10(21), 7556. doi:10.3390/app10217556

- Couillard, D. (1982). Evaluation des teneurs en composés organochlorés dans le fleuve, l'estuaire et le golfe Saint-Laurent, Canada. *Environmental Pollution Series B, Chemical and Physical*, 3(4), 239-270.
- Couture, J. Y., Levasseur, M., Bonneau, E., Desjardins, C., Sauvé, G., Bates, S. S., Léger, C., Gagnon, R., & Michaud, S. (2001). Variations spatiales et temporelles des concentrations d'acide domoïque dans les mollusques et des abondances de *Pseudo-nitzschia* spp. dans le Saint-Laurent de 1998 à 2000. Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 2375: vii + 25p.
- Daguer, H., Hoff, R. B., Molognoni, L., Kleemann, C. R., & Felizardo, L. V. (2018). Outbreaks, toxicology, and analytical methods of marine toxins in seafood. *Current Opinion in Food Science*, 24, 43-55. doi:10.1016/j.cofs.2018.10.006
- De Witte, B., Devriese, L., Bekaert, K., Hoffman, S., Vandermeersch, G., Cooreman, K., & Robbens, J. (2014). Quality assessment of the blue mussel (*Mytilus edulis*): Comparison between commercial and wild types. *Marine Pollution Bulletin*, 85(1), 146-155. doi:10.1016/j.marpolbul.2014.06.006
- Deacon, G., Kettle, C., Hayes, D., Dennis, C., & Tucci, J. (2017). Omega 3 polyunsaturated fatty acids and the treatment of depression. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(1), 212-223. doi:10.1080/10408398.2013.876959
- Duizer, E., Bijkerk, P., Rockx, B., De Groot, A., Twisk, F., & Koopmans, M. (2004). Inactivation of caliciviruses. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(8), 4538-4543
- Dodder, N. G., Maruya, K. A., Ferguson, P. L., Grace, R., Kiosterhaus, S., La Guardia, M. J., Lauenstein, G. G., & Ramirez, J. (2014). Occurrence of contaminants of emerging concern in mussels (*Mytilus* spp.) along the California coast and the influence of land use, storm water discharge, and treated wastewater effluent. *Marine Pollution Bulletin*, 81(2), 340-346. doi:10.1016/j.marpolbul.2013.06.041
- Duchesne, J.-F., Rhainds, M., & Dewailly, É. (2002). Programme de surveillance des maladies causées par les mollusques: résultats, phase I (1999) et phase II (2000). CHUL - Centre de recherche du CHUQ, Unité de recherche en santé publique. Récupéré de <http://www.santecom.qc.ca/Bibliothequevirtuelle/santecom/35567000001864.pdf>
- Etheridge, S. M. (2010). Paralytic shellfish poisoning: Seafood safety and human health perspectives. *Toxicon*, 56(2), 108-122. doi:10.1016/j.toxicon.2009.12.013
- Famme, P., Riisgard, H. U., & Jorgensen, C. B. (1986). On direct measurement of pumping rates in the mussel *Mytilus edulis*. *Marine Biology*, 92(3), 323-327. doi:10.1007/bf00392672
- FAO. (2010). The state of world fisheries and aquaculture. Fisheries and Aquaculture Department. Récupéré de <http://www.fao.org/3/a-i1820e.pdf>
- FAO. (2020). Cultured Aquatic Species Information Programme *Mytilus edulis* (Linnaeus, 1758). Fisheries and Aquaculture Department. Récupéré de http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Mytilus_edulis/en
- Farrell, H., O'Connor, W., Seebacher, F., Harwood, D. T., & Murray, S. (2016). Molecular Detection of the Sxta Gene from Saxitoxin-Producing *Alexandrium minutum* in Commercial Oysters. 35(1), 169-177. doi:10.2983/035.035.0118
- Fauchot, J., Saucier, F. J., Levasseur, M., Roy, S., & Zakardjian, B. (2008). Wind-driven river plume dynamics and toxic *Alexandrium tamarense* blooms in the St. Lawrence estuary (Canada): A modeling study. *Harmful Algae*, 7(2), 214-227. doi:10.1016/j.hal.2007.08.002

- Fujiki, H., Suganuma, M., Suguri, H., Yoshizawa, S., Takagi, K., Uda, N., Wakamatsu, K., Yamada, K., Murata, M., Yasumoto, T., & Sugimura, T. (1988). Diarrhetic shellfish toxin, dinophysistoxin-1, is a potent tumor promoter on mouse skin. *Japanese Journal of Cancer Research*, 79(10), 1089-1093. doi:10.1111/j.1349-7006.1988.tb01531.x
- Funk, J. A., Janech, M. G., Dillon, J. C., Bissler, J. J., Siroky, B. J., & Bell, P. D. (2014). Characterization of Renal Toxicity in Mice Administered the Marine Biotoxin Domoic Acid. *Journal of the American Society of Nephrology*, 25(6), 1187-1197. doi:10.1681/asn.2013080836
- Gagnon, F., Tremblay, T., Rouette, J., & Cartier, J. F. (2004). Chemical risks associated with consumption of shellfish harvested on the north shore of the St. Lawrence River's lower estuary. *Environmental Health Perspectives*, 112(8), 883-888. doi:10.1289/ehp.6847
- Gago-Ferrero, P., Alonso, M. B., Bertozzi, C. P., Marigo, J., Barbosa, L., Cremer, M., Secchi, E. R., Domit, C., Azevedo, A., Lailson-Brito, J. Jr., Torres, J. P., Malm, O., Eljarrat, E., Díaz-Cruz, M. S., & Barceló, D. (2013). First determination of UV filters in marine mammals. Octocrylene levels in Franciscana dolphins. *Environmental science & technology*, 47(11), 5619-5625
- Gaymer, C. F., & Himmelman, J. H. (2002). Mussel beds in deeper water provide an unusual situation for competitive interactions between the seastars *Leptasterias polaris* and *Asterias vulgaris*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 277(1), 13-24. doi:10.1016/S0022-0981(02)00234-4
- Glibert, P., Seitzinger, S., Heil, C., Burkholder, J., Parrow, M., Codispoti, L., & Kelly, V. (2005). The Role of Eutrophication in the Global Proliferation of Harmful Algal Blooms. *Oceanography*, 18(2), 198-209. doi:10.5670/oceanog.2005.54
- Glibert, P. M., Maranger, R., Sobota, D. J., & Bouwman, L. (2014). The Haber Bosch-harmful algal bloom (HB-HAB) link. *Environmental Research Letters*, 9(10), 13. doi:10.1088/1748-9326/9/10/105001
- Gobeil, C., Rondeau, B., & Beaudin, L. (2005). Contribution of municipal effluents to metal fluxes in the St. Lawrence river. *Environmental Science & Technology*, 39(2), 456-464. doi:10.1021/es049335x
- Gouvernement du Canada. (2003). Profil de la moule bleue (*Mytilus edulis*). Région du Golfe. Pêches et Océans Canada. Direction des politiques et des services économiques. Récupéré de <http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/270029-f.pdf>
- Gouvernement du Canada. (2006). Dioxines et furanes. Récupéré de <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/vie-saine/votre-sante-vous/environnement/dioxines-furanes.html>
- Gouvernement du Canada. (2009). Les composés perfluorés dans les aliments. Récupéré de <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/aliments-nutrition/salubrite-aliments/contaminants-chimiques/contaminants-environnementaux/composes-perfluores-aliments.html>
- Gouvernement du Canada. (2011). Fiche technique Santé-Sécurité. Agents pathogènes – *Toxoplasma gondii*. Récupéré de <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/biosecurite-biosurete-laboratoire/fiches-techniques-sante-securite-agents-pathogenes-evaluation-risques/toxoplasma-gondii-fiche-technique-sante-securite-agents-pathogenes.html>
- Gouvernement du Canada. (2012a). Fiche technique Santé-Sécurité : Agents Pathogènes – *Aeromonas hydrophila*. Récupéré de <https://www.canada.ca/fr/sante->

