



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)

Document de recherche 2020/059

Région de la capitale nationale

Évaluation du risque pour le saumon rouge du fleuve Fraser attribuable au transfert de la bactérie *Tenacibaculum maritimum* à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery (Colombie-Britannique)

C. Mimeault¹, O. Nekouei¹, K.A. Garver², S.R.M. Jones², S. Johnson²,
K. Holt³, P. Aubry⁴, L. Weber¹, I.J. Burgetz¹, and G.J. Parsons¹

¹Pêches et Océans Canada
Division des sciences de l'aquaculture, de la biotechnologie
et de la santé des animaux aquatiques
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

²Pêches et Océans Canada
Station biologique du Pacifique
3190, chemin Hammond Bay
Nanaimo (Colombie-Britannique) V9T 6N7

³Pêches et Océans Canada
Institut des sciences de la mer
9860, chemin West Saanich
Sidney (Colombie-Britannique) V8L 6B2

⁴Agence canadienne d'inspection des aliments
Division des sciences de la santé animale
1400, chemin Merivale
Ottawa (Ontario) K1A 0Y9

Avant-propos

La présente série documente les fondements scientifiques des évaluations des ressources et des écosystèmes aquatiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien de consultation scientifique
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

[http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/
csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca](http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca)



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2020
ISSN 2292-4272

La présente publication doit être citée comme suit :

Mimeault, C., Nekouei, O., Garver, K.A., Jones, S.R.M., Johnson, S., Holt, K., Aubry, P., Weber, L., Burgetz, I.J. et Parsons, G.J. 2020. Évaluation du risque pour le saumon rouge du fleuve Fraser attribuable au transfert de la bactérie *Tenacibaculum maritimum* à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery (Colombie-Britannique). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2020/059. ix + 55 p.

Also available in English :

Mimeault, C., Nekouei, O., Garver, K.A., Jones, S.R.M., Johnson, S., Holt, K., Aubry, P., Weber, L., Burgetz, I.J. and Parsons, G.J. 2020. Assessment of the risk to Fraser River Sockeye Salmon due to *Tenacibaculum maritimum* transfer from Atlantic Salmon farms in the Discovery Islands area, British Columbia. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2020/059. viii + 49 p.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	III
LISTE DES TABLEAUX	V
LISTE DES FIGURES	VI
GLOSSAIRE	VII
RÉSUMÉ	VIII
1 INTRODUCTION.....	1
2 CONTEXTE.....	1
2.1 OBJECTIFS DE GESTION ET DE PROTECTION.....	2
2.2 FORMULATION DU PROBLÈME	2
2.2.1 Détermination du danger	2
2.2.2 Caractérisation du danger.....	2
2.2.3 Scope	3
2.2.4 Question sur le risque.....	5
2.2.5 Méthodologie	5
2.3 SOURCES DE DONNÉES SUR LA SANTÉ DU POISSON	11
2.3.1 Industrie.....	11
2.3.2 Programme de vérification et de surveillance de la santé des poissons.....	11
2.3.3 Événements liés à la santé des poissons.....	12
2.3.4 Épisodes de mortalité	12
2.4 EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES	12
2.4.1 Délivrance de permis et biosécurité	12
2.4.2 Comité des introductions et des transferts	13
2.5 PRATIQUES DE L'INDUSTRIE	14
2.5.1 Pratiques de gestion de la santé du poisson.....	14
2.5.2 Surveillance et analyses	14
2.5.3 Pratiques d'empoisonnement dans la région des îles Discovery	15
3 ÉVALUATION DE LA PROBABILITÉ	15
3.1 ÉVALUATION DE L'INFECTION À LA FERME	15
3.1.1 Question	15
3.1.2 Considérations.....	15
3.1.3 Hypothèse	18
3.1.4 Probabilité d'infection à la ferme	18
3.2 ÉVALUATION DE LA DISSÉMINATION.....	18
3.2.1 Question	18
3.2.2 Considérations.....	18
3.2.3 Hypothèses.....	19
3.2.4 Probabilité de dissémination	20
3.3 ÉVALUATION DE L'EXPOSITION.....	21

3.3.1	Question	21
3.3.2	Considérations.....	21
3.3.3	Hypothèses.....	28
3.3.4	Probabilité d'exposition	29
3.4	ÉVALUATION DE L'INFECTION	30
3.4.1	Question	30
3.4.2	Considérations.....	30
3.4.3	Hypothèses.....	34
3.4.4	Probabilité d'infection.....	34
3.5	ÉVALUATION DE LA PROBABILITÉ GLOBALE	36
4	ÉVALUATION DES CONSÉQUENCES	37
4.1	QUESTION.....	37
4.2	CONSIDÉRATIONS.....	37
4.2.1	Dynamique et virulence de l'infection à <i>Tenacibaculum maritimum</i>	37
4.2.2	Prévalence de <i>Tenacibaculum maritimum</i> chez le saumon rouge.....	38
4.2.3	Mortalité attribuable à la pourriture de la bouche	39
4.2.4	Infection sublétales avec <i>Tenacibaculum maritimum</i>	39
4.2.5	Écologie du saumon rouge du fleuve Fraser.....	40
4.2.6	Vulnérabilité propre à un stock.....	40
4.3	HYPOTHÈSES	41
4.4	AMPLEUR DES CONSÉQUENCES	41
4.4.1	Répercussions possibles sur l'abondance	42
4.4.2	Répercussions possibles sur la diversité.....	45
5	ESTIMATION DU RISQUE.....	45
5.1	ABONDANCE	45
5.2	DIVERSITÉ.....	46
6	SOURCES D'INCERTITUDE	46
6.1	ÉVALUATION DE LA PROBABILITÉ.....	46
6.2	ÉVALUATION DES CONSÉQUENCES	47
7	CONCLUSIONS.....	48
8	RÉFÉRENCES CITÉES.....	48
9	ANNEXE	53
9.1	SCÉNARIO 1.....	54
9.2	SCÉNARIO 2.....	55

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Liste des 18 fermes d'élevage de saumon atlantique incluses dans l'évaluation du risque.....	5
Tableau 2. Catégories et définitions utilisées pour décrire la probabilité d'un événement sur une période d'un an.	7
Tableau 3. Catégories et définitions utilisées pour décrire les conséquences possibles sur l'abondance du saumon rouge du fleuve Fraser.....	7
Tableau 4. Catégories et définitions utilisées pour décrire les conséquences possibles sur la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser.	7
Tableau 5. Catégories et définitions utilisées pour décrire le niveau d'incertitude associé aux données et à l'information.	8
Tableau 6. Catégories et définitions utilisées pour décrire le niveau d'incertitude associé à la gestion de la santé du poisson.....	9
Tableau 7. Nombre de fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery avec des observations de pourriture de la bouche; sommaire par année.....	17
Tableau 8. Facteurs contributifs et limitatifs de la probabilité de la présence d'une infection du saumon atlantique d'élevage par <i>Tenacibaculum maritimum</i> dans une ou plusieurs fermes d'élevage de la région des îles Discovery selon les pratiques d'élevage actuelles.	18
Tableau 9. Facteurs contributifs et limitatifs de la probabilité d'une quelconque dissémination de <i>Tenacibaculum maritimum</i> depuis une ferme d'élevage de saumon atlantique infectée de la région des îles Discovery dans un environnement accessible au saumon rouge du fleuve Fraser, selon les pratiques d'élevage actuelles.	20
Tableau 10. Résumé de la preuve de chevauchement temporel entre la présence du saumon rouge du fleuve Fraser et les occurrences de pourriture de la bouche dans des fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery.....	23
Tableau 11. Nombre de fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery avec des occurrences de pourriture de la bouche entre 2002 et 2018; sommaire par année et par mois.	24
Tableau 12. Facteurs contributifs et limitatifs de la probabilité qu'au moins un saumon rouge du fleuve Fraser soit exposé à <i>Tenacibaculum maritimum</i> disséminé depuis une ou plusieurs fermes d'élevage de saumon atlantique infectées dans la région des îles Discovery selon les pratiques d'élevage actuelles.	29
Tableau 13. Résumé des concentrations d'isolats de <i>Tenacibaculum maritimum</i> de l'Ouest canadien et des durées du bain nécessaires pour induire la mortalité chez des saumoneaux atlantique norvégiens dans des conditions expérimentales.....	33
Tableau 14. Facteurs contributifs et limitatifs de la probabilité que le saumon du fleuve Fraser exposé à la bactérie <i>Tenacibaculum maritimum</i> depuis une ferme d'élevage de saumon atlantique infectée dans la région des îles Discovery devienne infecté.	35
Tableau 15. Sommaire des classements de probabilité et d'incertitude pour le volet d'évaluation de la probabilité de l'évaluation des risques pour le saumon rouge du fleuve Fraser attribuables au transfert de <i>Tenacibaculum maritimum</i> à partir de fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery.....	36

Tableau 16. Statistiques sommaires des distributions simulées de la probabilité de mortalité chez le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser attribuable à une infection à <i>Tenacibaculum maritimum</i> disséminé à partir de fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery.	43
Tableau 17. Estimation du risque pour l'abondance du saumon rouge du fleuve Fraser en conséquence d'une infection par <i>Tenacibaculum maritimum</i> attribuable à des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery selon les pratiques d'élevage actuelles.	45
Tableau 18. Estimation du risque pour la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser en conséquence d'une infection à <i>Tenacibaculum maritimum</i> attribuable à des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery selon les pratiques d'élevage actuelles...46	

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Emplacements des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery, en Colombie-Britannique (zone 3-2 et trois fermes dans la zone 3-3) inclus dans la présente évaluation des risques.....	4
Figure 2. Modèle conceptuel d'évaluation du risque pour le saumon rouge du fleuve Fraser posé par la bactérie <i>Tenacibaculum maritimum</i> des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery.....	6
Figure 3. Matrice de risques pour combiner les résultats de l'évaluation de la probabilité et des conséquences sur l'abondance du saumon rouge du fleuve Fraser.	10
Figure 4. Matrice de risques pour combiner les résultats de l'évaluation de la probabilité et des conséquences sur la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser.	11
Figure 5. Coupes transversales de chenaux aux fermes d'élevage (A) Brent et (B) Shaw situées respectivement dans le chenal le plus étroit et le plus large avec des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery.....	25
Figure 6. Distribution des températures (°C) enregistrées dans les fermes d'élevage actives de saumon atlantique dans la région des îles Discovery à des profondeurs de <1 et 10 mètres, entre 2014 et 2018 (cinq ans).	27
Figure 7. Distribution des salinités (ppm) enregistrées dans les fermes d'élevage actives de saumon atlantique dans la région des îles Discovery à des profondeurs de <1 et 10 mètres, entre 2014 et 2018 (cinq ans).	28
Figure 8. Cheminements potentiels de résultats de l'infection de poissons sauvages vulnérables infectés par <i>Tenacibaculum maritimum</i> attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery.....	37
Figure 9. Distributions simulées de la probabilité de mortalité chez le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser attribuable à une infection à <i>Tenacibaculum maritimum</i> disséminé à partir de fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery.	44
Figure 10. Distributions de probabilité selon le scénario 1.....	54
Figure 11. Distributions de probabilité selon le scénario 2.....	55

GLOSSAIRE

Chronique : Maladie persistante ou de longue durée.

Clinique : Apparence externe d'une maladie dans un organisme vivant.

Maladie : Anomalie de structure ou de fonction qui compromet de façon mesurable la performance physiologique ou comportementale et qui n'est pas une conséquence directe d'une blessure physique.

Unité épidémiologique : Groupe d'animaux partageant approximativement le même risque d'exposition à un agent pathogène dans un lieu défini.

Événement lié à la santé des poissons (ESP) : Éclosion de maladie, soupçonnée ou déclarée, dans une installation d'aquaculture qui nécessite l'intervention d'un vétérinaire et la prise de mesures d'atténuation pour réduire l'incidence ou le risque associé à l'événement. Les interventions et mesures d'atténuation peuvent comprendre les traitements, les échantillonnages ciblés, la mise en quarantaine du site, le renforcement de la biosécurité ou l'abattage pour contrôler les maladies soupçonnées ou confirmées.

Vecteur passif : Objet inanimé capable de transmettre une maladie (p. ex. filet ou bateau contaminé).

Transmission horizontale : Transfert de poisson à poisson d'un agent pathogène.

Infection : Croissance de microorganismes pathogènes dans l'organisme, avec ou sans altération de fonction corporelle.

Pression d'infection : Concentration des agents pathogènes infectieux dans l'environnement des hôtes vulnérables.

Événement de mortalité : Mortalités de poissons équivalant à 4 000 kg ou plus, ou pertes atteignant 2 % des stocks actuels dans une période de 24 heures; ou mortalités de poissons équivalant à 10 000 kg ou plus, ou pertes atteignant 5 % des stocks actuels dans une période de cinq jours.

Éclosion : Occurrence imprévue de mortalité ou de maladie.

Prévalence : Nombre d'hôtes infectés par un agent pathogène (*prévalence de l'infection*) ou touchés par une maladie (*prévalence de la maladie*) exprimé en pourcentage du nombre total d'hôtes examinés pour cet agent pathogène (ou cette maladie) dans une population à un moment précis.

Subléta : Insuffisant pour causer la mort.

Espèce vulnérable : Espèce chez laquelle la présence d'une infection a été démontrée par la survenue de cas spontanés ou par une exposition expérimentale à un agent pathogène simulant la voie naturelle d'infection.

Vecteur : Organisme vivant qui peut transmettre une maladie, directement de l'animal ou indirectement par les excréments de l'animal, à un autre animal (p. ex. personnel, faune).

RÉSUMÉ

Pêches et Océans Canada (MPO), dans le cadre de l'Initiative des sciences de l'aquaculture pour l'évaluation des risques environnementaux, mène une série d'évaluations du risque pour le saumon rouge du fleuve Fraser (*Oncorhynchus nerka*) attribuable au transfert d'agents pathogènes du saumon atlantique (*Salmo salar*) dans les fermes d'élevage de la région des îles Discovery, en Colombie-Britannique.

Ce document présente l'évaluation du risque pour le saumon rouge du fleuve Fraser attribuable au transfert de *Tenacibaculum maritimum* à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery, en Colombie-Britannique, selon les pratiques d'élevage courantes. L'évaluation s'est déroulée en trois étapes principales : premièrement, une évaluation de la probabilité en quatre étapes consécutives (infection à la ferme, dissémination d'agents pathogènes, exposition du saumon rouge du fleuve Fraser et infection du saumon rouge du fleuve Fraser); deuxièmement, une évaluation des conséquences; et troisièmement, une estimation des risques.

La pourriture de la bouche a souvent été signalée dans les fermes d'élevage de saumon atlantique en Colombie-Britannique; il est donc très probable, avec une certitude raisonnable, que des saumons atlantiques infectés par la bactérie *T. maritimum* soient présents dans une ou plusieurs fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery au cours d'une année donnée. Malgré les lacunes dans les connaissances sur la dynamique des infections et les taux d'excrétion de *T. maritimum* du saumon atlantique en Colombie-Britannique, la bactérie est extrêmement probable, avec une certitude élevée, d'être disséminée par des poissons d'élevage infectés, compte tenu de la transmission horizontale de la bactérie dans des essais de cohabitation. La pourriture de la bouche ayant été signalée dans des fermes d'élevage de saumon atlantique pendant que la migration du saumon rouge adulte et juvénile du fleuve Fraser traverse la région des îles Discovery, il est très probable, avec un degré de certitude raisonnable, qu'au moins un saumon rouge juvénile ou adulte soit exposé à la bactérie *T. maritimum* disséminée à partir des fermes d'élevage au cours d'une année donnée. En adoptant une approche prudente dans la présente évaluation des risques, nous avons présumé que le saumon rouge était vulnérable à l'infection à *T. maritimum*. Étant donné l'interaction directe limitée du saumon rouge du fleuve Fraser avec les sites de ferme d'élevage, l'absence de rapports publiés sur les signes cliniques associés à l'infection à *T. maritimum* du saumon rouge et les cinq détections positives de *T. maritimum* dans l'échantillonnage de 2 006 saumons rouges juvéniles autour et au nord de la région des îles Discovery, nous avons conclu avec une incertitude élevée qu'il est improbable que le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser subisse une infection à *T. maritimum* attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery selon des pratiques d'élevage actuelles. Étant donné le fait que la pourriture de la bouche est une maladie principalement préoccupante pour les saumoneaux atlantique d'élevage, l'absence de cas rapportés de pourriture de la bouche durant la deuxième année de production, les interactions directes très limitées entre les adultes en montaison et les fermes d'élevage, et la migration rapide des adultes de retour à l'eau douce, nous avons conclu avec une incertitude raisonnable qu'il est très improbable que le saumon rouge adulte du fleuve Fraser subisse une infection à *T. maritimum* attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery selon les pratiques d'élevage actuelles.

Il a été déterminé que l'ampleur potentielle des répercussions sur l'abondance et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser est négligeable étant donné que la mortalité attribuable à l'infection à *T. maritimum* des fermes d'élevage de saumon atlantique était estimée à moins de un pourcent. La conclusion a été tirée avec une incertitude raisonnable.

Globalement, l'évaluation a permis de conclure que *T. maritimum* attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery pose un risque minimal pour l'abondance et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser compte tenu des pratiques d'élevage actuelles.

1 INTRODUCTION

Pêches et Océans Canada (MPO) assume le rôle réglementaire d'assurer la protection de l'environnement tout en créant les conditions de développement d'un secteur de l'aquaculture durable sur les plans économique, social et environnemental.

Il est reconnu qu'il existe des interactions entre les activités d'aquaculture et l'environnement (Grant et Jones, 2010; Foreman *et al.*, 2015b). L'une de ces interactions est le risque pour les populations de saumon sauvage attribuable à la propagation potentielle de maladies infectieuses à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique (*Salmo salar*) en Colombie-Britannique (Cohen, 2012).

La Division de la gestion de l'aquaculture du MPO a demandé des avis scientifiques officiels sur le risque de transfert d'agents pathogènes des fermes d'élevage de saumon atlantique aux populations de poissons sauvages en Colombie-Britannique. Compte tenu de la complexité des interactions entre les agents pathogènes, les hôtes et l'environnement, le MPO formule ces avis scientifiques sous la forme d'une série d'évaluations des risques propres aux agents pathogènes.

Le présent document présente l'évaluation du risque pour le saumon rouge du fleuve Fraser (*Oncorhynchus nerka*) attribuable à *Tenacibaculum maritimum*, l'agent causal de la pourriture de la bouche, à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery, en Colombie-Britannique. Le choix de cet agent pathogène pour une évaluation officielle du risque de transfert découle du fait que la pourriture de la bouche a été déclaré dans des fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery. Le risque posé pour d'autres populations de poissons sauvages par d'autres agents pathogènes à partir d'autres fermes piscicoles dans d'autres régions de la Colombie-Britannique sera déterminé lors d'analyses ultérieures et ne sera donc pas inclus dans le présent document.

2 CONTEXTE

Cette évaluation du risque a été menée dans le cadre de l'Initiative des sciences de l'aquaculture pour l'évaluation des risques environnementaux du MPO (ci-après appelée « l'Initiative »), mise en œuvre en tant qu'approche structurée pour fournir des avis scientifiques sur les risques et ainsi mieux appuyer le développement durable de l'aquaculture au Canada. De plus, afin d'assurer l'uniformité entre les évaluations des risques réalisées dans le cadre de l'Initiative, le Cadre d'évaluation des risques environnementaux dans le domaine de l'aquaculture (ci-après appelé « le Cadre ») décrit le processus et les composantes de chaque évaluation.

Le Cadre assure la réalisation d'évaluations des risques systématiques, structurées, transparentes et exhaustives. Il est conforme aux cadres internationaux et nationaux d'évaluation des risques (GESAMP, 2008; ISO, 2009) et a été validé au moyen de processus d'examen par les pairs (Mimeault *et al.*, 2017; Mimeault *et al.*, 2019). Le Cadre comprend la détermination des objectifs de gestion et de protection, la formulation du problème, une évaluation du risque et la production d'un avis scientifique. Les objectifs de gestion et de protection et les problèmes ont été respectivement déterminés et formulés en collaboration avec les Secteurs des sciences des écosystèmes et des océans et de la gestion des écosystèmes et des pêches du MPO, et approuvés par la Division de la gestion de l'aquaculture.

Le Cadre comprend également la communication des risques et un examen scientifique par les pairs par l'entremise du Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS) du MPO, qui

est composé d'experts scientifiques du Ministère et de l'extérieur. Des renseignements détaillés au sujet de l'Initiative et du Cadre sont disponibles sur la [page Web de l'Initiative des sciences de l'aquaculture pour l'évaluation des risques environnementaux du MPO](#). Les évaluations des risques menées dans le cadre de cette initiative ne tiennent pas compte des considérations socio-économiques et ne sont pas des analyses coûts-avantages ou risques-avantages.

2.1 OBJECTIFS DE GESTION ET DE PROTECTION

Conformément aux recommandations relatives à l'aquaculture et à la santé du poisson énoncées dans le rapport final de 2012 de la Commission d'enquête sur le déclin des populations de saumon rouge du fleuve Fraser (Cohen, 2012), la composante valorisée de l'écosystème dans cette évaluation du risque est le saumon rouge du fleuve Fraser et les objectifs de gestion et de protection doivent viser à en préserver l'abondance et la diversité.

2.2 FORMULATION DU PROBLÈME

2.2.1 Détermination du danger

Dans la présente évaluation des risques, le danger est *T. maritimum* attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery.

2.2.2 Caractérisation du danger

Le genre *Tenacibaculum* comprend plusieurs espèces pathogènes pour les poissons marins. À ce jour, trois espèces (*Tenacibaculum dicentrarchi*, *Tenacibaculum finnmarkense* et *T. maritimum*) ont été associées à la ténacibaculose chez le saumon atlantique à travers le monde. Toutefois, sur la côte nord-américaine du Pacifique, le tableau clinique de l'infection à *T. maritimum* chez le saumon atlantique diffère de la ténacibaculose et est appelé pourriture de la bouche [résumé dans Frisch *et al.* (2018a)].

Tenacibaculum maritimum, auparavant *Flexibacter maritimum*, est l'agent causal de la pourriture de la bouche en Colombie-Britannique (Frisch *et al.*, 2018a; Frisch *et al.*, 2018b). Cette bactérie a été détectée chez plusieurs espèces de poissons et est considérée comme un agent pathogène opportuniste [examen dans Wade et Weber (2020)]. Le genre *Tenacibaculum*, un membre de la famille *Flavobacteriaceae*, est une composante abondante des écosystèmes bactériens marins (Habib *et al.*, 2014).

La pourriture de la bouche n'a été décrite que chez des salmonidés d'élevage en Colombie-Britannique (Canada) et dans l'État de Washington (États-Unis). En Colombie-Britannique, la pourriture de la bouche est couramment signalée comme une stomatite bactérienne, une stomatite myxobactérienne ou une stomatite ulcéreuse, toutes des expressions non spécifiques se rapportant à une infection bactérienne de la bouche (Wade et Weber, 2020). La pourriture de la bouche affecte principalement les saumoneaux récemment transférés dans l'eau salée (Frisch *et al.*, 2018b).

Wade et Weber (2020) ont résumé les caractéristiques pertinentes de *T. maritimum* et de la pourriture de la bouche, et cerné des lacunes de connaissances qui présentent un intérêt pour la présente évaluation des risques. Wade et Weber (2020) ont également examiné les occurrences de pourriture de la bouche dans les fermes d'élevage de saumon atlantique en Colombie-Britannique. La présente évaluation des risques comprend d'autres détails, dont des preuves de la présence de *T. maritimum* spécifiquement dans des fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery.

Plusieurs tests de provocation ont été menés pour reproduire la ténacibaculose chez diverses espèces de poisson; toutefois, ces études ne peuvent pas être appliquées directement à la pourriture de la bouche (Wade et Weber, 2020) pour les raisons suivantes : 1) la pourriture de la bouche et la ténacibaculose sont cliniquement différentes; 2) il existe des différences antigéniques significatives parmi les isolats de la Colombie-Britannique, et entre les isolats de la Colombie-Britannique et les souches de référence de *T. maritimum* (Ostland *et al.*, 1999); et 3) des études récentes ont démontré des différences dans la génétique, la réponse anticorps et la pathologie des souches de *T. maritimum* de Colombie-Britannique comparativement à d'autres souches causant la ténacibaculose (Frisch *et al.*, 2017; Frisch *et al.*, 2018a; Frisch *et al.*, 2018b). Par conséquent, la présente évaluation des risques s'appuie sur des études faisant intervenir des isolats de *T. maritimum* (causant la pourriture de la bouche) de Colombie-Britannique, sous réserve de la disponibilité de telles études. Autrement, des isolats de *T. maritimum* provenant d'autres endroits ont servi de source d'information de substitution.

2.2.3 Scope

La présente évaluation vise à déterminer le risque en fonction des pratiques actuelles des fermes, y compris les exigences réglementaires et les pratiques volontaires décrites dans Wade (2017). Elle met l'accent sur le risque attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery (zone 3-2 de surveillance de la santé du poisson) et à proximité (trois fermes dans la zone 3-3 au nord-ouest de la zone 3-2) [voir Figure 1 et Tableau 1] et porte sur les mêmes 18 fermes que celles traitées dans Mimeault *et al.* (2017). D'autres fermes d'élevage de saumon atlantique situées le long des routes migratoires du saumon rouge du fleuve Fraser, comme celles qui sont exploitées dans l'archipel Broughton, sont exclues de la présente évaluation.