- [publique/services/biosecurite-biosurete-laboratoire/fiches-techniques-sante-securite-agents-pathogenes-evaluation-risques/aeromonas-hydrophila.html](https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/biosecurite-biosurete-laboratoire/fiches-techniques-sante-securite-agents-pathogenes-evaluation-risques/aeromonas-hydrophila.html)
- Gouvernement du Canada. (2012b). Fiche Technique Santé-Sécurité : Agents Pathogènes – *Plesiomonas shigelloides*. Récupéré de <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/biosecurite-biosurete-laboratoire/fiches-techniques-sante-securite-agents-pathogenes-evaluation-risques/plesiomonas-shigelloides.html>
- Gouvernement du Canada. (2013a). BPC. Votre santé et vous. Récupéré de <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/vie-saine/votre-sante-vous/environnement/bpc.html>
- Gouvernement du Canada. (2013b). Liste des substances toxiques : HAP. Récupéré de <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/gestion-substances-toxiques/liste-loi-canadienne-protection-environnement/hydrocarbures-aromatiques-polycycliques.html>
- Gouvernement du Canada. (2013c). Liste des substances toxiques : nonylphénol et ses éthoxylates. Récupéré de <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/gestion-substances-toxiques/liste-loi-canadienne-protection-environnement/nonylphenol-ethoxylates.html>
- Gouvernement du Canada. (2015). Limites maximales de résidus pour pesticides. Récupéré de <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securite-produits-consommation/pesticides-lutte-antiparasitaire/public/protger-votre-sante-environnement/pesticides-aliments/limites-maximales-residus-pesticides.html>
- Gouvernement du Canada. (2016). Liste des substances toxiques : PBDE. Récupéré de <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/gestion-substances-toxiques/liste-loi-canadienne-protection-environnement/polybrominated-diphenyl-ethers.html>
- Gouvernement du Canada. (2017a). Intoxication alimentaire. Services et renseignements. Rappels d'aliments, risques et éclosions de maladie d'origine alimentaire. Récupéré de <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/intoxication-alimentaire.html>
- Gouvernement du Canada. (2017b). Agence canadienne d'inspection des aliments. Toxines marines dans les mollusques bivalves : Intoxication par phycotoxine paralysante, intoxication par phycotoxine amnésique et intoxication par phycotoxine diarrhéique. Récupéré de <http://www.inspection.gc.ca/aliments/information-pour-les-consommateurs/fiches-de-renseignements-et-infographies/produits-et-risques/poisson-et-produits-de-mer/toxines-dans-les-mollusques/fra/1332275144981/1332275222849>
- Gouvernement du Canada. (2017c). Règlement sur les microbilles dans les produits de toilette. Récupéré de <http://www.gazette.gc.ca/rp-pr/p2/2017/2017-06-14/html/sor-dors111-fra.html#wb-cont>
- Gouvernement du Canada. (2017d). Contaminants environnementaux. Arsenic. Récupéré de <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/aliments-nutrition/salubrite-aliments/contaminants-chimiques/contaminants-environnementaux/arsenic.html>
- Gouvernement du Canada. (2018a). Santé. Maladies et affections. Infections à *E. coli* (*Escherichia coli*). Récupéré de <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/maladies/e-coli.html>
- Gouvernement du Canada. (2018b). Rapport 2018 de surveillance de la conformité : Analyses d'écrans solaires. Récupéré de <https://www.canada.ca/fr/sante->

- [canada/services/publications/medicaments-et-produits-sante/rapport-2018-analyses-ecrans-solaires.html](http://www.canada.ca/services/publications/medicaments-et-produits-sante/rapport-2018-analyses-ecrans-solaires.html)
- Gouvernement du Canada. (2018c). Règlement sur les produits de consommation contenant du plomb : DORS/2018-83. Récupéré de <http://www.gazette.gc.ca/rp-pr/p2/2018/2018-05-02/html/sor-dors83-fra.html>
- Gouvernement du Canada. (2018d). Nouvelle réglementation du gouvernement du Canada protégeant les enfants d'une exposition au plomb et au cadmium. Récupéré de <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/nouvelles/2018/05/nouvelle-reglementation-du-gouvernement-du-canada-protectant-les-enfants-dune-exposition-au-plomb-et-au-cadmium.html>.
- Gouvernement du Canada. (2018e). Agence canadienne d'inspection des aliments. 2011-2013 Présence de cadmium dans certains aliments. Récupéré de <https://www.inspection.gc.ca/presence-de-cadmium-dans-certains-aliments/fra/1457469592305/1457469723118>
- Gouvernement du Canada. (2019a). Biotoxines marines dans les mollusques bivalves : intoxication par phycotoxine paralysante, intoxication par phycotoxine amnestique et intoxication par phycotoxine diarrhétic. Agence canadienne d'inspection des aliments. Récupéré de <https://www.inspection.gc.ca/salubrite-alimentaire-pour-l-industrie/information-pour-les-consommateurs/fiches-de-renseignements-et-infographies/produits-et-risques/poisson-et-produits-de-mer/biotoxines-dans-les-mollusques/fra/1332275144981/1332275222849>. (Accession No. 1)
- Gouvernement du Canada. (2019b). Manuel du Programme canadien de contrôle de la salubrité des mollusques. Pêches et Océans Canada. Récupéré de <https://www.inspection.gc.ca/salubrite-alimentaire-pour-l-industrie/exigences-et-documents-d-orientation-relatives-a-c/poisson/programme-canadien-de-controle-de-la-salubrite-des/fra/1527251566006/1527251566942?chap=0>. (Accession No. 2)
- Gouvernement du Canada. (2019c). La détermination, l'analyse et le contrôle des dangers qui présentent un risque de contamination des mollusques vivants. Agence canadienne d'inspection des aliments. Récupéré de <https://www.inspection.gc.ca/controles-preventifs/poisson/mollusques-vivants/fra/1515437226516/1515437308440>. (Accession No. 3)
- Gouvernement du Canada. (2019d). La Gazette du Canada, Partie I, volume 153, numéro 23 : Règlement sur l'eau de ballast. Ministère des Transports. Récupéré de <http://www.gazette.gc.ca/rp-pr/p1/2019/2019-06-08/html/reg4-fra.html>. (Accession No. 4)
- Gouvernement du Canada. (2019e). Renseignements sur la récolte de mollusques. Pêches et Océans Canada. Récupéré de <https://www.pac.dfo-mpo.gc.ca/fm-gp/rec/shellfish-coquillages-fra.html>. (Accession No. 6)
- Gouvernement du Québec. (2019f). Environnement et Lutte contre les changements climatiques. Biphényles polychlorés (BPC). Récupéré de <http://www.environnement.gouv.qc.ca/matieres/bpc/index.htm>
- Gouvernement du Canada. (2019g). Polluants organiques persistants : Convention de Stockholm. Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (POP). Récupéré de <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/organisation/affaires-internationales/partenariats-organisations/polluants-organiques-persistants-convention-stockholm.html>

- Gouvernement du Canada. (2019h). Règlement sur les produits contenant du mercure : DORS/2014-254. Récupéré de <https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2014-254/page-1.html#h-795222>
- Gouvernement du Québec. (2020). Programme québécois d'immunisation. *Ministère de la Santé et des Services sociaux*. Récupéré de <https://www.quebec.ca/sante/conseils-et-prevention/vaccination/programme-quebecois-d-immunisation/#c24017>
- Grant, K. S., Burbacher, T. M., Faustman, E. M., & Grattan, L. (2010). Domoic acid: Neurobehavioral consequences of exposure to a prevalent marine biotoxin. *Neurotoxicology and Teratology*, 32(2), 132-141. doi:10.1016/j.ntt.2009.09.005
- Grattan, L. M., Holobaugh, S., & Morris, J. G. (2016a). Harmful algal blooms and public health. *Harmful Algae*, 57, 2-8. doi:10.1016/j.hal.2016.05.003
- Grattan, L. M., Boushey, C., Tracy, K., Trainer, V. L., Roberts, S. M., Schluterman, N., & Morris, J. G. (2016b). The association between razor clam consumption and memory in the CoASTAL cohort. *Harmful Algae*, 57, 20-25. doi:10.1016/j.hal.2016.03.011
- Grienke, U., Silke, J., & Tasdemir, D. (2014). Bioactive compounds from marine mussels and their effects on human health. *Food Chemistry*, 142, 48-60. doi:10.1016/j.foodchem.2013.07.027
- Hampton, M. M. (2015). Congenital toxoplasmosis: a review. *Neonatal Network*, 34(5), 274-278.
- Harp, J. A., Fayer, R., Pesch, B. A., & Jackson, G. J. (1996). Effect of pasteurization on infectivity of *Cryptosporidium parvum* oocysts in water and milk. *Applied and Environmental Microbiology*. 62(8), 2866-2868.
- Hohweyer, J., Dumetre, A., Aubert, D., Azas, N., & Villena, I. (2013). Tools and Methods for Detecting and Characterizing *Giardia*, *Cryptosporidium*, and *Toxoplasma* Parasites in Marine Mollusks. *Journal of Food Protection*, 76(9), 1649-1657. doi:10.4315/0362-028x.jfp-13-002
- Institut national de santé publique [INSPQ]. (2003). Atrazine et ses métabolites. Récupéré de <https://www.inspq.qc.ca/eau-potable/atrazine>
- Institut national de santé publique [INSPQ]. (2018). Glyphosate : le scandale Monsanto Papers préoccupe le Canada. Récupéré de <https://www.inspq.qc.ca/bise/glyphosate-le-scandale-monsanto-papers-preoccupe-le-canada> le 11 octobre 2019.
- Institut national de santé publique [INSPQ]. (2019). Santé environnementale et toxicologie. Coliformes fécaux. Gouvernement du Québec. Récupéré de <https://www.inspq.qc.ca/eau-potable/coliformes-fecaux>
- Isbister, G. K., & Kiernan, M. C. (2005). Neurotoxic marine poisoning. *Lancet Neurology*, 4(4), 219-228. doi:10.1016/s1474-4422(05)70041-7
- Iwamoto, M., Ayers, T., Mahon, B. E., & Swerdlow, D. L. (2010). Epidemiology of Seafood-Associated Infections in the United States. *Clinical Microbiology Reviews*, 23(2), 399-411. doi:10.1128/cmr.00059-09
- James, K. J., Carey, B., O'Halloran, J., van Pelt, F., & Skrabakova, Z. (2010). Shellfish toxicity: human health implications of marine algal toxins. *Epidemiology and Infection*, 138(7), 927-940. doi:10.1017/s0950268810000853
- Johnson, A. C., & Chen, Y. H. (2017). Does exposure to domestic wastewater effluent (including steroid estrogens) harm fish populations in the UK? *Science of the Total Environment*, 589, 89-96. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.02.142