Bien que 18 fermes soient incluses, il convient de noter que de décembre 2010 à février 2016, le nombre de fermes d'élevage de saumon atlantique empoissonnées a varié entre trois et 18, avec une moyenne de huit fermes un mois donné (Mimeault *et al.*, 2017).

La présente évaluation du risque est axée sur les effets directs potentiels de la présence de *M. viscosa* dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery sur l'abondance et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser.

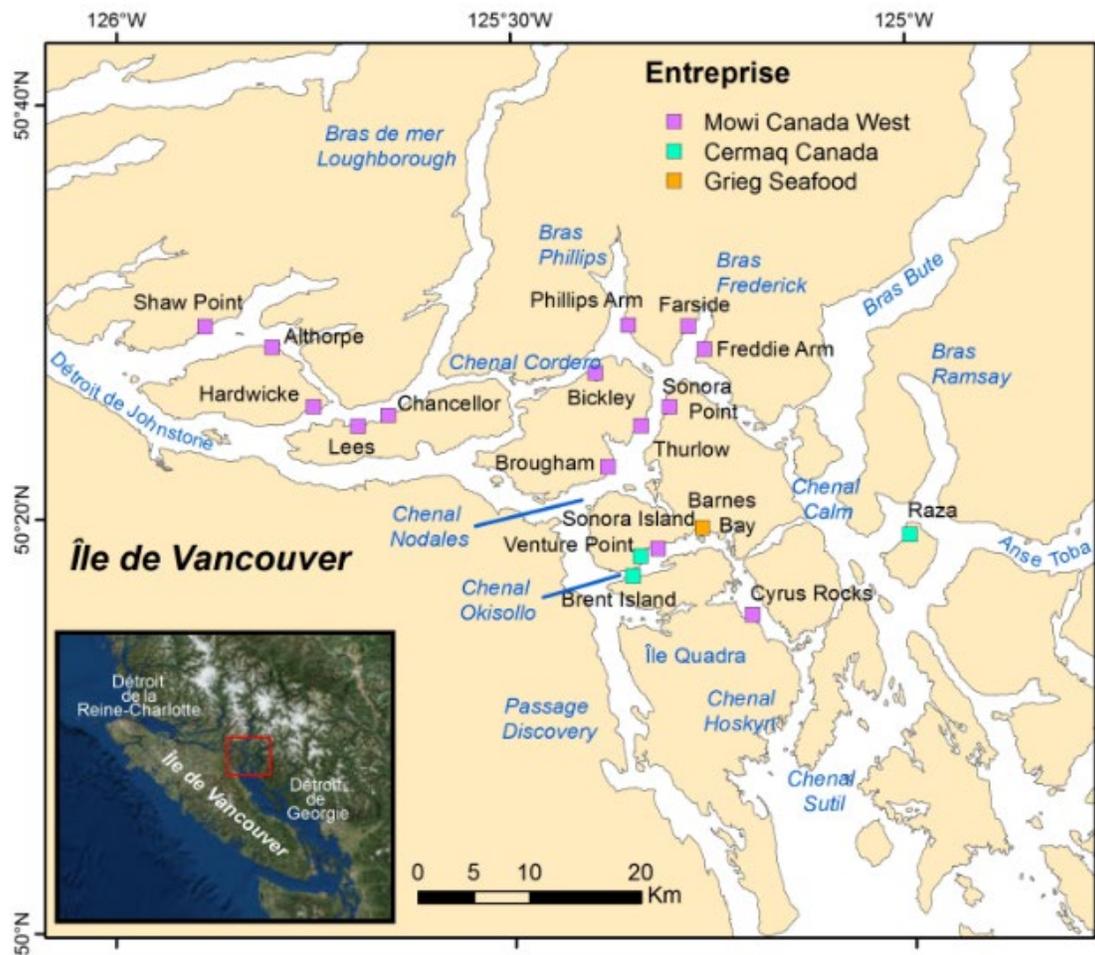


Figure 1. Emplacements des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery, en Colombie-Britannique (zone 3-2 et trois fermes dans la zone 3-3) inclus dans la présente évaluation des risques. La taille des symboles pour les fermes piscicoles n'est pas à l'échelle. Les différentes couleurs représentent différentes entreprises qui exploitent les fermes d'élevage, indiquées dans la légende. L'encart illustre l'emplacement de la région des îles Discovery. Adapté de Mimeault et al. (2017).

Tableau 1. Liste des 18 fermes d'élevage de saumon atlantique incluses dans l'évaluation du risque. Il convient de noter que les fermes d'Althorpe, de Hardwicke et de la pointe Shaw sont officiellement titulaires d'un permis dans la zone 3.3 de surveillance de la santé du poisson, mais qu'elles sont regroupées avec les fermes de la zone 3.2 aux fins de la présente évaluation et conformément aux pratiques de production de rapports sur la gestion de l'aquaculture.

Entreprise	Ferme	Zone de surveillance de la santé du poisson visée par le permis
Cermaq Canada	Brent Island	3-2
	Raza Island	3-2
	Venture	3-2
Grieg Seafood	Barnes Bay	3-2
Mowi Canada West (anciennement Marine Harvest Canada)	Althorpe	3-3
	Bickley	3-2
	Brougham Point	3-2
	Chancellor Channel	3-2
	Cyrus Rocks	3-2
	Farside	3-2
	Frederick Arm	3-2
	Hardwicke	3-3
	Lees Bay	3-2
	Phillips Arm	3-2
	Shaw Point	3-3
	Sonora Point	3-2
	Okisollo	3-2
	Thurlow	3-2

2.2.4 Question sur le risque

Quel est le risque pour l'abondance et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser attribuable au transfert de la bactérie *T. maritimum* à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery dans le cadre des pratiques d'élevage actuelles?

2.2.5 Méthodologie

La méthodologie est fondée sur celle décrite dans Mimeault *et al.* (2017), qui a été adaptée des lignes directrices du MPO sur l'évaluation du risque biologique posé par les espèces aquatiques envahissantes au Canada (Mandrak *et al.*, 2012), l'analyse des risques liés à l'importation (OIE, 2010) publiée par l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE), des recommandations pour l'évaluation du risque dans l'aquaculture côtière (GESAMP, 2008) et des lignes directrices de l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture sur la compréhension et l'application de l'analyse des risques dans l'aquaculture (FAO, 2008).

2.2.5.1 Modèle conceptuel

Le modèle conceptuel (Figure 2) est adapté de celui de Mimeault *et al.* (2017), dans lequel la probabilité qu'un événement se produise et l'ampleur potentielle de ses conséquences sont combinées dans une matrice de risque prédéfinie pour estimer le risque.

La probabilité est évaluée en quatre étapes consécutives : une évaluation de l'infection à la ferme, une évaluation de la dissémination, une évaluation de l'exposition et une évaluation de l'infection. L'évaluation des conséquences permet de déterminer l'ampleur potentielle des impacts de l'infection à *T. maritimum* attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery sur l'abondance et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser.

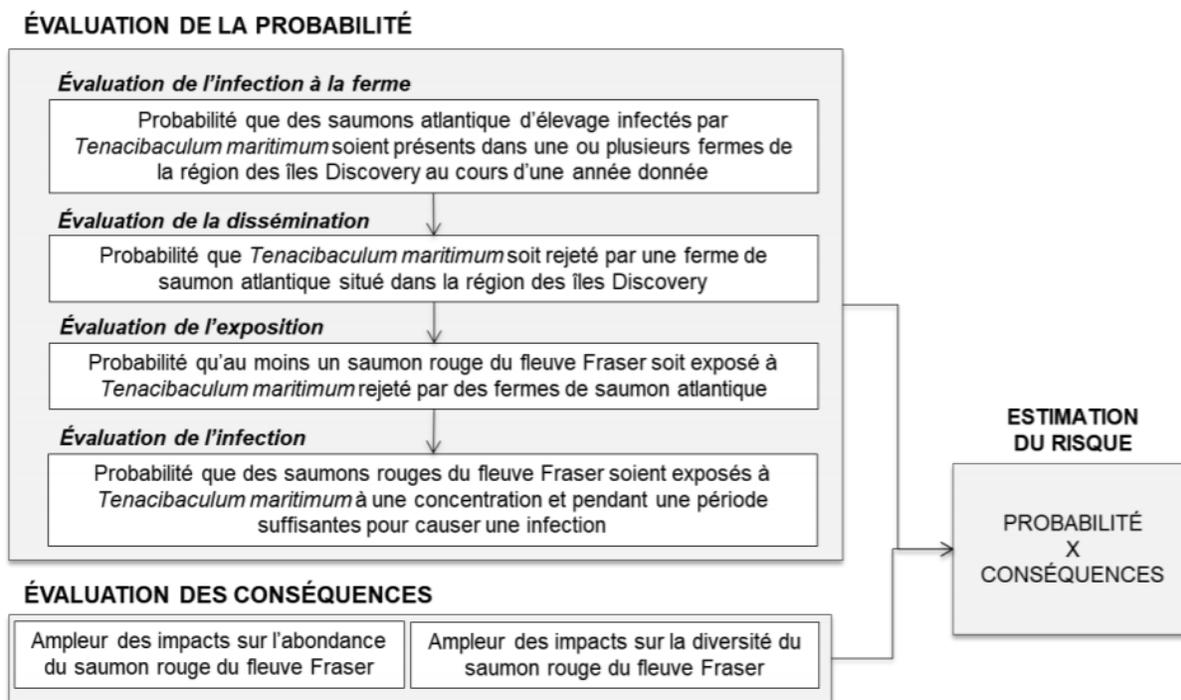


Figure 2. Modèle conceptuel d'évaluation du risque pour le saumon rouge du fleuve Fraser posé par la bactérie *Tenacibaculum maritimum* des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery. Adapté de Mimeault *et al.* (2017).

2.2.5.2 Terminologie

Les catégories et les définitions utilisées pour classer la probabilité (Tableau 2), les conséquences sur l'abondance (Tableau 3), les conséquences sur la diversité (Tableau 4), l'incertitude associée aux données et à l'information (Tableau 5) et l'incertitude associée à la gestion de la santé du poisson (Tableau 6) ont été tirées ou adaptées de Mimeault *et al.* (2017) et de Mimeault *et al.* (2019).

Tableau 2. Catégories et définitions utilisées pour décrire la probabilité d'un événement sur une période d'un an. « Extrêmement improbable » est la probabilité la plus faible et « extrêmement probable » la probabilité la plus élevée. Extrait de Mimeault et al. (2019).

Catégories	Définitions
Extrêmement probable	L'événement se produira/devrait se produire
Très probable	L'événement se produira dans la plupart des cas
Probable	L'événement se produira couramment
Improbable	L'événement pourrait se produire à l'occasion
Très improbable	L'événement pourrait se produire rarement
Extrêmement improbable	L'événement a peu ou pas de chance de se produire

Tableau 3. Catégories et définitions utilisées pour décrire les conséquences possibles sur l'abondance du saumon rouge du fleuve Fraser. Extrait de Mimeault et al. (2019).

Catégories	Définitions
Négligeables	Réduction de 0 à 1 % du nombre de saumons rouges adultes du fleuve Fraser qui reviennent frayer
Mineures	Réduction de >1 à 5 % du nombre de saumons rouges adultes du fleuve Fraser qui reviennent frayer
Modérées	Réduction de >5 à 10 % du nombre de saumons rouges adultes du fleuve Fraser qui reviennent frayer
Majeures	Réduction de >10 à 25 % du nombre de saumons rouges adultes du fleuve Fraser qui reviennent frayer
Graves	Réduction de >25 à 50 % du nombre de saumons rouges adultes du fleuve Fraser qui reviennent frayer
Extrêmes	Réduction de >50 % du nombre de saumons rouges adultes du fleuve Fraser qui reviennent frayer

Tableau 4. Catégories et définitions utilisées pour décrire les conséquences possibles sur la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser. UC : unité de conservation. Extrait de Mimeault et al. (2019).