- Jones, S. J., Lima, F. P., & Wethey, D. S. (2010). Rising environmental temperatures and biogeography: poleward range contraction of the blue mussel, *Mytilus edulis* L., in the western Atlantic. *Journal of Biogeography*, 37(12), 2243-2259. doi:10.1111/j.1365-2699.2010.02386.x
- Juffs, H. S., & Deeth, H. (2007). Scientific evaluation of pasteurisation for pathogen reduction in milk and milk products (pp. 43-47). Canberra : FSANZ. Récupéré de <https://www.foodstandards.gov.au/code/proposals/documents/Scientific%20Evaluation.pdf>
- Kabir, E. R., Rahman, M. S., & Rahman, I. (2015). A review on endocrine disruptors and their possible impacts on human health. *Environmental toxicology and pharmacology*, 40(1), 241-258.
- Kennedy, J., Blair, I. S., McDowell, D. A., & Bolton, D. J. (2005). An investigation of the thermal inactivation of *Staphylococcus aureus* and the potential for increased thermotolerance as a result of chilled storage. *Journal of applied microbiology*, 99(5), 1229-1235.
- Larsen, J. C., Alexander, J., Autrup, H., Barlow, S., Cerebelli, R., & Schlatter, J. (2002). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons—Occurrence in foods, dietary exposure and health effects. Brussels Belgium.
- Lefebvre, K. A., & Robertson, A. (2010). Domoic acid and human exposure risks: A review. *Toxicology*, 266(2), 218-230. doi:10.1016/j.toxicology.2009.05.034
- Lehner, R., Weder, C., Petri-Fink, A., & Rothen-Rutishauser, B. (2019). Emergence of Nanoplastic in the Environment and Possible Impact on Human Health. *Environmental Science & Technology*, 53(4), 1748-1765. doi:10.1021/acs.est.8b05512
- Levesque, B., Barthe, C., Dixon, B. R., Parrington, L. J., Martin, D., Doidge, B., Proulx, J. F., & Murphy, D. (2010). Microbiological quality of blue mussels (*Mytilus edulis*) in Nunavik, Quebec: a pilot study. *Canadian Journal of Microbiology*, 56(11), 968-977. doi:10.1139/w10-078
- Lindqvist, H. M., Gjertsson, I., Andersson, S., Calder, P. C., & Barebring, L. (2019). Influence of blue mussel (*Mytilus edulis*) intake on fatty acid composition in erythrocytes and plasma phospholipids and serum metabolites in women with rheumatoid arthritis. *Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 150, 7-15. doi:10.1016/j.plefa.2019.08.004
- Mafra, L. L., Ribas, T., Alves, T. P., Proenca, L. A. O., Schramm, M. A., Uchida, H., & Suzuki, T. (2015). Differential okadaic acid accumulation and detoxification by oysters and mussels during natural and simulated *Dinophysis* blooms. *Fisheries Science*, 81(4), 749-762. doi:10.1007/s12562-015-0882-7
- Mallet, A., Mayrand, E., Ouellette, M., & Mallet, V. (2009). Contamination bactérienne chez des bivalves cultivés dans le Havre de Shippagan (Shippagan, Nouveau-Brunswick). *Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques* 2833: vii + 27 p. Récupéré de http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/mpo-dfo/Fs97-6-2833-fra.pdf
- MAPAQ. (2013). Qualité des aliments – Sécurité des aliments. Risques parasitaires – poissons crus ou partiellement cuits. Gouvernement du Québec. Récupéré de <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Transformation/Qualitedesaliments/securitealiments/risquesparasitairespoissons crus/Pages/risquesparasitairespoissons crus.aspx>
- MAPAQ. (2019). Pêchés ici, mangés ici. Poissons et fruits de mer du Québec. Laissez-vous séduire. Gouvernement du Québec. Récupéré de <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/pechesicimangesici/Pages/index.aspx>

- Marcogliese, D. J., Blaise, C., Cyr, D., de Lafontaine, Y., Fournier, M., Gagne, F., Gagnon, F., & Hudon, C. (2015). Effects of a major municipal effluent on the St. Lawrence River: A case study. *Ambio*, 44(4), 257-274. doi:10.1007/s13280-014-0577-9
- Mathalon, A., & Hill, P. (2014). Microplastic fibers in the intertidal ecosystem surrounding Halifax Harbor, Nova Scotia. *Marine pollution bulletin*, 81(1), 69-79.
- Maruya, K. A., Dodder, N. G., Schaffner, R. A., Weisberg, S. B., Gregorio, D., Klosterhaus, S., Alvarez, D. A., Furlong, E. T., Kimbrough, K. L., Lauenstein, G. G., & Christensen, J. D. (2014). Refocusing Mussel Watch on contaminants of emerging concern (CECs): The California pilot study (2009-10). *Marine Pollution Bulletin*, 81(2), 334-339. doi:10.1016/j.marpolbul.2013.04.027
- Mathalon, A., & Hill, P. (2014). Microplastic fibers in the intertidal ecosystem surrounding Halifax Harbor, Nova Scotia. *Marine Pollution Bulletin*, 81(1), 69-79. doi:10.1016/j.marpolbul.2014.02.018
- Mercado, J. M., Ramírez, T., Cortés, D., Sebastián, M., & Vargas-Yáñez, M. (2005). Seasonal and inter-annual variability of the phytoplankton communities in an upwelling area of the Alborán Sea (SW Mediterranean Sea). *Scientia Marina*, 69(4), 451-465
- Merinov. (2019). Projet - Les microplastiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent: État des lieux environnemental et social. Réinventer la mer. Récupéré de <http://www.merinov.ca/fr/nouvelles-de-merinov/item/microplastiques>
- Mezzelani, M., Gorbi, S., & Regoli, F. (2018). Pharmaceuticals in the aquatic environments: Evidence of emerged threat and future challenges for marine organisms. *Marine Environmental Research*, 140, 41-60. doi:10.1016/j.marenvres.2018.05.001
- Michalsky, M., & Hooda, P. S. (2015). Greenhouse gas emissions of imported and locally produced fruit and vegetable commodities: A quantitative assessment. *Environmental Science & Policy*, 48, 32-43. doi:10.1016/j.envsci.2014.12.018
- Ministère de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques. (2020). Bilan des ventes de pesticides au Québec. Année 2018. Gouvernement du Québec. Récupéré de <http://www.environnement.gouv.qc.ca/pesticides/bilan/bilan-ventes-pesticides-2018.pdf>
- Ministère de la Justice. (2020). Règlement de pêche de l'Atlantique de 1985 (DORS/86-21). Gouvernement du Canada. Récupéré de <https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/dors-86-21/page-5.html#h-880306>
- Moreau, V., Tremblay, R., & Bourget, E. (2005). Distribution of *Mytilus edulis* and *M. trossulus* on the Gaspé coast in relation to spatial scale. *Journal of Shellfish Research*, 24(2), 545-551.
- Mousseau, P., & Armellin A. (1996). Synthèse des connaissances sur les communautés biologiques du secteur d'étude Estuaire maritime. Environnement Canada - Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre SaintLaurent. Rapport technique, Zone d'intervention prioritaire 18, 340 pages.
- MSSS. (2008). Cadre de référence en matière de sécurité alimentaire. *Gouvernement du Québec*. Récupéré de <https://publications.msss.gouv.qc.ca/msss/fichiers/2008/08-208-01.pdf>
- Murata, M., Shimatani, M., Sugitani, H., Oshima, Y., & Yasumoto, T. (1982). Isolation and structural elucidation of the causative toxin of the diarrhetic shellfish poisoning. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 48(4), 549-552.
- Mwangi, J. N., Wang, N., Ingersoll, C. G., Hardesty, D. K., Brunson, E. L., Li, H., & Deng, B. (2012). Toxicity of carbon nanotubes to freshwater aquatic invertebrates. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 31(8), 1823-1830.

- NCCOS. (2019). Gulf of Maine Cyst Sampling Cruise Sets Stage for 2020 Red Tide Forecast. United States government. National Ocean Service. Récupéré de <https://coastalscience.noaa.gov/news/gulf-of-maine-cyst-sampling-cruise-sets-stage-for-2020-red-tide-forecast/>
- Nicolas, J., Hoogenboom, R., Hendriksen, P. J. M., Boderó, M., Bovee, T. F. H., Rietjens, I., & Gerssen, A. (2017). Marine biotoxins and associated outbreaks following seafood consumption: Prevention and surveillance in the 21st century. *Global Food Security-Agriculture Policy Economics and Environment*, 15, 11-21. doi:10.1016/j.gfs.2017.03.002
- Nielsen, L. T., Hansen, P. J., Krock, B., & Vismann, B. (2016). Accumulation, transformation and breakdown of DSP toxins from the toxic dinoflagellate *Dinophysis acuta* in blue mussels, *Mytilus edulis*. *Toxicon*, 117, 84-93. doi:10.1016/j.toxicon.2016.03.021
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. (2019). Les microplastiques dans la pêche et l'aquaculture. Récupéré de <http://www.fao.org/3/ca3540fr/CA3540FR.pdf>
- OMS. (2011). Technical brief. Boil water. *Water sanitation health guidelines*. Récupéré de https://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/Boiling_water_01_15.pdf
- OMS. (2019). Les dioxines et leurs effets sur la santé. Récupéré de <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dioxins-and-their-effects-on-human-health>
- Onarinde, B. A., & Dixon, R. A. (2018). Prospects for Biocontrol of *Vibrio parahaemolyticus* Contamination in Blue Mussels (*Mytilus edulis*)-A Year-Long Study. *Frontiers in Microbiology*, 9, 18. doi:10.3389/fmicb.2018.01043
- OSPAR. (2019). État et tendances des teneurs en hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les mollusques et crustacés. Récupéré de <https://oap.ospar.org/fr/evaluations-ospar/evaluation-intermediare-2017/pressions-de-lactivite-humaine/contaminants/hydrocarbures-aromatiques-polycycliques-mollusques-crustaces/>
- Ossmann, B. E., Sarau, G., Holtmannspotter, H., Pischetsrieder, M., Christiansen, S. H., & Dicke, W. (2018). Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water. *Water Research*, 141, 307-316. doi:10.1016/j.watres.2018.05.027
- Parent. (2009). Sabotage hormonal. Comment les produits d'usage courant menacent notre santé. Récupéré de <http://benhur.teluq.quebec.ca/SPIP/pe/IMG/pdf/Sabotage-hormonal-2009.pdf>
- Parry, J. V., & Mortimer, P. P. (1984). The heat sensitivity of hepatitis A virus determined by a simple tissue culture method. *Journal of medical virology*, 14(3), 277-283.
- Pecl, G. T., Araujo, M. B., Bell, J. D., Blanchard, J., Bonebrake, T. C., Chen, I. C., Clark, T. D., Colwell, R. K., Danielsen, F., Evengård, B., Falconi, L., Ferrier, S., Frusher, S., Garcia, R. A., Griffis, R. B., Hobday, A. J., Janion-Scheepers, C., Jarzyna, M. A., Jennings, S., Lenoir, J., Linnetved, H. I., Martin, V. Y., McCormack, P. C., McDonald, J., Mitchell, N. J., Mustonen, T., Pandolfi, J. M., Pettorelli, N., Popova, E., Robinson, S. A., Scheffers, B. R., Shaw, J. D., Sorte, C. J., Strugnelli, J. M., Sunday, J. M., Tuanmu, M. N., Vergés, A., Villanueva, C., Wernberg, T., Wapstra, E., & Williams, S. E. (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, 355(6332), 9. doi:10.1126/science.aai9214
- Petersen, E., Vesco, G., Villari, S., & Buffolano, W. (2010). What do we know about risk factors for infection in humans with *Toxoplasma gondii* and how can we prevent infections?. *Zoonoses and public health*, 57(1), 8-17.



