Catégories	Définitions
Négligeables	Variation de 0 à 1 % de l'abondance sur une génération et aucune perte d'UC de saumon rouge du fleuve Fraser sur une génération
Mineures	Réduction de >1 à 10 % de l'abondance dans certaines UC qui n'entraînerait pas la perte d'une UC de saumon rouge du fleuve Fraser sur une génération
Modérées	Réduction de >1 à 10 % de l'abondance dans la plupart des UC qui n'entraînerait pas la perte d'une UC de saumon rouge du fleuve Fraser sur une génération; OU Réduction de >10 à 25 % de l'abondance dans une ou plusieurs UC qui n'entraînerait pas la perte d'une UC de saumon rouge du fleuve Fraser sur une génération
Majeures	Réduction de >25 % de l'abondance dans une ou plusieurs UC qui n'entraînerait pas la perte d'une UC de saumon rouge du fleuve Fraser sur une génération
Graves	Réduction de l'abondance qui entraînerait la perte d'une UC de saumon rouge du fleuve Fraser sur une génération
Extrêmes	Réduction de l'abondance qui entraînerait la perte de plus d'une UC de saumon rouge du fleuve Fraser sur une génération

Tableau 5. Catégories et définitions utilisées pour décrire le niveau d'incertitude associé aux données et à l'information. Adapté de Mimeault et al. (2019).

Catégories	Définitions
Incertitude élevée	<ul style="list-style-type: none"> • Aucune donnée ou données insuffisantes • Les données disponibles sont de mauvaise qualité • Très grande variabilité intrinsèque • Il n'y a pas de consensus dans les ouvrages scientifiques
Incertitude raisonnable	<ul style="list-style-type: none"> • Les données disponibles sont limitées, incomplètes ou seulement des données de substitution • Les données disponibles ne peuvent être présentées qu'avec des mises en garde importantes • Variabilité intrinsèque importante • Les ouvrages scientifiques ou les modèles arrivent à des conclusions différentes
Certitude raisonnable	<ul style="list-style-type: none"> • Les données disponibles sont abondantes, mais pas exhaustives • Les données disponibles sont solides • Faible variabilité intrinsèque • Les ouvrages scientifiques ou les modèles concordent généralement
Certitude élevée	<ul style="list-style-type: none"> • Les données disponibles sont abondantes et exhaustives • Les données disponibles sont solides, examinées par des pairs et publiées • Très faible variabilité intrinsèque • Les ouvrages scientifiques ou les modèles concordent

Tableau 6. Catégories et définitions utilisées pour décrire le niveau d'incertitude associé à la gestion de la santé du poisson. Les termes « quelques » et « la plupart » sont respectivement définis comme étant moins et plus de 50 % des données pertinentes. Adapté de Mimeault et al. (2019).

Catégories	Définitions
Incertain élevée	<ul style="list-style-type: none"> Aucune information recueillie dans le cadre des pratiques de gestion des fermes, précisée dans les plans de gestion de la santé des salmonidés, n'est disponible Écart entre l'information/les données obtenues des fermes et les vérifications des fermes pour toutes les fermes Pratiques volontaires dans les fermes Les opinions des professionnels de la santé du poisson varient considérablement
Incertain raisonnable	<ul style="list-style-type: none"> Quelques renseignements recueillis dans le cadre des pratiques de gestion des fermes, précisés dans les plans de gestion de la santé des salmonidés, sont disponibles Écart entre l'information/les données obtenues des fermes et les vérifications des fermes pour la plupart des fermes Pratique(s) volontaire(s) de l'entreprise Les professionnels de la santé du poisson arrivent à des conclusions différentes
Certitude raisonnable	<ul style="list-style-type: none"> La plupart des renseignements recueillis dans le cadre des pratiques de gestion des fermes, précisés dans les plans de gestion de la santé des salmonidés, sont disponibles Corroboration entre l'information/les données obtenues des fermes et les vérifications des fermes pour la plupart des fermes Pratique(s) volontaire(s) à l'échelle de l'industrie convenue(s) dans le cadre d'un protocole d'entente ou d'une certification par un tiers reconnu Les professionnels de la santé du poisson sont pour la plupart d'accord
Certitude élevée	<ul style="list-style-type: none"> Tous les renseignements recueillis dans le cadre des pratiques de gestion des fermes, précisés dans les plans de gestion de la santé des salmonidés, sont disponibles. Corroboration entre l'information/les données obtenues des fermes et les vérifications des fermes pour toutes les fermes Pratique(s) obligatoire(s) en vertu de la loi et certification par un tiers reconnu Les professionnels de la santé du poisson sont d'accord

2.2.5.3 Attribution des classements

L'attribution des classements s'est faite en plusieurs étapes et selon une approche structurée. Tout d'abord, le document (1) « Caractérisation de la bactérie *T. maritimum* et la pourriture de la bouche pour informer les évaluations des risques de transfert d'agents pathogènes en Colombie-Britannique » et (2) la présente évaluation du risque (sans attribution de classement) ont été transmis aux auteurs de l'évaluation du risque. Chaque auteur a classé individuellement chaque étape de l'évaluation du risque et attribué un niveau d'incertitude dans le cadre d'un sondage. Les résultats du classement et les justifications ont été discutés lors d'une réunion en personne et d'appels ultérieurs en vue de dégager le consensus inclus dans la présente évaluation du risque.

2.2.5.4 Règles de combinaison

Comme il est décrit dans Mimeault *et al.* (2017), la combinaison des probabilités diffère si les événements sont dépendants ou indépendants : « Un événement dépend du moment où son résultat est touché par un autre événement. Par exemple, l'infection ne peut se produire que si l'exposition a eu lieu; par conséquent, l'infection dépend de l'exposition. Les événements sont indépendants lorsque le résultat de l'un n'a pas d'incidence sur le résultat des autres; par

exemple, un agent pathogène peut être rejeté dans l’environnement par différentes voies de dissémination non reliées. » Les probabilités sont combinées selon les méthodologies acceptées dans les évaluations qualitatives des risques en adoptant la valeur la plus faible (p. ex., faible) pour les événements dépendants et la valeur la plus élevée (p. ex. élevée) pour les événements indépendants (Cox, 2008; Gale *et al.*, 2010; Cudmore *et al.*, 2012).

Le niveau d’incertitude doit être indiqué à chaque étape de l’évaluation du risque. Plusieurs approches ont été utilisées pour combiner les classements de l’incertitude qualitative dans les évaluations du risque. Certains auteurs mentionnent le niveau d’incertitude associé à chaque étape sans les combiner (Peeler et Thrush, 2009; Jones *et al.*, 2015), d’autres adoptent le plus haut niveau d’incertitude (Mandrak *et al.*, 2012), et d’autres encore utilisent le plus haut niveau d’incertitude associé à la plus faible probabilité pour les événements dépendants (Cudmore *et al.*, 2012). Dans la présente évaluation du risque, les niveaux d’incertitude ne sont pas combinés dans les évaluations de la probabilité globale et des conséquences en vue de maintenir l’accent sur l’incertitude associée à chaque étape.

2.2.5.5 Estimation du risque

Comme il est décrit dans Mimeault *et al.* (2017), deux matrices de risque ont été élaborées en collaboration avec les Secteurs des sciences des écosystèmes et des océans et de la gestion des écosystèmes et des pêches du MPO afin de catégoriser les estimations du risque pour l’abondance (Figure 3) et la diversité (Figure 4) du saumon rouge du fleuve Fraser. Elles sont alignées sur les échelles pertinentes des conséquences pour la gestion des pêches et les objectifs stratégiques, les politiques existantes et la tolérance au risque de la gestion actuelle pertinente pour les évaluations du risque.

Probabilité	Extrêmement probable						
	Très probable						
	Probable						
	Improbable						
	Très improbable						
	Extrêmement improbable						
		Négligeables	Mineures	Modérées	Majeures	Graves	Extrêmes
Conséquences sur l’abondance du saumon rouge du fleuve Fraser							

Figure 3. Matrice de risques pour combiner les résultats de l’évaluation de la probabilité et des conséquences sur l’abondance du saumon rouge du fleuve Fraser. Les couleurs vert, jaune et rouge représentent respectivement un risque minimal, modéré et élevé. Adapté de Mimeault *et al.* (2017).

Probabilité	Extrêmement probable						
	Très probable						
	Probable						
	Improbable						
	Très improbable						
	Extrêmement improbable						
		Négligeables	Mineures	Modérées	Majeures	Graves	Extrêmes
Conséquences sur la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser							

Figure 4. Matrice de risques pour combiner les résultats de l'évaluation de la probabilité et des conséquences sur la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser. Les couleurs vert, jaune et rouge représentent respectivement un risque minimal, modéré et élevé. Adapté de Mimeault et al. (2017).

2.3 SOURCES DE DONNÉES SUR LA SANTÉ DU POISSON

La présente évaluation des risques repose sur l'état actuel des connaissances relatives à *T. maritimum*, tel qu'il est résumé dans Wade et Weber (2020). Les données sur la santé du poisson des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery utilisées pour éclairer la présente évaluation proviennent de quatre sources différentes, résumées ci-dessous. Reportez-vous à la section 3 pour les résumés des détections de *T. maritimum* et des diagnostics de pourriture de la bouche dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery.

2.3.1 Industrie

L'industrie a fourni les observations formulées par le personnel chargé de la santé du poisson lors de visites sur place pour des vérifications de santé de routine, des enquêtes sur des taux de mortalité élevés, des événements liés à la santé des poissons et des projets menés dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery entre 2011 et 2018 afin de guider la présente évaluation du risque relatif au transfert d'agents pathogènes.

2.3.2 Programme de vérification et de surveillance de la santé des poissons

On prélève des échantillons de poissons morts récemment dans le cadre du Programme de vérification et de surveillance de la santé des poissons (PVSSP) afin de vérifier la surveillance de routine et la déclaration des maladies par les fermes (Wade, 2017). Le MPO vise à vérifier 30 fermes choisies au hasard par trimestre ou 120 fermes par année (Wade, 2017). Au cours d'une vérification, un maximum de 30 poissons frais sont sélectionnés pour les analyses histopathologiques et bactériologiques et le diagnostic ou la virologie moléculaire, bien que dans la plupart des cas, l'échantillon soit composé de huit poissons frais (Wade, 2017). Les vétérinaires du MPO fournissent des diagnostics à l'échelle de la ferme en fonction d'une combinaison des antécédents d'élevage, des antécédents de traitement, des facteurs environnementaux, des dossiers de mortalité, des présentations cliniques à la ferme et des résultats des procédures de diagnostic effectuées sur différents poissons (MPO, 2019c).

Les données des vérifications ont été compilées à partir des données du ministère de l'Agriculture et des Terres de la Colombie-Britannique (2002-2010) et des données du MPO (2011-2018) disponibles sur le site Web Données ouvertes (MPO, 2019c). Le téléchargement a été effectué le 29 mai 2019.

2.3.3 Événements liés à la santé des poissons

Les événements liés à la santé des poissons (ESP) sont signalés au MPO par l'industrie. MPO (2015) définit un ESP comme une « éclosion de maladie, soupçonnée ou déclarée, dans une installation d'aquaculture qui nécessite l'intervention d'un vétérinaire et toutes mesures d'atténuation pour réduire l'incidence et le risque associé à l'événement ». Lorsqu'un ESP survient, le titulaire de permis doit envoyer un avis au Ministère dans les sept jours suivant l'amorce de l'atténuation, prendre des mesures immédiates pour gérer l'ESP, prendre des mesures de suivi pour évaluer l'ESP et l'efficacité des mesures d'atténuation, et soumettre les mesures de gestion thérapeutique au Ministère (MPO, 2015).

La déclaration des ESP est requise depuis l'automne 2002, à l'exception de 2013, 2014 et des trois premiers trimestres de 2015, durant lesquels les mortalités devaient être déclarées par cause (Wade, 2017). Pendant cette période, des entreprises ont volontairement déclaré des ESP à la BC Salmon Farmers Association (BCSFA), même si aucune exigence ne prescrivait de communiquer ces renseignements au MPO. La BCSFA a communiqué les ESP survenus dans des fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery au cours de cette période afin de contribuer à la présente évaluation.

Les données sur les ESP de 2002 à 2010 sont disponibles sur le site Web de la [BC Salmon Farmers Association](#) (BCSFA); les données de 2011-2012 proviennent de la Division de la gestion de l'aquaculture; les données de 2013-2015 pour les fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery ont été fournies par la BCSFA, car l'industrie n'était pas tenue de déclarer les cas de 2013 à 2015 (T1) (Wade, 2017)]; et les données de 2016-2018 sont disponibles sur le site du gouvernement ouvert (MPO, 2019b) qui ont été téléchargées le 6 juin 2019. Tous les événements liés à la santé des poissons attribués à ce qui suit dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery ont été compilés dans le présent document comme des événements de santé des poissons attribuables à la pourriture de la bouche : stomatite bactérienne, stomatite/ulcères bactériens, stomatite infectieuse, pourriture de la bouche, *T. maritimum*, infection myxobactérienne, *Cytophaga-Flexibacter-Flavobacterium*-myxobactérie, *Flexibacter* sp.

2.3.4 Épisodes de mortalité

Le document MPO (2015) définit un épisode de mortalité comme étant : « a) une mortalité de poissons équivalant à 4 000 kg ou plus, ou des pertes atteignant 2 % de l'inventaire actuel d'établissement en 24 heures; ou b) une mortalité de poissons équivalant à 10 000 kg ou plus, ou des pertes atteignant 5 %, en cinq jours. » Selon les conditions de permis, tout épisode de mortalité doit être signalé au MPO au plus tard 24 heures après la découverte, avec les détails précisés dans le permis (MPO, 2015).

La déclaration des événements de mortalité était obligatoire entre 2002 et 2010, mais les renseignements et les rapports connexes ne sont pas disponibles; les données de 2011 à 2018 sont disponibles sur le site Web Données ouvertes (MPO, 2019a). Le téléchargement a été effectué le 29 mai 2019.

2.4 EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES

2.4.1 Délivrance de permis et biosécurité

Le MPO est le principal responsable de la réglementation et de la gestion de l'aquaculture en Colombie-Britannique depuis décembre 2010, aux termes du *Règlement du Pacifique sur l'aquaculture* (RPA) pris en vertu de la *Loi sur les pêches*. Il est donc responsable de la

délivrance des permis d'aquaculture pour les poissons de mer, les mollusques et crustacés et les poissons d'eau douce en Colombie-Britannique.

Chaque ferme d'élevage en Colombie-Britannique doit détenir un permis d'aquaculture de poissons à nageoires en vertu du RPA, qui comprend l'exigence d'un plan de gestion de la santé des salmonidés (PGSS) et des procédures opérationnelles normalisées (PON) exclusives correspondantes (MPO, 2015). Le PGSS décrit les concepts sanitaires et les éléments requis associés à un permis d'aquaculture de poissons à nageoires, tandis que les PON connexes décrivent en détail les procédures à suivre pour aborder les différents concepts du PGSS, y compris la surveillance de la santé et des maladies des poissons (MPO, 2015; Wade, 2017).

Le PGSS comprend des exigences liées à « l'exclusion des agents pathogènes » (article 2.5 du PGSS), notamment la nécessité de prendre des précautions particulières pour éviter le stress indu du poisson et la transmission des agents pathogènes.

2.4.2 Comité des introductions et des transferts

C'est le MPO qui accorde les permis d'introduction et de transfert en vertu de l'article 56 du *Règlement de pêche* (dispositions générales). Le Comité des introductions et des transferts évalue les effets sur la santé, la génétique et l'écologie que pourrait avoir le transfert de poissons vers la province et à l'intérieur de celle-ci. Un permis d'introduction et de transfert en vertu de l'article 56 est exigé pour tous les déplacements de saumon entre des installations d'aquaculture agréées (DFO, 2018).

En ce qui concerne l'industrie aquacole, le comité évalue la santé des poissons à transférer, ce qui comprend les maladies et les agents causaux préoccupants à l'échelle régionale, nationale ou internationale énumérés à l'annexe III¹ du permis d'aquaculture de poissons marins délivré en vertu de la *Loi sur les pêches*, en plus de toute autre maladie ou indication de mauvais état de santé déterminée par les spécialistes de la santé des poissons qui siègent au Comité des introductions et des transferts, notamment les signes cliniques de la pourriture de la bouche.

Pour chaque demande de transfert liée à l'aquaculture de poissons marins, les rapports sur la santé du poisson et les dossiers d'élevage sont examinés par le personnel de la Division de la gestion de l'aquaculture avant le transfert. Si des signes cliniques de maladie sont observés ou s'il y a d'autres préoccupations, le comité peut demander des éclaircissements, d'autres diagnostics ou des renseignements supplémentaires au demandeur, exiger des mesures d'atténuation pour répondre aux préoccupations ou recommander que le permis de transfert ne soit pas délivré. Dans le cas de la pourriture de la bouche, le Comité des introductions et des transferts peut recommander que la ferme en question traite la maladie à l'installation d'origine ou de destination, fasse l'objet d'une surveillance et d'une déclaration renforcées ou recommander que le transfert soit reporté jusqu'à ce que l'infection se résolve.

¹ En 2018, les maladies préoccupantes à l'échelle régionale, nationale ou internationale énumérées dans le permis d'aquaculture de poissons marins délivré en vertu de la *Loi sur les pêches* sont la nécrose hématopoïétique infectieuse (NHI) et le virus de la nécrose hématopoïétique infectieuse; la nécrose pancréatique infectieuse (NPI) et le virus de la nécrose pancréatique infectieuse; la septicémie hémorragique virale (SHV) et le virus de la septicémie hémorragique virale; l'anémie infectieuse du saumon (AIS) et le virus de l'anémie infectieuse du saumon; l'herpès-virose de l'*Oncorhynchus masou* (MVO) et le virus de l'*Oncorhynchus masou*; la maladie du tournis et *Myxobolus cerebralis*; la vibriose en eau froide et *Vibrio salmonicida*; et tout agent de réplification filtrable susceptible de causer des effets cytopathologiques dans les cultures cellulaires du poisson indiquées par le ministre ou qui est un facteur de causalité de maladies cliniques identifiables chez le poisson.

2.5 PRATIQUES DE L'INDUSTRIE

À partir du début de 2020, les entreprises qui élèvent du saumon atlantique sur des sites marins dans la région des îles Discovery sont Cermaq Canada, Grieg Seafood et Mowi Canada West (anciennement Marine Harvest Canada).

2.5.1 Pratiques de gestion de la santé du poisson

Wade (2017) a passé en revue toutes les pratiques communes de gestion de la santé dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la Colombie-Britannique. Une brève description des pratiques les plus pertinentes pour notre évaluation du risque est présentée dans cette section.

Comme il est indiqué dans la section 2.4.1, le PGSS exige des procédures pour la collecte, la catégorisation, la consignation, l'entreposage et l'élimination des carcasses de poisson (MPO, 2015). Plus précisément, des procédures doivent être en place concernant l'enlèvement régulier des carcasses en vue de les entreposer dans des conteneurs prévus à cet effet; la déclaration de la mortalité, par catégorie, au MPO; l'entreposage des carcasses dans un endroit sûr jusqu'à leur transfert vers des installations terrestres en vue d'empêcher des fuites du contenu dans les eaux réceptrices; le transfert sécuritaire des carcasses entreposées vers des installations terrestres; des méthodes de désinfection des contenants d'entreposage, de l'équipement et des autres installations ou navires utilisés pour la manipulation (MPO, 2015). Le PGSS exige également une procédure opérationnelle normalisée (PON) pour les éclosions de maladies du poisson ou les situations d'urgence, une éclosion étant définie comme un « épisode inattendu de mortalité ou de maladie » (MPO, 2015).

À part d'indiquer si une PON est requise, le MPO ne prescrit pas comment les éléments du PGSS devraient être réalisés. Il revient donc à l'entreprise d'aborder les concepts à la satisfaction de l'ichtyopathologiste du MPO (Wade, 2017). Par conséquent, on suppose que, pour les entreprises qui ont un permis d'aquaculture de poissons à nageoires valide, les PON présentées sont conformes aux conditions du permis et approuvées par l'ichtyopathologiste du MPO (Wade, 2017).

Des protocoles sont en place concernant la manipulation et l'entreposage des poissons morts; l'étiquetage, le nettoyage, la désinfection et l'entreposage des engins utilisés pour manipuler les poissons morts; la restriction des visiteurs, qui doivent obtenir une autorisation avant d'arriver sur le site; le contrôle des visiteurs sur place au moyen de panneaux, de bains de pieds et de vêtements de protection propres au site; les procédures de lavage des filets, le fait de ne pas partager l'équipement lorsque c'est possible, le nettoyage et la désinfection de l'équipement après utilisation et l'entreposage à sec dans un endroit approprié; le nettoyage, la désinfection et le transfert entre site de tout gros équipement submergé; les mesures de biosécurité pour contrôler le déplacement des navires (Wade, 2017).

La conformité aux éléments ci-dessus est déterminée dans le cadre du PVSSP. En moyenne, moins d'un manquement a été relevé par vérification dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la Colombie-Britannique entre 2011 et 2017 (Wade, 2017; Mimeault *et al.*, 2019). La plupart des manquements signalés au cours de cette période étaient liés aux protocoles et dossiers relatifs au pou du poisson, à l'amélioration nécessaire du protocole de récupération des carcasses ou de la tenue de dossiers, à l'amélioration nécessaire de la signalisation d'amarrage et aux dossiers de transfert qui n'étaient pas complets.

2.5.2 Surveillance et analyses

Chaque site de production marine empoissonné est surveillé quotidiennement par du personnel formé sur place au cours de laquelle les poissons morts sont retirés et classés. Le personnel

est tenu d'aviser le vétérinaire de l'entreprise s'il y a des préoccupations. De plus, toutes les entreprises procèdent régulièrement à des vérifications de santé de routine au cours desquelles on examine les cas de mortalité récents en vue de déceler des signes de maladie ou de condition anormale et on prélève des échantillons pour dépister des agents pathogènes, au besoin, en fonction de la surveillance syndromique, de l'historique du site, des conditions environnementales et du jugement professionnel du vétérinaire et de l'équipe chargée de la santé du poisson.

Les diagnostics de la pourriture de la bouche dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery sont principalement fondés sur des signes cliniques; les tests de dépistage de *T. maritimum* ne font pas partie des examens de routine pratiqués par l'industrie.

2.5.3 Pratiques d'empoissonnement dans la région des îles Discovery

Dans la région des îles Discovery, les saumoneaux ne sont pas transférés directement des écloséries en eau douce aux sites marins en raison du risque d'infection par *Kudoa* sp., un parasite des poissons marins (Wade, 2017), sauf à l'île Raza, où *Kudoa* sp. n'a pas été un problème (D. New, Cermaq Canada, 203-919 Island Highway, Campbell River, C.-B., Canada V9W 2C2, comm. pers., 2018).

3 ÉVALUATION DE LA PROBABILITÉ

L'évaluation de la probabilité détermine la probabilité globale, pour une année donnée, que le saumon rouge du fleuve Fraser soit infecté par *T. maritimum* attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery. Chaque étape de l'évaluation de la probabilité suppose que les pratiques de gestion actuelles des fermes d'élevage de saumon atlantique sont suivies et maintenues.

3.1 ÉVALUATION DE L'INFECTION À LA FERME

3.1.1 Question

Pour une année donnée, quelle est la probabilité que des saumons atlantiques d'élevage infectés par *T. maritimum* soient présents dans une ou plusieurs fermes d'élevage de la région des îles Discovery?

3.1.2 Considérations

Les éléments à considérer comprennent la preuve de l'occurrence de *T. maritimum* dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery, et les pratiques de l'industrie propres à la prévention et au contrôle de la pourriture de la bouche.

3.1.2.1 *Tenacibaculum maritimum* dans des fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery.

Les détections de *Tenacibaculum maritimum* et les diagnostics de pourriture de la bouche dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery ont été compilés à partir des sources de données énumérées à la section 2.3.

Étant donné que l'industrie et le PVSSP n'effectuent pas de dépistage précis de *T. maritimum*, des données de diagnostic de pourriture de la bouche selon les signes cliniques et la visualisation de bactéries filamenteuses par histopathologie plutôt que par détection ou isolement de *T. maritimum* sont présentées. Aux fins de la présente évaluation des risques,

tous les diagnostics de pourriture de la bouche à la ferme sont présumés indiquer une infection à *T. maritimum*.

3.1.2.1.1 Industrie

Les tests de détection de *T. maritimum* ne font pas partie du dépistage systématique, de sorte qu'aucune détection n'a été signalée dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery entre 2011 et 2018.

3.1.2.1.2 Programme de vérification et de surveillance de la santé du poisson

Dans le cadre du PVSSP, la pourriture de la bouche est diagnostiquée chez une population de saumon atlantique d'élevage lorsque le site subit un traitement pour la maladie, ou si une mortalité à l'échelle de la population est attribuable à la maladie avec des lésions pathologiques et histopathologiques cliniques compatibles avec la maladie; la pathologie clinique caractéristique prend la forme de plaques jaunes dans la bouche, sur les branchiospines ou sur le palais, alors que l'histopathologie caractéristique est une stomatite ulcéreuse avec visualisation de bactéries filamenteuses (compatibles avec *Tenacibaculum* sp.) (Wade et Weber, 2020)].

La pourriture de la bouche a été diagnostiquée à l'échelle de fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery lors de 7 années sur 17 (Tableau 7).

3.1.2.1.3 Événements liés à la santé des poissons

Les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery ont rapporté un total de 112 ESP² attribués à la pourriture de la bouche. Globalement, des ESP attribués à la pourriture de la bouche ont été déclarés lors de 12 années sur 17 (Tableau 7).

3.1.2.1.4 Épisodes de mortalité

Aucun épisode de mortalité attribué à la pourriture de la bouche, ou toute autre maladie infectieuse, n'a été déclaré dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery entre 2011 et 2018 (MPO, 2019a).