- Pflug, I. J., Holcomb, R. G., & Gómez, M. M. (2001). Principles of the thermal destruction of microorganisms. *Disinfection, sterilization, and preservation*, 3, 751-810.
- Plan d'action Saint-Laurent 2011-2026. (2015a). Amélioration de la qualité de l'eau. Concentration de médicaments, d'hormones et de quelques autres contaminants d'intérêt émergent dans le Saint-Laurent et dans trois de ses tributaires. Gouvernement du Canada et Gouvernement du Québec. Récupéré de http://planstlaurent.qc.ca/fr/qualite_de_leau/amelioration_de_la_qualite_de_leau_projets_2011_2016/substances_toxiques_2011_2016/documenter_la_presence_de_produits_pharmaceutiques_et_de_soins_personnels_dans_le_saint_laurent_et_certains_de_ses_tributaires/concentrations_de_medicaments_dhormones_et_autres_contaminants.html
- Plan d'action Saint-Laurent 2011-2026. (2015b). La qualité de l'eau du secteur fluvial. Transport des contaminants dans le Saint-Laurent. Gouvernement du Canada et Gouvernement du Québec. Récupéré de <http://planstlaurent.qc.ca/index.php?id=672#tc4%20%20le%2018%20novembre%202019>
- Plan d'action Saint-Laurent 2011-2026. (2016). La contamination des poissons d'eau douce par les toxiques. Récupéré de http://planstlaurent.qc.ca/fr/suivi_de_letat/les_fiches_de_suivi/la_contamination_des_poissons_d'eau_douce_par_les_toxiques_3e_edition.html
- Potasman, I., Paz, A., & Odeh, M. (2002). Infectious outbreaks associated with bivalve shellfish consumption: A worldwide perspective. *Clinical Infectious Diseases*, 35(8), 921-928. doi:10.1086/342330
- Prato, R., Martinelli, D., Tafuri, S., Barbuti, G., Quarto, M., Germinario, C. A., & Chironna, M. (2013). Safety of shellfish and epidemiological pattern of enterically transmitted diseases in Italy. *International Journal of Food Microbiology*, 162(2), 125-128. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2012.12.025
- Ricaud, M., Lafon, D., & Roos, F. (2008). Les nanotubes de carbone : quels risques, quelle prévention. *Hygiène et Sécurité au Travail*, Institut national de recherche et de sécurité, 210, 43-57.
- Robertson, L. J. (2007). The potential for marine bivalve shellfish to act as transmission vehicles for outbreaks of protozoan infections in humans: A review. *International Journal of Food Microbiology*, 120(3), 201-216. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.058
- Rodil, R., Villaverde-de-Sáa, E., Cobas, J., Quintana, J. B., Cela, R., & Carro, N. (2019). Legacy and emerging pollutants in marine bivalves from the Galician coast (NW Spain). *Environment International*, 129, 364-375. doi:10.1016/j.envint.2019.05.018
- Roig, B., & Thomas, O. (2014). An international conference on "Pharmaceutical products in the environment: is there a problem?" in the framework of the EU PHARMAS Project. *Chemosphere*, 115, 1-3. doi:10.1016/j.chemosphere.2014.02.002
- Sauch, J. F., Flanigan, D. E. B. I. E., Galvin, M. L., Berman, D. O. N. A. L. D., & Jakubowski, W. (1991). Propidium iodide as an indicator of *Giardia* cyst viability. *Applied and Environmental Microbiology*, 57(11), 3243-3247.
- Scarratt, M., Michaud, S., Starr, M., Couture, J.-Y., & Blais, M. (2017). Analyse de la présence d'algues toxiques et de phycotoxines dans l'événement de mortalité de la baleine noire de l'Atlantique Nord, 2017. Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 1328 : iii + 9 p.

- Schwab, K. J., Neill, F. H., Estes, M. K., Metcalf, T. G., & Atmar, R. L. (1998). Distribution of norwalk virus within shellfish following bioaccumulation and subsequent depuration by detection using RT-PCR. *Journal of Food Protection*, 61(12), 1674-1680. doi:10.4315/0362-028x-61.12.1674
- Shumway, S. E. (1990). A Review of the Effects of Algal Blooms on Shellfish and Aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society*, 21(2), 65-104. doi:10.1111/j.1749-7345.1990.tb00529.x
- Shumway, S. E., Burkholder, J. M., & Morton, S. L. (2018). *Harmful Algal Blooms: A Compendium Desk Reference*. Wiley-Blackwell, 696 p.
- Silvert, W. L., & Cembella, A. D. (1995). Dynamic modeling of phycotoxin kinetics in the blue mussel, *Mytilus edulis*, with implication for other marine-invertebrates. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 52(3), 521-531. doi:10.1139/f95-053
- Smith, M., Love, D. C., Rochman, C. M., & Neff, R. A. (2018). Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health. *Current Environmental Health Reports*, 5(3), 375-386. doi:10.1007/s40572-018-0206-z
- Sörqvist, S. (2003). Heat resistance in liquids of *Enterococcus* spp., *Listeria* spp., *Escherichia coli*, *Yersinia enterocolitica*, *Salmonella* spp. and *Campylobacter* spp. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 44(1), 1.
- Spinks, A. T., Dunstan, R. H., Harrison, T., Coombes, P., & Kuczera, G. (2006). Thermal inactivation of water-borne pathogenic and indicator bacteria at sub-boiling temperatures. *Water Research*, 40(6), 1326-1332
- Stankovic, S., & Jovic, M. (2012). Health risks of heavy metals in the mediterranean mussels as seafood. *Environmental Chemistry Letters*, 10(2), 119-130. doi:10.1007/s10311-011-0343-1
- Sukhotin, A. A., Strelkov, P. P., Maximovich, N. V., & Hummel, H. (2007). Growth and longevity of *Mytilus edulis* (L.) from northeast Europe. *Marine Biology Research*, 3(3), 155-167. doi:10.1080/17451000701364869
- Suzuki, T., & Quilliam, M. A. (2011). LC-MS/MS Analysis of Diarrhetic Shellfish Poisoning (DSP) Toxins, Okadaic Acid and Dinophysistoxin Analogues, and Other Lipophilic Toxins. *Analytical Sciences*, 27(6), 571-584. doi:10.2116/analsci.27.571
- Tejral, G., Panyala, N. R., & Havel, J. (2009). Carbon nanotubes: toxicological impact on human health and environment. *Journal of Applied Biomedicine (De Gruyter Open)*, 7(1).
- Todd, E. C. D. (1993). Domoic acid and amnesic shellfish poisoning - a review. *Journal of Food Protection*, 56(1), 69-83. doi:10.4315/0362-028x-56.1.69
- Tortora, G. J., & Grabowski, S. R. (2000). *Principles of anatomy and physiology*. Wiley New York, NY.
- Trainer, V. L., Bates, S. S., Lundholm, N., Thessen, A. E., Cochlan, W. P., Adams, N. G., & Trick, C. G. (2012). *Pseudo-nitzschia* physiological ecology, phylogeny, toxicity, monitoring and impacts on ecosystem health. *Harmful Algae*, 14, 271-300. doi:10.1016/j.hal.2011.10.025
- Tremblay, T., Cartier, J.-F., & Gagnon, F. (1999). Analyse du risque chimique et microbiologique lié à la consommation de mollusques cueillis de façon artisanale dans la ZIP de Baie-Comeau. Direction de la santé publique, Régie régionale de la santé et des services sociaux de la Côte-Nord. Récupéré de http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/publications/diverses/mollusques_f.pdf






- USDA. (2015). Dietary guidelines for Americans 2015-2020. 8th Edition, United States government. Récupéré de <https://www.choosemyplate.gov/eathealthy/dietary-guidelines>
- Valdiglesias, V., Laffon, B., Pasaro, E., & Mendez, J. (2011). Okadaic acid induces morphological changes, apoptosis and cell cycle alterations in different human cell types. *Journal of Environmental Monitoring*, 13(6), 1831-1840. doi:10.1039/c0em00771d
- Valentin, A., Tremblay, T., Gagnon, F., & Cartier, J.-F. (2000). Saint-Laurent Vision 2000. Évaluation de la validité des indicateurs de contamination fécale des mollusques bivalves et des eaux coquillières de la Rive Nord de l'Estuaire maritime du Saint-Laurent. Direction de la santé publique, Régie régionale de la santé et des services sociaux de la Côte-Nord.
- Van Cauwenberghe, L., & Janssen, C. R. (2014). Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution*, 193, 65-70. doi:10.1016/j.envpol.2014.06.010
- Vandermeersch, G., Van Cauwenberghe, L., Janssen, C. R., Marques, A., Granby, K., Fait, G., . . . Devriese, L. (2015). A critical view on microplastic quantification in aquatic organisms. *Environmental Research*, 143, 46-55. doi:10.1016/j.envres.2015.07.016
- Venugopal, V., & Gopakumar, K. (2017). Shellfish: Nutritive Value, Health Benefits, and Consumer Safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(6), 1219-1242. doi:10.1111/1541-4337.12312
- Vilariño, N., Louzao, M. C., Abal, P., Cagide, E., Carrera, C., Vieytes, M. R., & Botana, L. M. (2018). Human Poisoning from Marine Toxins: Unknowns for Optimal Consumer Protection. *Toxins*, 10(8), 38. doi:10.3390/toxins10080324
- Weise, A. M., Levasseur, M., Saucier, F. J., Senneville, S., Bonneau, E., Roy, S., Sauvé, G., Michaud, S., & Fauchot, J. (2002). The link between precipitation, river runoff, and blooms of the toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense* in the St. Lawrence. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59(3), 464-473. doi:10.1139/f02-024
- Wells, M. L., Trainer, V. L., Smayda, T. J., Karlson, B. S. O., Trick, C. G., Kudela, R. M., Ishikawa, A., Bernard, S., Wulff, A., Anderson, D. M., & Cochlan, W. P. (2015). Harmful algal blooms and climate change: Learning from the past and present to forecast the future. *Harmful Algae*, 49, 68-93. doi:10.1016/j.hal.2015.07.009
- Wohlgemuth, G., Mann, K., Subba Rao, D., & Pocklington, R. (1992). Dynamics of the phycotoxin domoic acid: accumulation and excretion in two commercially important bivalves. *Journal of Applied Phycology*, 4(4), 297-310. doi:10.1007/BF02185786
- Wright, A. C., Fan, Y., & Baker, G. L. (2018). Nutritional value and food safety of bivalve molluscan shellfish. *Journal of Shellfish Research*, 37(4), 695-708.
- Wright, S. L., & Kelly, F. J. (2017). Plastic and Human Health: A Micro Issue? *Environmental Science & Technology*, 51(12), 6634-6647. doi:10.1021/acs.est.7b00423
- Zippay, M. L., & Helmuth, B. (2012). Effects of temperature change on mussel, *Mytilus*. *Integrative Zoology*, 7(3), 312-327. doi:10.1111/j.1749-4877.2012.00310.x
- Zuykov, M., Pelletier, E., & Harper, D. A. T. (2013). Bivalve mollusks in metal pollution studies: From bioaccumulation to biomonitoring. *Chemosphere*, 93(2), 201-208. doi:10.1016/j.chemosphere.2013.05.001

ANNEXE A. ALGORITHME DÉCISIONNEL





Étapes à suivre pour l'ouverture ou la réouverture d'une zone de pêche récréative de moules bleues dans l'estuaire du Saint-Laurent

Étape suivante		Cueillette impossible
 OUI 	<p style="text-align: center;">1. ABONDANCE DE LA RESSOURCE</p>  <ul style="list-style-type: none"> • S'assurer que les moules bleues d'une taille ≥ 40 mm soient assez denses et productives annuellement afin d'assurer la durabilité de la pêche récréative • Faire la demande d'ouverture d'une zone de cueillette récréative (Section E – Annexe 14 du PCCSM) auprès du président du CIRMQ en poste, actuellement elle doit être envoyée à eric-remi.girard@canada.ca 	 NON 
	<p style="text-align: center;">2. PROXIMITÉ DE CERTAINES INSTALLATIONS</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Selon le PCCSM en raison des risques de contamination chimique et biologique >300m du point de rejet d'un effluent industriel ou d'un système de traitement des eaux usées (continu ou intermittent) • >125m d'un port, marina, quai, parcs en filets pour poissons ou toute installation flottante • >25m d'une installation flottante dans un régime foncier ou un parc aquacole 	
	<p style="text-align: center;">3. PRÉSENCE DE COLIFORMES FÉCAUX DANS L'EAU</p>  <ul style="list-style-type: none"> • ECCC recommande l'ouverture ou la fermeture d'un secteur coquillier en fonction de la concentration des concentrations, des frais sont à prévoir • Médiane du nombre le plus probable (NPP) de coliformes fécaux n'excède pas 14/100ml et maximum 10% des échantillons excèdent un NPP de 43/100ml • Moyenne géométrique du NPP de coliformes fécaux n'excède pas 14/100ml et le 90^e percentile estimé du NPP n'excède pas 43/100ml 	
	<p style="text-align: center;">4. PRÉSENCE DE BIOTOXINES DANS LA CHAIR DES MOULES</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Surveillance assurée par l'ACIA, des frais sont à prévoir • Phycotoxine paralysante (PSP) : < 80 μg éq. Saxitoxines (STX)/100g • Phycotoxine amnésique (ASP) : < 20 μg acide domoïque (AD)/g • Phycotoxine diarrhétique (DSP) : $< 0,2$ $\mu\text{g/g}$ éq. acide okadaïque (AO) et/ou dino-physistoxine (DTX) (seuls ou en combinaison) et $< 0,2$ μg pectenotoxines (PTX)/g • Surveiller l'apparition de nouvelles biotoxines 	
	<p style="text-align: center;">5. PRÉSENCE DE CONTAMINANTS CHIMIQUES</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Si leur présence est suspectée ou probable, s'assurer de les retrouver en si faible quantité qu'il ne pourront présenter de risques importants pour la santé humaine : <ul style="list-style-type: none"> ➢ Métaux ➢ Polluants organiques persistants/contaminants émergents ➢ Microplastiques ➢ Produits pharmaceutiques et de soins personnels 	
	<p style="text-align: center;">6. DÉGUSTER LES MOULES BLEUES DU ST-LAURENT</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Un aliment délicieux, nutritif, local, etc. qui fait partie d'une saine alimentation, permet de profiter des ressources disponibles dans le Saint-Laurent et de réduire son empreinte environnementale • Enseigner les règlements et les bonnes pratiques de cueillette pour la durabilité de l'activité ainsi que la conservation, la vérification et la cuisson adéquate pour une consommation sécuritaire 	

RÈGLEMENTS DE CUEILLETTE RÉCRÉATIVE DE MOULES BLEUES

	<p>1. LA CUEILLETTE DE MOULES BLEUES EST AUTORISÉE UNIQUEMENT DANS LES SECTEURS OUVERTS ¹</p> <p>Avant de cueillir, il faut s’informer si le secteur de cueillette est ouvert ou fermé en consultant la carte de cueillette de mollusques qui est mise à jour en temps réel par Pêches et Océans Canada. Pour plus d’information sur l’état des secteurs de cueillette, veuillez consulter le site internet ou appeler à la ligne d’information automatisée de votre région. Les informations et numéros de téléphone sont disponibles à l’adresse suivante : https://inter-l01-uat.dfo-mpo.gc.ca/infoceans/fr/cueillette-de-mollusques.</p>
	<p>2. SEULES LES MOULES ADULTES DE 40 MM OU PLUS PEUVENT ÊTRE CUEILLIES SUR LE RIVAGE À MARÉE BASSE ¹</p> <p>Il est très important de respecter ce règlement, car les moules ont une croissance lente et lorsqu’elles ont atteint cette taille, cela indique qu’elles ont probablement eu le temps de se reproduire. Pour savoir si les moules sont de la bonne taille, il est recommandé d’utiliser une petite règle ou un gabarit pour mesurer les moules, idéalement avant de les cueillir.</p>
	<p>3. LA CUEILLETTE DE MOULES BLEUES EST PERMISE UNIQUEMENT AU COURS DE LA JOURNÉE</p> <p>Ainsi, on peut cueillir durant la période débutant 30 minutes avant le lever du soleil et se terminant 30 minutes après le coucher du soleil ¹⁵.</p>
	<p>4. LES QUOTAS QUOTIDIENS DE CUEILLETTE DOIVENT ÊTRE RESPECTÉS</p> <p>Par exemple, un individu peut cueillir et garder au maximum 300 moules bleues par jour ¹⁵. Il est toutefois recommandé de ne cueillir que les quantités de moules qui seront consommées dans les 24 prochaines heures tel que discuté dans l’encadré portant sur la conservation des moules.</p>
	<p>5. LA CUEILLETTE RÉCRÉATIVE DES MOULES BLEUES SE FAIT UNIQUEMENT À LA MAIN OU À L’AIDE D’UN OUTIL À MAIN PROPRE UTILISÉ AUTREMENT QU’EN PLONGÉE ¹⁵</p> <p>Par exemple, il est permis d’utiliser un couteau pour couper les byssus. Cela évite de décrocher les moules autour de la moule cueillie. Les outils à main doivent être bien nettoyés afin d’éviter l’introduction de parasites ou d’espèces envahissantes. La cueillette récréative de moules bleues s’effectue à pied, elle n’est pas permise en plongée ou à bord d’une embarcation. Il est interdit d’utiliser des outils mécanisés lors de la cueillette récréative.</p>