3.1.2.1.5 Résumé

Le Tableau 7 résume toutes les observations de signes cliniques de pourriture de la bouche dans des fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery par année, de 2002 à 2018.

Globalement, entre 2002 et 2018, la pourriture de la bouche a été signalée dans au moins une ferme d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery lors de 13 années sur 17.

² Un total de 119 ESP attribués à la pourriture de la bouche ont été déclarés dans des fermes d'élevage de saumon atlantique de la zone de surveillance de la santé des poissons 3.2 entre 2002 et 2018 (Wade et Weber 2020), dont seulement 100 survenus dans des fermes visées par la présente évaluation des risques (liste des fermes dans le Tableau 1). Pour compléter la présente évaluation des risques, l'industrie et la BCSFA ont déclaré 12 ESP supplémentaires attribués à la pourriture de la bouche dans la région des îles Discovery entre 2013 et 2015, alors que les ESP n'avaient pas à être déclarés au MPO, pour un total de 112 ESP dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery inclus dans la présente évaluation des risques.

Tableau 7. Nombre de fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery avec des observations de pourriture de la bouche; sommaire par année. Les données comprennent celles du programme de vérification et de surveillance de la santé des poissons (PVSSP) [2002-2018], les événements liés à la santé des poissons (ESP) [2002-2018] et les épisodes de mortalité [2011-2018] signalés par l'industrie au MPO. S. O. : sans objet. Les mois avec des observations de la bactérie *Tenacibaculum maritimum* ou de pourriture de la bouche sont indiqués en caractères gras et ombragés pour plus de clarté.

Année	Fermes d'élevage actives	Données du PVSSP	Déclaré par l'industrie	
		Nombre de fermes d'élevage avec diagnostics de pourriture de la bouche à l'échelle de la ferme/nombre total de fermes vérifiées	Nombre de fermes d'élevage avec des ESP attribués à la pourriture de la bouche	Nombre de fermes d'élevage avec des épisodes de mortalité attribués à la pourriture de la bouche
2002	S. O.	0/3	0	S. O.
2003	S. O.	0/4	0	S. O.
2004	14	0/9	4	S. O.
2005	15	1/10	5	S. O.
2006	16	0/11	5	S. O.
2007	16	6/12	8	S. O.
2008	17	2/14	2	S. O.
2009	18	3/14	6	S. O.
2010	16	0/4	5	S. O.
2011	17	0/7	3	0
2012	13	0/12	0	0
2013	8	0/7	2	0
2014	10	1/8	2	0
2015	10	1/9	0	0
2016	11	0/11	0	0
2017	12	0/9	3	0
2018	10	1/9	1	0

3.1.2.2 Mesures de prévention et de contrôle

En plus des pratiques de l'industrie décrites à la section 2.5, les entreprises piscicoles administrent des traitements contre la pourriture de la bouche dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery.

3.1.2.2.1 Vaccins

À l'heure actuelle, il n'existe aucun vaccin disponible sur le marché pour *T. maritimum* chez le saumon atlantique (Frisch *et al.*, 2018b).

3.1.2.2.2 Traitement

Dans le cas du saumon atlantique élevé en Colombie-Britannique, des antibiotiques ont traditionnellement été prescrits pour le traitement des bactéries gram-négatives causant la furonculose, la vibriose, la maladie de la bouche rouge et la stomatite (Morrison et Saksida, 2013). Les entreprises actives de production de saumon atlantique dans la région des îles Discovery appliquent des traitements antibiotiques lorsque les premiers cas de pourriture de la bouche sont diagnostiqués dans leurs fermes d'élevage. Le traitement est très efficace et réduit les mortalités associées (et les nouveaux cas de la maladie) dans un délai de deux à trois jours

(B. Boyce, Mowi, 124-1334 Island Highway, Campbell River, C.-B. V9W 8C9 comm. pers., 2019; T. Hewison et P. Whittaker, Grieg Seafood, 1180 Ironwood St, Campbell River, C.-B. V9W 5P7, comm. pers., 2019).

3.1.3 Hypothèse

- Tous les diagnostics de pourriture de la bouche constituent des preuves d'infection à *T. maritimum*.

3.1.4 Probabilité d'infection à la ferme

Le Tableau 8 présente les principaux facteurs contributifs et limitatifs de la probabilité d'une infection à *T. maritimum* dans une ferme d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery. Ces facteurs ont servi à déterminer les cotes de probabilité et d'incertitude d'après les définitions des Tableau 2, Tableau 5 et Tableau 6.

Tableau 8. Facteurs contributifs et limitatifs de la probabilité de la présence d'une infection du saumon atlantique d'élevage par Tenacibaculum maritimum dans une ou plusieurs fermes d'élevage de la région des îles Discovery selon les pratiques d'élevage actuelles.

Facteurs contributifs	Facteurs limitatifs
<ul style="list-style-type: none">• Entre 2002 et 2018, la pourriture de la bouche a été signalée dans au moins une ferme d'élevage de saumon atlantique lors de 13 années sur 17.• Il n'existe aucun vaccin disponible sur le marché pour <i>T. maritimum</i> chez le saumon atlantique.	<ul style="list-style-type: none">• Le plan de gestion de la santé des salmonidés comprend des exigences visant à minimiser le stress pendant le transfert, la manutention et la récolte (DFO, 2020).

Nous avons conclu que pour une année donnée, la probabilité que des saumons atlantiques d'élevage infectés par *T. maritimum* soient présents dans une ou plusieurs fermes d'élevage de la région des îles Discovery est **très probable** selon les pratiques d'élevage actuelles, compte tenu des preuves de présence de *T. maritimum* dans un moins une ferme d'élevage lors de 13 années sur 17 (2002-2018). Cette conclusion a été tirée avec une **certitude raisonnable** étant donné que les preuves reposent sur les signes cliniques de pourriture de la bouche des rapports du PVSSP et des ESP (données abondantes et robustes) et sur une faible variabilité intrinsèque des données.

3.2 ÉVALUATION DE LA DISSÉMINATION

3.2.1 Question

En présumant de la présence de saumon atlantique infecté au *T. maritimum*, quelle est la probabilité que *T. maritimum* soit disséminé à partir d'une ferme d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery dans un environnement accessible au saumon rouge du fleuve Fraser?

3.2.2 Considérations

Deux voies sont prises en considération dans l'évaluation de la dissémination : 1) saumon atlantique d'élevage infecté, et 2) vecteurs mécaniques et vecteurs passifs. Cette dernière voie comprend les organismes vivants (p. ex. poux de saumon, méduses) et les objets inanimés

(p. ex. filet contaminé) qui peuvent héberger, transmettre et disséminer la bactérie des fermes d'élevage dans la colonne d'eau environnante.

Parmi les facteurs à considérer, mentionnons la méthode d'élevage du saumon atlantique dans la région des îles Discovery; la transmission et l'excrétion de *T. maritimum* à partir de poissons infectés; la nature adhésive de *T. maritimum*; et les pratiques de gestion de la santé du poisson.

3.2.2.1 Méthode d'élevage du saumon atlantique

Le saumon atlantique élevé en site marin de la région des îles Discovery est confiné dans des parcs en filet. Dans de telles conditions, l'eau circule librement dans les parcs et il n'y a aucun obstacle aux échanges d'agents pathogènes entre les parcs en filet et l'environnement immédiat (Johansen *et al.*, 2011).

3.2.2.2 Transmission et excrétion de *Tenacibaculum maritimum*

Frisch *et al.* (2018a) ont démontré une transmission horizontale de trois isolats de *T. maritimum* dans l'Ouest canadien (TmarCan15-1, TmarCan16-1 et TmarCan16-5) parmi des saumoneaux atlantique norvégiens dans un essai de cohabitation.

Bien que la transmission horizontale dans les essais de cohabitation puisse fournir des preuves de l'excrétion de l'agent causal, à ce jour, ni le moment de l'excrétion pendant l'infection ni le taux d'excrétion du poisson infecté par *T. maritimum* n'ont été décrits (Wade et Weber, 2020).

3.2.2.3 Nature adhésive de *Tenacibaculum maritimum*

Tenacibaculum maritimum est adhésif et peut créer des biofilms sur les surfaces dures (Declercq *et al.*, 2013; Frisch *et al.*, 2017; Frisch *et al.*, 2018a; Frisch *et al.*, 2018b). La bactérie produit d'importantes quantités de substance visqueuse lui permettant d'adhérer à des surfaces hydrophobes, ce qui peut expliquer pourquoi elle peut adhérer à des tissus externes du poisson (Avenidaño-Herrera *et al.*, 2006b). La cinétique de diverses souches de *T. maritimum* testées, dont aucune de la Colombie-Britannique, laisse supposer que les surfaces inertes d'un milieu d'aquaculture peuvent abriter des biofilms et servir de réservoirs transitoires pour les bactéries (Levipan *et al.*, 2019).

3.2.2.4 Pratiques de gestion de la santé du poisson

Les exigences législatives et réglementaires liées à la gestion de la santé du poisson et les pratiques supplémentaires mises en œuvre par l'industrie de l'élevage de saumon atlantique en Colombie-Britannique, y compris dans la région des îles Discovery, ont été examinées (Wade, 2017) et résumées aux sections 2.4 et 2.5.

La conformité aux éléments susmentionnés est déterminée dans le cadre du programme de vérification. En moyenne, moins d'une lacune a été signalée par vérification dans les fermes d'élevage de saumon atlantique en Colombie-Britannique entre 2011 et 2017 (Wade, 2017; Mimeault *et al.*, 2019). La plupart des lacunes signalées au cours de cette période étaient liées aux protocoles relatifs aux poux de mer et aux dossiers sur les poux de mer; au protocole de récupération des carcasses ou à la tenue des dossiers à améliorer; à la signalisation d'amarrage à améliorer; et à des dossiers de transfert incomplets.

3.2.3 Hypothèses

- Le saumon atlantique infecté par *T. maritimum* est présent sur au moins une ferme d'élevage.

- Les mesures générales de biosécurité et de bioconfinement mises en œuvre par l'industrie sont efficaces contre *T. maritimum*.

3.2.4 Probabilité de dissémination

Le Tableau 9 présente les principaux facteurs contributifs et limitatifs de la probabilité d'une dissémination de *T. maritimum* depuis une ferme d'élevage de saumon atlantique infectée de la région des îles Discovery. Ces facteurs ont servi à déterminer les cotes de probabilité et d'incertitude d'après les définitions des Tableau 2, Tableau 5 et Tableau 6.

Tableau 9. Facteurs contributifs et limitatifs de la probabilité d'une quelconque dissémination de *Tenacibaculum maritimum* depuis une ferme d'élevage de saumon atlantique infectée de la région des îles Discovery dans un environnement accessible au saumon rouge du fleuve Fraser, selon les pratiques d'élevage actuelles.

Facteurs contributifs	Facteurs limitatifs
Saumon atlantique d'élevage infecté	
<ul style="list-style-type: none"> • La transmission horizontale de <i>T. maritimum</i> a été démontrée dans des essais de cohabitation. • Le saumon atlantique dans la région des îles Discovery est élevé en parcs en filet, ce qui permet la dissémination d'agents pathogènes, y compris <i>T. maritimum</i>, de la ferme à l'environnement immédiat. • Il n'existe aucun vaccin disponible sur le marché pour <i>T. maritimum</i> chez le saumon atlantique. 	<ul style="list-style-type: none"> • Retrait des poissons moribonds et morts des cages/fermes touchées. • Des mesures de contrôle et des traitements de la pourriture de la bouche sont en place.
Vecteurs mécaniques et vecteurs passifs	
<ul style="list-style-type: none"> • <i>T. maritimum</i> produit d'importantes quantités de substance visqueuse lui permettant d'adhérer à des surfaces hydrophobes, et peut créer des biofilms sur des surfaces dures (p. ex. dans les fermes). • <i>T. maritimum</i> a été détecté chez des poux marins (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>) et des méduses. • La faune, les engins et l'équipement peuvent servir de vecteurs mécaniques ou passifs. 	<ul style="list-style-type: none"> • Des protocoles de biosécurité et de bioconfinement sont en place pour minimiser la propagation des agents pathogènes sur les vecteurs mécaniques et passifs infectés (voir la section 2.5.1). • En moyenne, moins d'une lacune a été signalée par vérification dans les fermes d'élevage de saumon atlantique en Colombie-Britannique entre 2011 et 2017.

3.2.4.1 Dissémination par le saumon atlantique d'élevage infecté

Nous avons conclu que la probabilité de dissémination de *T. maritimum* depuis une ferme d'élevage de saumon atlantique infectée de la région des îles Discovery dans un environnement accessible au saumon rouge du fleuve Fraser par l'intermédiaire d'un saumon atlantique d'élevage infecté est **extrêmement probable** selon les pratiques d'élevage actuelles, en raison

des preuves de transmission horizontale en conditions de laboratoire. Cette conclusion a été tirée avec une **certitude élevée** en fonction d'un certain nombre d'essais de cohabitation (dont l'un sur des isolats de la Colombie-Britannique), montrant que *T. maritimum* se transmet du poisson infecté au poisson cohabitant naïf par l'eau.