GUIDE DES BONNES PRATIQUES POUR UNE CUEILLETTE DURABLE

	<p>Sur le rivage, il est recommandé de se déplacer en contournant les bancs de moules et d’éviter de piétiner les moules, car cela pourrait les abîmer et causer leur mort.</p>
	<p>Il est préférable de cueillir les moules en périphérie d’un banc et non celles qui se situent au centre. En effet, les moules bleues sont attachées entre-elles et au fond rocheux par les byssus, des filaments bruns aussi appelés « barbe ». Leur agglomération les protège des intempéries (vagues, dessiccation, etc.) et des prédateurs en plus de favoriser leur succès de reproduction. Cueillir les moules du milieu du banc peut compromettre la survie des moules qui se trouvent autour et même de tout le banc.</p>
	<p>Les moules cueillies qui n’ont pas la taille réglementaire doivent être redéposées doucement au même endroit pour augmenter leur chance de survie.</p>
	<p>Il est recommandé de ne pas cueillir toutes les moules de 40 mm ou plus dans un même banc pour garder une certaine diversité de génération, ce qui permet une meilleure continuité de la cueillette.</p>

CONSERVATION ET PRÉPARATION DES MOULES BLEUES



CONSERVATION DES MOULES



Les moules bleues doivent être **conservées dans leur coquille et maintenues vivantes jusqu'au moment de les cuire** ¹⁶.

Lors de la cueillette, les moules peuvent être conservées dans une **glacière** ou dans un **réceptacle contenant de l'eau de mer propre et fraîche**, car ceci permet de les garder au frais et de les faire dégorger du sable qu'elles contiennent. Tout au long de la cueillette, l'eau de mer devrait être renouvelée périodiquement pour s'assurer qu'elle demeure fraîche.

Une fois à la maison, elles doivent être placées dans un **contenant ouvert ou sur un plateau et recouvertes d'un linge ou d'un journal humide**, elles ne doivent pas être conservées dans un contenant fermé hermétiquement ou dans l'eau ¹⁷. **Elles doivent être placées sur la tablette inférieure du réfrigérateur**, pour éviter que leur jus ne s'égoutte sur d'autres aliments ^{17, 18}.

Idéalement, les moules bleues devraient être **consommées dans les 24 heures suivant la cueillette**, car la durée de conservation varie grandement entre les moules et est difficile à établir ^{19, 20}. Les moules bleues pourraient tout de même être conservées au réfrigérateur jusqu'à 2 à 3 jours après la cueillette si elles ne présentent pas de signes de dégradation.



VÉRIFICATION DES MOULES



Si les moules dégagent une **odeur désagréable** ou si elles ne se ferment pas rapidement lorsqu'une pression est appliquée sur leur coquille avec les doigts, ce sont des signes de dégradation qui indiquent qu'elles ne sont plus bonnes pour la consommation et qu'elles doivent être jetées ¹⁹.

Avant la cuisson, il est recommandé d'examiner les moules une à une et d'**éliminer les moules mortes** ainsi que les **moules remplies de vase**. Pour vérifier si une moule est remplie de vase, il faut la tapoter sur le comptoir et si un filet de boue et/ou un liquide nauséabond s'en échappe, la moule est morte et doit être jetée. Si vous doutez de la fraîcheur de vos moules, il vaut mieux ne pas les consommer.



CUISSON ADÉQUATE DES MOULES



Les coliformes fécaux sont des indicateurs efficaces, mais imparfaits de la qualité de l'eau ²¹. Donc, même lorsqu'ils sont sous les normes, d'autres **micro-organismes** peuvent tout de même parfois se retrouver dans la chair des moules et causer des intoxications graves ²¹. Toutefois, contrairement aux biotoxines, les **micro-organismes sont détruits par la chaleur** et c'est pourquoi la cuisson adéquate des moules est importante même si elles ont été cueillies dans un secteur ouvert à la cueillette ²².

Celle-ci consiste à **faire bouillir les moules jusqu'à ce que les coquilles s'ouvrent, puis de laisser bouillir au moins 5 minutes de plus** ⁴. À la vapeur, la cuisson devrait être poursuivie **au moins 9 minutes après l'ouverture des coquilles** ⁴. De plus, pour réduire les risques de contamination microbiologique, les moules devraient atteindre une **température interne d'au moins 74°C au cours de la cuisson** ⁴. **Les moules qui ne se sont pas ouvertes lors de la cuisson doivent être jetées**, car elles étaient probablement déjà mortes et pourraient contenir des micro-organismes pathogènes ⁴.

ANNEXE B. CARACTÉRISTIQUES DES DIFFÉRENTES INTOXICATIONS PAR LES MICRO-ORGANISMES

Bactéries	Source de contamination	Manifestations cliniques principales	Temps d'incubation	Durée des symptômes	Dose infectieuse	Temps et température d'inactivation
<i>Aeromonas hydrophila</i>	Naturellement présent dans milieu aquatique (1)	Gastro-entérite (1)	Non disponible (1)	3 à 120 jours (1)	10^5 à 10^6 (2)	Quelques minutes à 62°C (3)
<i>Bacillus cereus</i>	Eaux usées, selles des individus infectés (1)	Nausées, crampes vomissements, diarrhée (1)	1 à 16h (1)	5 à 12 heures (1)	10^6 à 10^9 (2)	12 secondes à 70°C (4)
<i>Campylobacter jejuni</i>	Fientes des oiseaux (1)	Diarrhée, crampes, fièvre (1)	1 à 10 jours (1)	2 à 30 jours (1)	$>10^4$ (5)	15 secondes à 62°C (6)
<i>Clostridium perfringens</i>	Eaux usées (1)	Crampes, diarrhée (1)	8 à 22 heures (1)	7 heures à 3 jours (1)	10^5 à 10^8 (2)	1.3 minutes à 70°C (4)
<i>Escherichia coli</i>	Eaux usées, selles des individus infectés (7)	Nausées, diarrhée, vomissements, fièvre, céphalées (7)	3 à 8 jours (7)	5 à 10 jours (7)	10^1 à 10^9 , en fonction de la souche (2)	<2 secondes à 65°C (8)
<i>Plesiomonas shigelloïdes</i>	Eaux usées (1)	Fièvre, crampes, nausées, diarrhée, vomissements (1)	20 à 24 heures (1)	1 à 7 jours (1)	Inconnue (9)	Sensibilité chaleur humide 15 minutes à 121°C et chaleur sèche 1h à 160°C (10)
<i>Salmonella sp.</i>	Eaux usées, selles des individus et animaux infectés (1)	Gastro-entérite, fièvre (1)	5 à 72 heures (1)	12 heures à 14 jours (1)	$>10^2$ (2)	0,1 seconde à 72°C (11)
<i>Shigella</i>	Eaux usées (1)	Diarrhée (1)	7 heures à 7 jours (1)	12 heures à 14 jours (1)	10^1 à 10^2 (2)	3 secondes à 65°C (8)
<i>Staphylococcus aureus</i>	Eaux usées, selles des individus infectés (1)	Crampes, nausées, vomissements, diarrhée, fièvre (1)	1 à 6 heures (1)	7 à 36 heures (1)	10^5 à 10^6 (2)	60 secondes à 75°C (12)
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Naturellement présent dans milieu aquatique, selles des individus infectés (1)	Diarrhée, crampes, nausées, vomissements, plaies infectées, septicémie (1,5)	2 à 48 heures (1)	2 à 10 jours (1)	10^5 à 10^6 (2)	1 à 5 minutes à 100°C ou 15 min à 60°C (13)
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Eaux usées (1)	Colites, fièvre, diarrhée, crampes (1)	2 heures à 6 jours (1)	2 à 30 jours (1)	10^7 à 10^9 (2)	0,5 seconde à 72°C (11)

Virus	Source de contamination	Manifestations cliniques principales	Temps d'incubation	Durée des symptômes	Dose minimum pour infection	Temps et température d'inactivation
Norovirus	Eaux usées, selles des individus infectés (1)	Nausées, diarrhée, fièvre, crampes, vomissements (1)	24 à 48 heures (1)	24 à 60 heures (1)	<100 virus (5)	1 minute à 71,3°C (14)
Hépatite A	Eaux usées, selles des individus infectés (1)	Nausées, anorexie, jaunisse (1)	10 à 50 jours (1)	7 à 14 jours (1)	10-100 virus (5)	30 secondes à 75°C ou 5 secondes à 80°C (15)
Parasites	Source de contamination	Manifestations cliniques principales	Temps d'incubation	Durée des symptômes	Dose minimum pour infection	Temps et température d'inactivation
<i>Cryptosporidium sp.</i>	Eaux usées, selles des individus et animaux infectés (1)	Diarrhée, fièvre, crampes (1)	2 à 14 jours (1)	1 à 20 jours (1)	Dose médiane à environ 132 oocytes (16)	5 à 15 secondes à 71,7°C (17)
<i>Giardia lamblia</i>	Eaux usées, selles des individus et animaux infectés (1)	Diarrhée, nausée. Fièvre, frissons, crampes (1)	7 à 30 jours (1)	7 jours (1)	10 à 100 kystes (16)	600 secondes à 56°C (18)
<i>Toxoplasma gondii</i>	Eaux usées, selles de félins (19)	Symptômes grippaux ou asymptomatique (19) mais abortive en début de grossesse ou plus tard durant la grossesse, peut causer d'importantes malformations congénitales (20)	4 à 20 jours (19)	Environ 28 jours (19)	< 50 oocytes (21)	Kystes meurent instantanément à 67°C et les oocystes après 1-2 minutes à 55-60°C (22)

1. Duchesne et al. (2002), 2. Venugopal et Gopakumar (2017), 3. Gouvernement du Canada. (2012a). 4. Byrne et al. (2006), 5. Butt et al. (2004a), 6. Juffs et Deeth (2007), 7. Gouvernement du Canada (2018a), 8. Spinks et al. (2006), 9. Gouvernement du Canada (2012), 10. Pflug et al. (2001), 11. Sörqvist (2003), 12. Kennedy et al. (2005), 13. Beuchat (2075), 14. Deuzier et al. (2004), 15. Parry et Mortimer (1984), 16. Butt et al. (2004b), 17. Harp et al. (1996), 18. Sauch et al. (1991), 19. Gouvernement du Canada (2011), 20. Hampton (2015), 21. Hohweyer et al. (2013), 22. Petersen et al. (2010)

ANNEXE C. CARACTÉRISTIQUES DES INTOXICATIONS AUX BIOTOXINES MARINES

Intoxication	Toxines	Présence dans le St-Laurent	Organismes en cause	Norme	Retrouvé dans	Période propice éclosion St-Laurent.	Temps de dépuración des bivalves	Site d'action	Effets sur la santé	Début effet/durée	Traitement	Solubilité / stabilité chaleur et congélation
Intoxication par phycotoxine paralysante (PSP)	Saxitoxines (STX) et ses dérivés (1)	Oui (2,3,4)	Dinoflagellés : dans le Saint-Laurent <i>A.tamarensis</i> (toxique) <i>A.ostenfedii</i> (non toxique) (2)	1000 cellules/L eau ou 80 µg/100g de chair de mollusque (800µg/kg) (3)	Mollusques bivalves (moules, huîtres et palourdes), crustacés (5)	Fin été et début automne (4,6,7)	Quelques jours à quelques mois, soit environ entre 10 et 50 jours (8)	Canaux Na ⁺ dans nerfs moteurs et sensoriels (5)	Engourdissements, picotement langue, lèvres, visage, cou, doigts, orteils, somnolence, étourdissements, nausées, vomissements, paralysie, raideur, faiblesse. Mort par insuffisance respiratoire (4,9)	en moyenne 10 min. à 1 heure / dure quelques heures à 2-3 jours (9)	Aucun antidote, surveillance, assistance respiratoire au besoin (9)	Hydrophile / thermostable (5)
Intoxication par phycotoxine amnésique (ASP)	Acide domoïque (AD) (10)	Oui (2,3,4)	Diatomés : dans le Saint-Laurent <i>Pseudo-Nitzschia seriata</i> (toxique) <i>Pseudo-Nitzschia delicatissima</i> (non toxique) (10)	20 µg AD/ g de chair (20mg/kg ou 20 000 µg/kg) (3,10)	Mollusques bivalves (11)	Surtout prin-temps et automne mais possible pendant l'été (10,12)	Quelques heures (13)	Récepteurs glutamate au système nerveux central (SNC) (14)	Confusion, désorientation, perte de mémoire à court terme, céphalées, crampes abdominales, nausées, vomissements, diarrhée, faiblesse musculaire, convulsions, coma, détresse respiratoire, mort (4,10,11)	30 min. à 48 heures / dure quelques jours (4,11)	Aucun antidote, surveillance, assistance respiratoire, correction hémodynamique et d'arythmies au besoin (11)	Hydrophile / thermostable (10,14)
Intoxication par phycotoxine diarrhétique (DSP)	Acide okadaïque (AO) et les Dinophysis-toxines (DTXs) (15)	Oui (2,3,4)	Dinoflagellés : dans le Saint-Laurent <i>Dinophysis spp.</i> (dont <i>D. norvegica</i>) et <i>Prorocentrum spp.</i> (15)	0,2 µg AO/ g de chair (200µg/kg) (3,16)	Mollusques bivalves (17)	Été et automne (juin à octobre) (17)	7 à 45 jours (17)	Inhibition protéine PP2A et PP1 des cellules intestinales (15)	Semblables à une gastro-entérite (nausées, vomissements, diarrhée, douleurs/crampes abdominales), céphalées, fièvre (4,15)	30 min. à 15 heures / dure environ 3 jours (17)	Aucun antidote, surveillance, réhydratation, remplacement des ions et des fluides (11,17)	Lipophile / thermostable (15)
Intoxication neurotoxique par les mollusques (INM)	Brevetoxines (PbTx) (5)	Non (Floride, Caroline du Nord, Golfe du Mexique, Caraïbes Nouvelle-Zélande) (5)	Dinoflagellés : <i>Karenia brevis</i> (<i>Gymnodinium brevis</i> et <i>Ptychodiscus brevis</i>) (5)	Lorsque surveillé ; 800 µg/kg de chair ou 200 unités de souris / kg (18)	Mollusques bivalves, poissons (18)	N/A	2 à 8 semaines (11)	Canaux Na ⁺ voltage dépendants (5)	Nausées, vomissements, diarrhée, frissons, sudation, inversion sensation chaud/froid, hypotension, arythmie, paresthésies des lèvres, du visage et des extrémités, crampes, bronchoconstriction, paralysie, convulsions, coma (5,18)	30 minutes à 24 heures (18)/ 3 à 18 heures jusqu'à quelques jours (11)	Aucun antidote, surveillance, remplacement des fluides au besoin. Quitter la plage pour ne plus être exposé aux particules aériennes (11)	Lipophile / thermostable (18)
Intoxication à l'azaspiracide	Azaspiracide (AZA) et analogues (18)	Non (Irlande) (18)	Dinoflagellés : <i>Prorocentrum-dinium crassipes</i> , <i>Azadinium spinosum</i> (18)	160 µg/kg de chair (18)	Mollusques bivalves (18)	N/A	Peut persister jusqu'à 8 mois dans la chair (8)	Canaux K ⁺ (18)	Diarrhée, nausées, vomissements, douleurs abdominales, symptômes neurologiques (18)	6 à 18 heures / dure jusqu'à 5 jours (8)	Non disponible	Lipophile / thermostable (18)

1. Anderson et al. (2012), 2. Scarratt et al. (2017), 3. Gouvernement du Canada. (2019b), 4. Gouvernement du Canada. (2017b), 5. Isbister (2005), 6. Weise et al. (2002), 7. Blasco et al. (1998), 8. Brett (2003), 9. Centre de collaboration nationale en santé environnementale (2014), 10. Couture et al. (2001), 11. Vilariño et al. (2018), 12. Mercado et al. (2005), 13. Trainer et al. (2012), 14. Lefebvre et Robertson (2010), 15. James et al. (2010), 16. Agence Canadienne d'inspection des aliments (2018), 17. British Columbia Centre for Disease Control (2019), 18. Daguer et al. (2018).

ANNEXE D. CONTAMINANTS ÉMERGENTS ET POLLUANTS ORGANIQUES PERSISTANTS ET PRINCIPAUX EFFETS SUR LA SANTÉ DOCUMENTÉS À LA SUITE D'UNE EXPOSITION CHRONIQUE À FAIBLES DOSES

Contaminant	Utilisation	Réglementation	Norme dans aliments	Source	Effets sur la santé - exposition chronique à de faibles doses
Biphényles polychlorés (BPC)	209 produits semblables : isolants dans transformateurs et condensateur électriques, échangeurs de chaleur, produits de calfeutrage et d'étanchéité, etc. (1,2)	Interdiction importation, fabrication et vente au Canada depuis 1977. Mais permission d'utiliser de vieux équipements (1)	Canada : 2000 µg/kg (2 µg/g) tissus frais poissons et mollusques (en révision). Norme de l'Union Européenne pour la commercialisation : 125 µg/kg (3)	Déposition des particules aériennes et eaux rejetées des usines de traitement (1,2)	Perturbateurs endocriniens : pourraient causer des effets mineurs sur la reproduction et le développement des nouveau-nés et des jeunes enfants. Altération possible des fonctions thyroïdiennes (4)
Pesticides organochlorés (POC)	Pesticides utilisés en agriculture (5)	Majoritairement interdits au Canada depuis années 1970, car persistant dans l'environnement et ayant des effets néfastes sur la santé (4,6)	Limites maximales de résidus pour pesticides (7)	Épandage sur les sols, eaux de ruissellement (5)	Perturbateurs endocriniens : effets sur la reproduction, développement des nouveau-nés, le fois les fonctions thyroïdiennes, puberté précoce. (8,9)
Dioxines et furanes	Produits de combustion incomplète : incinérateurs, industries pâtes et papiers, production fer et acier, énergie, chauffage bois (8)	Limiter les rejets en ajoutant des règlements, améliorant le contrôle des émissions et en fermant des installations polluantes. Bannis des pesticides (10)	Norme canadienne des produits de la pêche : 20 ng/kg de chair pour la 2,3,7,8 TCDD (en révision) (3).	Rejetées par la voie des airs, peuvent voyager sur de longues distances par l'effet sauterelle. Hydrophobes (10)	Perturbateurs endocriniens : altération du système reproducteur, immunitaire, fonction thyroïdienne, cardiovasculaire, altération du développement neurologique de l'enfant, diabète de type II. Augmente le risque de développer