3.2.4.2 Dissémination par vecteurs mécaniques et passifs

Nous avons conclu que la probabilité de dissémination de *T. maritimum* depuis une ferme d'élevage de saumon atlantique infectée de la région des îles Discovery dans un environnement accessible aux populations de poisson sauvage par l'intermédiaire de vecteurs mécaniques ou passifs est **probable** selon les pratiques d'élevage actuelles. En effet, malgré la présence de mesures efficaces de biosécurité et de bioconfinement, et le faible niveau des lacunes opérationnelles susceptibles d'affecter la santé du poisson dans les fermes d'élevage de saumon atlantique, *T. maritimum* peut former des biofilms et adhérer à des structures. Cette conclusion a été tirée avec une **incertitude raisonnable** étant donné que des pratiques de biosécurité pertinentes font partie du plan de gestion de la santé des salmonidés et par conséquent des exigences de permis, mais que les rôles potentiels des vecteurs mécaniques et passifs dans la dissémination de la bactérie ne sont pas bien compris.

3.2.4.3 Probabilité globale de dissémination

Nous avons déterminé la probabilité globale de dissémination en adoptant la plus forte probabilité parmi les voies de dissémination. Il est donc **extrêmement probable** que *T. maritimum* se dissémine à partir d'une ferme d'élevage de saumon atlantique infectée.

3.3 ÉVALUATION DE L'EXPOSITION

3.3.1 Question

En présumant une dissémination de *T. maritimum* depuis au moins une ferme d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery, quelle est la probabilité qu'au moins un saumon rouge du fleuve Fraser soit exposé à *T. maritimum* au cours d'une année donnée?

3.3.2 Considérations

L'évaluation de l'exposition consiste à déterminer la coïncidence spatiale et temporelle de l'agent pathogène libéré et d'espèces vulnérables (Taranger *et al.*, 2015).

Les facteurs à considérer comprennent le moment où le saumon rouge du fleuve Fraser se trouve dans la région des îles Discovery; la présence de pourriture de la bouche dans les fermes d'élevage de saumon atlantique; le chevauchement temporel entre les présences de pourriture de la bouche et de saumon rouge du fleuve Fraser dans la région des îles Discovery; la taille et le volume relatifs des fermes d'élevage de saumon atlantique; la survie de *T. maritimum* dans le milieu marin; et les conditions océanographiques et environnementales.

3.3.2.1 Moment où le saumon rouge du fleuve Fraser se trouve dans la région des îles Discovery

3.3.2.1.1 Juvéniles en migration sortante

Le saumon rouge juvénile de type lacustre du fleuve Fraser migre chaque année en passant par la région des îles Discovery de la mi-mai à la mi-juillet, avec un sommet migratoire en juin (Neville *et al.*, 2016; Freshwater *et al.*, 2019) [revu par Grant *et al.* (2018)]. Le nombre total de juvéniles en migration sortante du fleuve Fraser est inconnu (Grant *et al.*, 2018). La seule

estimation de l'abondance se limite aux stocks du lac Chilko (Grant *et al.*, 2018) d'après les saumoneaux comptés à une barrière de dénombrement à la décharge du lac. Entre 1953 et 2007, les estimations annuelles allaient de 1,6 à 77 millions (moyenne : 20 millions) (Grant *et al.*, 2018)].

3.3.2.1.2 Adultes en montaison

Le saumon rouge retourne au fleuve Fraser soit par la route nord (détroit de Johnstone), soit par la route sud (détroit de Juan de Fuca), habituellement entre juin et octobre [revu par Grant *et al.* (2018)]. Entre 1980 et 2014, le total de montaisons de saumons rouges adultes du fleuve Fraser a oscillé entre 2 et 28 millions, avec une moyenne annuelle de 9,6 millions (Grant *et al.*, 2018).

3.3.2.2 Présence de pourriture de la bouche dans les fermes de saumon atlantique

Le Tableau 10 résume par mois les diagnostics de pourriture de la bouche dans des fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery.

Entre 2002 et 2018, la pourriture de la bouche a été diagnostiquée à l'échelle de la ferme par l'entremise du PVSSP dans au moins une ferme d'élevage en neuf mois, et la pourriture de la bouche a été attribuée à un ESP dans au moins une ferme d'élevage chaque mois de l'année.

Globalement, entre 2002 et 2018, la pourriture de la bouche a été signalée dans au moins une ferme d'élevage de saumon atlantique au moins une fois par mois (Tableau 10 et Tableau 11).

Tableau 10. Résumé de la preuve de chevauchement temporel entre la présence du saumon rouge du fleuve Fraser et les occurrences de pourriture de la bouche dans des fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery. Un « X » dénote la présence de saumon rouge du fleuve Fraser lors d'un mois donné. Les données comprennent les résultats mensuels (additionnés pour toutes les années disponibles) du programme de vérification et de surveillance de la santé des poissons (PVSSP) [2002-2018], les événements liés à la santé des poissons (ESP) [2002-2018] et les épisodes de mortalité (2011-2018) signalés par l'industrie au MPO. Les mois avec des observations de *Tenacibaculum maritimum* ou de pourriture de la bouche sont indiqués en caractères gras et ombragés pour plus de clarté.

Saumon rouge du fleuve Fraser dans la région des îles Discovery	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Juveniles de type lacustre					X	X	X					
Adultes en montaison						X	X	X	X	X		
Preuve de pourriture de la bouche dans les fermes d'élevage	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Nombre de fermes d'élevage avec un diagnostic de pourriture de la bouche à l'échelle de la ferme	1	2	2	0	1	2	0	5	1	1	0	2
Nombre de fermes d'élevage avec des événements liés à la santé des poissons attribués à la pourriture de la bouche	4	6	5	6	9	12	9	5	4	2	6	5
Nombre de fermes d'élevage avec des épisodes de mortalité attribués à la pourriture de la bouche	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Les données du PVSSP des ESP ont été combinées pour déterminer le nombre de fermes d'élevage avec un diagnostic de pourriture de la bouche pour un mois et une année donnés (Tableau 11). Une ferme d'élevage unique peut avoir contribué plus d'un mois dans chaque année. Par exemple, en 2014, la pourriture de la bouche a été déclarée dans une même ferme d'élevage en mai, juin et juillet.

Tableau 11. Nombre de fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery avec des occurrences de pourriture de la bouche entre 2002 et 2018; sommaire par année et par mois. Les données comprennent les résultats du programme de vérification et de surveillance de la santé des poissons (PVSSP) [2002-2018] et les événements liés à la santé des poissons (ESP) [2002-2018]. Aucun épisode de mortalité attribué à la pourriture de la bouche n'a été déclaré (2011-2017) dans des fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery. Les mois avec des observations de *Tenacibaculum maritimum* ou de pourriture de la bouche sont indiqués en caractères gras et ombragés pour plus de clarté.

Année	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
2005	1	2	1	0	1	3	3	3	1	0	0	0
2006	0	0	0	1	2	2	0	0	0	1	2	1
2007	2	1	1	2	2	4	2	3	2	0	0	1
2008	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2
2009	0	2	0	1	0	3	3	4	1	1	0	0
2010	0	0	3	3	2	1	0	0	1	1	1	0
2011	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	1	1
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013	0	0	0	0	2	2	1	0	0	0	0	0
2014	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0
2018	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

3.3.2.3 Chevauchement temporel entre le saumon rouge du fleuve Fraser et *Tenacibaculum maritimum*

Le saumon rouge du fleuve Fraser (juvéniles et adultes) est attendu dans la région des îles Discovery entre mai et octobre. Entre 2002 et 2018, le pourrissement de la bouche a fait l'objet d'un signalement tous les mois de l'année à partir de diagnostics fondés sur des vérifications à l'échelle de la ferme ou de rapports d'ESP de l'industrie (Tableau 10 et Tableau 11), ce qui témoigne d'un chevauchement temporel clair entre le saumon rouge du fleuve Fraser et *T. maritimum* attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery.

3.3.2.4 Taille et volume relatifs des fermes d'élevage de saumon atlantique

La probabilité que le saumon rouge du fleuve Fraser rencontre des fermes d'élevage de saumon atlantique sur ses voies de migration devrait tenir compte de la taille et du volume relatifs des fermes d'élevage dans la zone et à l'intérieur des chenaux.

Les fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery occupent une superficie (0,007 %) et un volume (0,0008 %) infimes dans l'ensemble de la région (Mimeault et al., 2017). De plus, étant donné que la largeur du chenal dans la région des îles Discovery varie entre 850 et 3 200 mètres (Mimeault et al., 2017), une ferme d'élevage ayant une dimension de 100 m sur 100 m sur 20 m de profondeur s'étendrait sur environ 3 à 12 % de la largeur du canal (Figure 5).

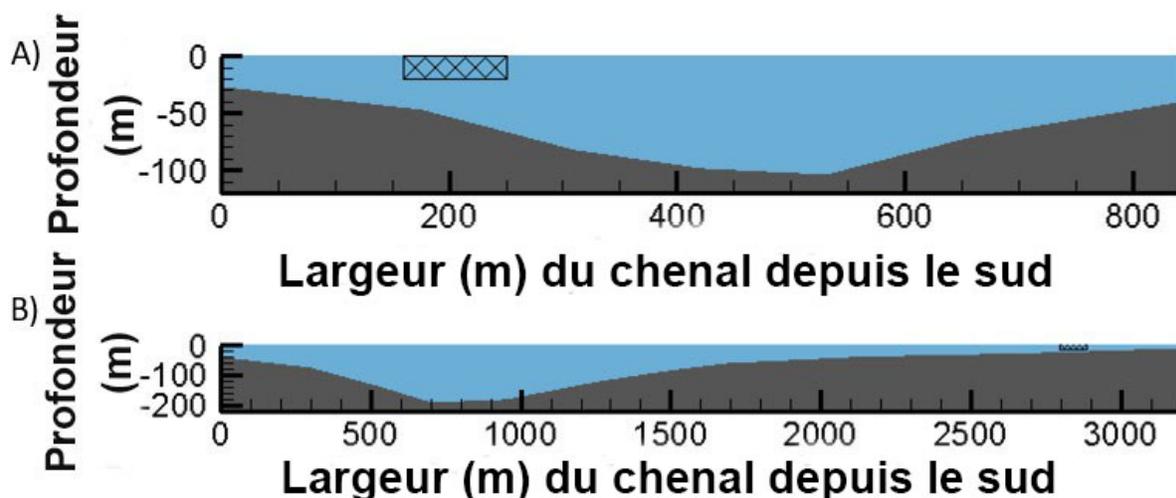


Figure 5. Coupes transversales de chenaux aux fermes d'élevage (A) Brent et (B) Shaw situées respectivement dans le chenal le plus étroit et le plus large avec des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery. Les cases hachurées montrent une projection à l'échelle dans le chenal des parcs en filet des fermes d'élevage, soit comme ils se présenteraient à des poissons nageant le long du chenal. À noter, la différence entre les échelles des axes pour maintenir un ratio constant (un : un) entre les axes x et y dans chaque coupe transversale. Adapté de Mimeault et al. (2017).

3.3.2.5 Survie de *Tenacibaculum maritimum* dans le milieu marin

Wade et Weber (2020) ont passé en revue l'état des connaissances relatives à la survie de *T. maritimum* dans l'environnement. À ce jour, il n'y a aucune publication sur les taux de survie et de dégradation des souches de *T. maritimum* causant la pourriture de la bouche dans le milieu marin. On sait peu de choses sur la survie de *T. maritimum*, les connaissances se limitent principalement à la corrélation entre les diagnostics de la pourriture de la bouche et les facteurs environnementaux (Wade et Weber, 2020). La salinité et la température influencent la survie de *T. maritimum* dans le milieu marin.

Des éclosions de pourriture de la bouche ont été signalées par Frelier *et al.* (1994) dans le détroit de Puget, à des températures de l'eau de 8 à 12 °C et une salinité de 29 à 32 ppm. De plus, des températures supérieures à 15 °C (Wakabayashi *et al.*, 1986; Lunder *et al.*, 2000; Avendaño-Herrera *et al.*, 2006b), une augmentation rapide de la température de l'eau (Devesa *et al.*, 1989) et une salinité élevée [30-35 ppm; Avendaño-Herrera *et al.* (2006b)] sont parmi les facteurs attribués à des éclosions en lien avec *T. maritimum*. Il n'est pas établi clairement si ces facteurs affectent uniquement l'activité bactérienne ou la susceptibilité de l'hôte, ou les deux (et dans quelle mesure).