					tous types de cancers (11)
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	Feux de forêt, chauffage au bois, alumineries, déversements de produits pétroliers, usines métallurgiques (12)	Limiter les rejets par des ententes sur la performance environnementale des industries, code de pratiques écologiques et recommandations (13)	Norme européenne mollusques bivalves frais pour le benzo(a)pyrène (BAP) : 5 µg/kg de poids humide (14)	Retombées atmosphériques, eaux de ruissellement des routes, rejets industriels, déversements accidentels (15)	Perturbateurs endocriniens : effets sur la reproduction et le développement fœtal (16). BAP cancérogène selon IARC : augmentation des risques de développer un cancer (tumeurs gastriques), altération du système immunitaire causant une augmentation des risques d'infections (14)
Contaminant	Utilisation	Réglementation	Norme dans aliments	Source	Effets sur la santé- exposition chronique à de faibles doses
Retardateurs de flamme dont les polybromo-diphényles éthers (PBDE)	Retardateurs de flamme (informatique, appareils ménagers, meubles, etc.). Pas produit au Canada, mais importé (16)	Restriction concernant la fabrication, la vente et l'importation de produits contenant des PBDE (16)	Pas de norme quant à la quantité acceptable dans les poissons ou mollusques pour la consommation humaine (4)	Rejets dans l'environnement pendant la fabrication, la durée de vie et l'élimination des objets en contenant (17)	Perturbateurs endocriniens : possibles effets sur le développement fœtal, foie, thyroïde et système reproducteur. La consommation de poissons et fruits de mer contribuerait faiblement à l'apport en PBDE et n'affecterait pas la santé humaine (17)
Composés perfluorés (PFAS)	Polymères antitaches, imperméables et hydrofuges utilisés dans différents produits (textile, meubles). Ne sont pas produits au	Interdiction fabrication, utilisation, vente et importation au Canada depuis 2008. Surveillance de la concentration de certains PFAS dans les aliments (18)	Critères non établis. Concentration PFAS dans les aliments et l'eau semble inférieure à celle pouvant causer des effets sur la santé (18) mais se bioaccumulent dans les	Eaux usées municipales et industrielles, lixiviat des décharges, utilisation et élimination des objets en contenant (18)	Perturbateurs endocriniens : possibles effets de ↓ de la fertilité féminine, ↓ du poids des bébés à la naissance, altération du développement

	Canada, mais importés (12)		espèces prédatrices marines et, à moindre échelle, les espèces terrestres. Peu de données dans le Saint-Laurent, surtout en Arctique		neurologique de l'enfant, ↑ cholestérol, troubles de la fonction thyroïdienne (19).
Filtres solaires	Protection solaire (20)	N/A	N/A	Eaux usées ou lors d'activités récréatives telle la baignade (21)	Effets sur la santé humaine à approfondir (20). Effets sur les organismes aquatiques : effets sur la reproduction et blanchiment des coraux (21)
Alkylphénols (AP)	Surfactants non-ioniques utilisés dans des détergents, dégraissants, pesticides, peintures et résines (12)	Restriction de l'utilisation du nonylphénol et de ses dérivés éthoxylés au Canada en 2001 (22)	Non disponible. LA NOAEL est de 15 mg/kg/jour et les poissons contribueraient de 1 à 29% de l'apport (23)	Fabrication, usage, entreposage, transport ou déversement accidentel. Eaux usées municipales et industrielles. Usage de pesticides (24)	Perturbateurs endocriniens : activité oestrogénique causant des effets potentiels sur la fertilité (25) Effets sur les organismes aquatiques : effets sur la fertilité, troubles du développement des embryons, mortalité (24)
Pesticides d'usage contemporain (glyphosate, atrazine, etc.)	Usage agricole (insecticides, herbicides, fongicides) (26)	N/A, mais toxicité du glyphosate actuellement sous enquête par Santé Canada (26)	Atrazine ne semble pas accumuler dans chaîne alimentaire. Critère de qualité pour la prévention de la contamination des organismes aquatiques atrazine = 0,78 µg/L (27-28).	Épandage sur les sols, eaux de ruissellement (26)	Perturbateurs endocriniens : troubles fertilité et de développement possibles, augmentation risque cancer avec atrazine (26). Dans les aliments, la quantité d'atrazine détectée ne dépassent normalement pas les limites de détection (27).

Contaminant	Utilisation	Réglementation	Norme dans aliments	Source	Effets sur la santé- exposition chronique à de faibles doses
Nanotubes de carbone à paroi simple ou multiple	Additifs pour polymères (automobile, aéronautique, équipement sportif, textile technique, médecine), électronique, etc. (27)	N/A	Aucune donnée de la toxicité suite à l'ingestion disponible, connaissances toxicologiques insuffisantes (28)	Fabrication, usage, entreposage, nettoyage, maintenance, élimination des objets en contenant (28)	Peu de données disponibles chez l'homme suite à l'ingestion. Études in vitro ont mis en évidence capacité des nanotubes à pénétrer les cellules et causer de la cytotoxicité (29). Effets sur les organismes aquatiques : altération de la respiration et de l'absorption des nutriments, décès (30)
Micro-plastiques	Fibres de tissus synthétiques, cosmétiques et produits d'hygiène, dégradation de gros morceaux de plastique <5µm (31)	Au Canada, depuis 2018, interdiction de fabriquer, d'importer ou de vendre tout produit de toilette contenant des microbilles (32)	N/A	Eaux usées, déchets de plastiques jetés ou balayés dans les cours d'eau (33)	Perturbateurs endocriniens : s'ils adsorbent d'autres polluants (PCB, HAP, pesticides organochlorés, alkylphénols) ou contiennent du bisphénol et des phtalates (34). Effets sur fertilité, thyroïde, développement système nerveux, etc (35)
PPSP	Médicaments d'usage humain et animalier, produits de soins corporels (shampooing, gel douche, savon, dentifrice, cosmétiques, etc.) (36)	N/A	N/A	Eaux usées : élimination par les voies naturelles ou rejet des comprimés inutilisés dans le robinet ou la toilette (36)	Plus d'études seront nécessaires pour connaître les risques sur la santé humaine. Mais exposition à de faibles doses qui ne devraient pas causer d'effets néfastes sur la santé (37). Effets sur les organismes aquatiques : en fonction de la nature du médicament, possibles effets de féminisation des moules causée par les oestrogènes provenant des prescriptions d'hormones de synthèse (38)

Contaminant	Utilisation	Réglementation	Norme dans aliments	Source	Effets sur la santé-exposition chronique à de faibles doses
Métaux	Naturellement présents dans l'environnement, utilisés dans diverses activités anthropiques, dont industries, agriculture, etc. (39,40)	Différents règlements en fonction des métaux, par exemple le plomb (41), le mercure (42), l'arsenic (43) et le cadmium (44)	Plomb : Règlement sur les aliments et drogues afin de déterminer les concentrations maximales de plomb pour qu'elles soient les plus sécuritaires pour la santé humaine (41). Mercure : Santé Canada a déterminé une concentration maximale pour le mercure total dans le poisson (principale source d'exposition) (42). Arsenic : normes dans aliments semblent en cours d'élaboration par le Comité du Codex sur les contaminants dans les aliments (43). Cadmium : semble en cours d'évaluation (45)	Eaux usées, activités industrielles et agricoles, balayés dans les cours d'eau par le vent (40)	Plomb : développement intellectuel chez les enfants, difficultés d'apprentissage, TDAH (41). Mercure : effets neurologiques et neurodéveloppementaux (sur le développement des enfants), effets cardiovasculaires et sur le système immunitaire (42-43). Arsenic : effets encore peu connus, lésions cutanées possibles aux mains et aux pieds (44). Dans les bivalves, l'arsenic serait principalement accumulé sous forme organique et ne serait pas toxique pour l'être humain (47) Cadmium : toxicité rénale, sur les os, cancérigène possible (45)

1. Gouvernement du Québec (2019), 2. Gouvernement du Canada (2013a), 3. Plan d'action Saint-Laurent 2011-2026 (2016), 4. ATSDR (2019a), 5. Couillard, D. (1982), 6. Gouvernement du Canada (2019g), 7. Gouvernement du Canada (2015), 8. Charlier et Plomteux (2002), 9. ATSDR (2019b), 10. Gouvernement du Canada (2006), 11. OMS (2019), 12. Kabir et al. (2015), 13. Gouvernement du Canada (2013b), 14. Auby et al. (2013), 15. OSPAR (2019), 16. Larsen et al. (2002), 17. Gouvernement du Canada (2016), 18. Gouvernement du Canada (2009), 19. Centre de collaboration nationale en santé environnementale (2019), 20. Gouvernement du Canada (2018b), 21. Gago-Ferrero et al. (2013), 22. Gouvernement du Canada (2013c), 23. Bontje et al. (2004), 24. Canadian Council of Ministers of the Environment (2002), 25. Institut national de santé publique [INSPQ] (2018), 26. Institut national de santé publique [INSPQ] (2003), 27. Ricaud et al. (2008), 28. Tejral et al. (2009), 29. Mwangi et al. (2012), 30. Castañeda et al. (2014), 31. Gouvernement du Canada (2017c), 32. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (2019), 33. Mathalon et Hill (2014), 34. Parent (2009), 35. Roig et Thomas (2014), 36. Mezzelani et al. (2018), 37. Blaise et al. (2003), 38. Choinière et Beaumier (1997), 39. Gobeil et al. (2005), 40. Gouvernement du Canada (2018c), 41. Gouvernement du Canada (2019h), 42. ATSDR (1999), 43. Gouvernement du Canada (2017d), 44. Gouvernement du Canada (2018d), 45. Gouvernement du Canada (2018e), 46. ATSDR (2007)