Avendaño-Herrera *et al.* (2006a) ont étudié la capacité de survie des isolats espagnols de *T. maritimum* et démontré que la bactérie peut survivre en eau de mer stérile dans un état cultivable pendant cinq mois, et dans l'eau de mer naturelle pendant cinq jours (Avendaño-Herrera *et al.*, 2006a). Selon les auteurs, la différence de la capacité de survie entre l'eau de mer stérile et l'eau de mer naturelle est attribuable au microbiote aquatique naturel.

Tenacibaculum maritimum survit mal uniquement dans l'eau de mer et pourrait devoir être protégé dans des sédiments, joint à une particule ou à une surface animale jusqu'à ce que les conditions environnementales deviennent favorables à la croissance (Avendaño-Herrera *et al.*, 2006a).

Il a été démontré que le *Tenacibaculum maritimum* causant la pourriture de la bouche dans l'eau de mer peut se transférer horizontalement dans des conditions de laboratoire (Frisch *et al.*, 2018a).

3.3.2.6 Conditions océanographiques et écosystémiques

Les températures de l'eau dans la région des îles Discovery varient selon la saison et la région, avec des températures enregistrées entre 3 et 24 °C (Chandler *et al.*, 2017). La salinité de l'eau dans la région des îles Discovery varie considérablement selon la saison (écoulement de la fonte des neiges depuis les rivières), la profondeur (circulation estuarienne) et l'emplacement (certains chenaux étroits sont extrêmement bien mélangés verticalement), allant de presque zéro à 32 (Chandler *et al.*, 2017).

Les distributions mensuelles de la température (°C) et de la salinité (ppm) enregistrées dans les fermes d'élevage actives de saumon atlantique dans la région des îles Discovery au cours des cinq dernières années (2014-2018) sont présentées dans les Figures 6 et 7, respectivement. Entre 2002 et 2018, bien que des occurrences de pourriture de la bouche aient été déclarées tout au long de l'année, la majorité des ESP attribués à la pourriture de la bouche ont été déclarés au printemps et à l'été (Tableau 10), lorsque la température était à son plus élevé (Figure 6) et que la salinité était la plus variable (Figure 7).

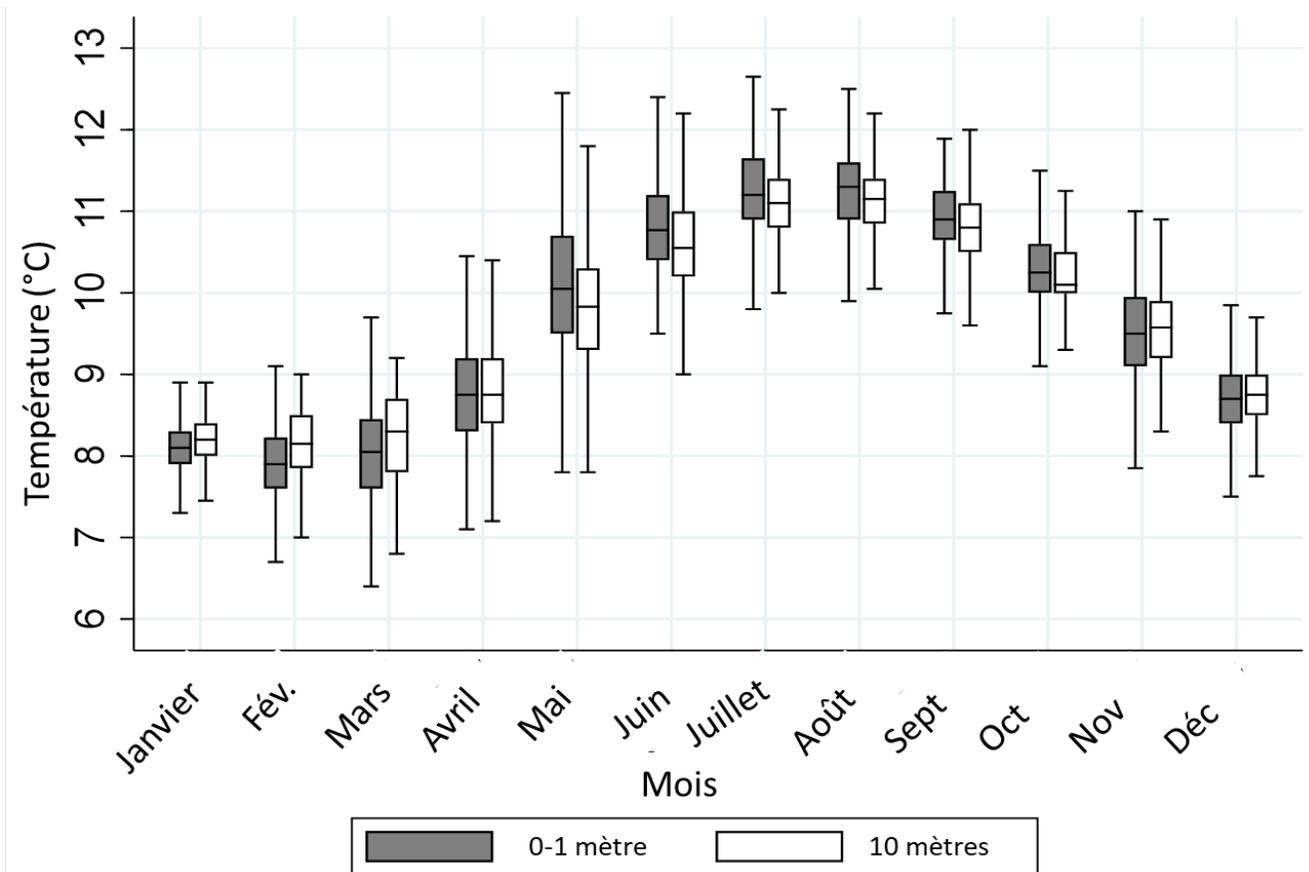


Figure 6. Distribution des températures (°C) enregistrées dans les fermes d'élevage actives de saumon atlantique dans la région des îles Discovery à des profondeurs de <1 et 10 mètres, entre 2014 et 2018 (cinq ans). Chaque case représente l'écart interquartile ($EI = Q3 - Q1$), y compris la ligne médiane. Les traits verticaux indiquent les valeurs adjacentes supérieures ($Q3 + [1,5 \times EI]$) et inférieures ($Q1 - [1,5 \times EI]$). Les valeurs aberrantes, définies comme des valeurs/observations à l'extérieur de l'intervalle entre les valeurs adjacentes supérieures et inférieures, ne sont pas indiquées par souci de clarté dans la visualisation. Source des données : BC Salmon Farmers Association, 2019.

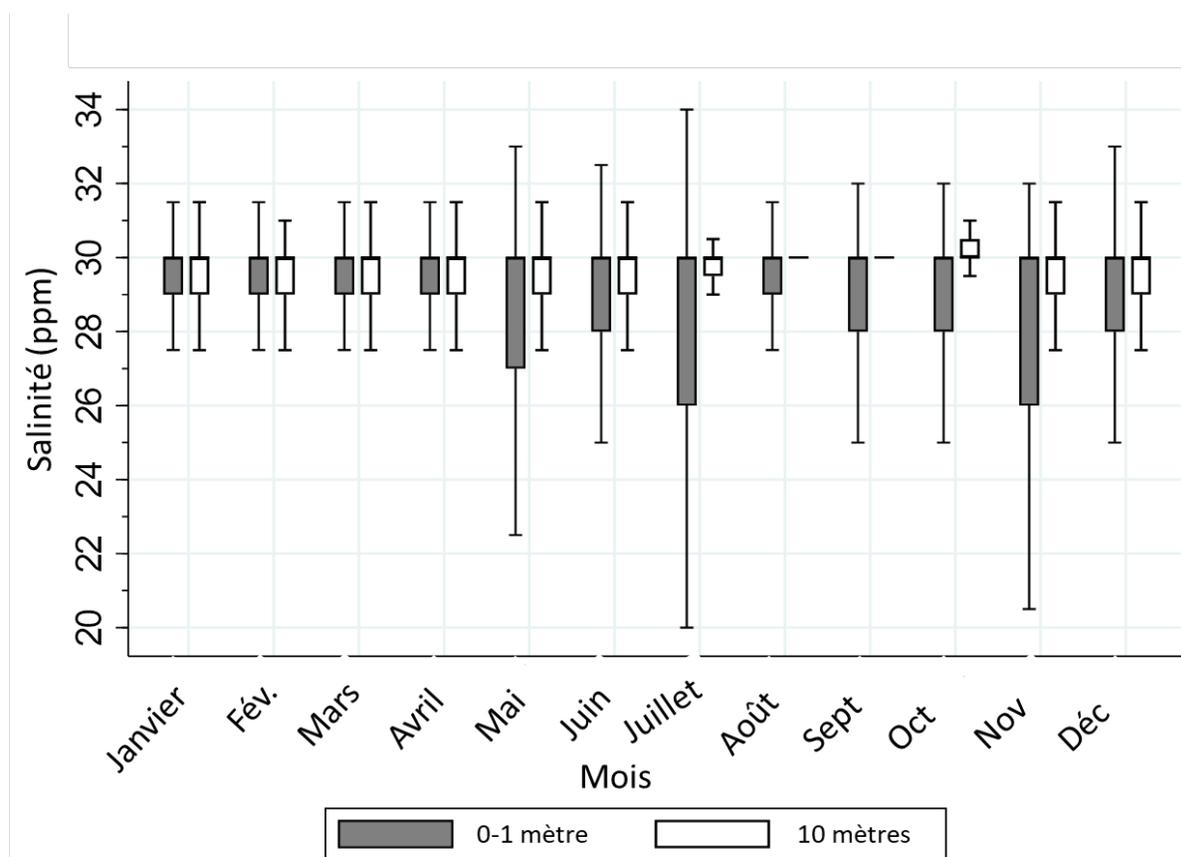


Figure 7. Distribution des salinités (ppm) enregistrées dans les fermes d'élevage actives de saumon atlantique dans la région des îles Discovery à des profondeurs de <1 et 10 mètres, entre 2014 et 2018 (cinq ans). Chaque case représente l'écart interquartile ($EI = Q3 - Q1$), y compris la ligne médiane. Les traits verticaux indiquent les valeurs adjacentes supérieures ($Q3 + [1,5 \times EI]$) et inférieures ($Q1 - [1,5 \times EI]$). Les valeurs aberrantes, définies comme des valeurs/observations à l'extérieur de l'intervalle entre les valeurs adjacentes supérieures et inférieures, ne sont pas indiquées par souci de clarté dans la visualisation. À noter, toutes les médianes se situent à 30 ppm ou très près. Source des données : BC Salmon Farmers Association, 2019.

3.3.3 Hypothèses

- *Tenacibaculum maritimum* a été disséminé depuis au moins une ferme d'élevage de saumon atlantique infectée dans la région des îles Discovery.
- L'excrétion de poissons d'élevage infectés se limite aux mois où il y a des signes d'infection ou de maladie dans les fermes d'élevage.
- On suppose que le saumon rouge a une répartition et des déplacements aléatoires dans tous les chenaux de la région des îles Discovery chaque mois pendant sa migration.
- Le saumon rouge sauvage et le saumon d'élevage ne sont pas différenciés aux fins de cette évaluation des risques.

3.3.4 Probabilité d'exposition

Le Tableau 12 présente les principaux facteurs contributifs et limitatifs de la probabilité d'une exposition du saumon rouge du fleuve Fraser à *T. maritimum* attribuable à une ou plusieurs fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery. Ces facteurs ont servi à déterminer les cotes de probabilité et d'incertitude d'après les définitions des Tableau 2, Tableau 5 et Tableau 6.

Tableau 12. Facteurs contributifs et limitatifs de la probabilité qu'au moins un saumon rouge du fleuve Fraser soit exposé à *Tenacibaculum maritimum* disséminé depuis une ou plusieurs fermes d'élevage de saumon atlantique infectées dans la région des îles Discovery selon les pratiques d'élevage actuelles.

Facteurs contributifs	Facteurs limitatifs
<ul style="list-style-type: none">Le saumon rouge du fleuve Fraser traverse la région des îles Discovery chaque année pendant sa migration.Il y a un chevauchement temporel entre la migration du saumon rouge du fleuve Fraser (mai à octobre) et les diagnostics de pourriture de la bouche dans des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery (tous les mois de l'année).Il est démontré que les isolats espagnols de <i>T. maritimum</i> peuvent survivre dans l'eau de mer jusqu'à cinq jours.La transmission horizontale des isolats de Colombie-Britannique de <i>T. maritimum</i> a été démontrée dans des conditions expérimentales.	<ul style="list-style-type: none">Les fermes d'élevage de saumon atlantique ne se trouvent pas dans tous les chenaux de la région des îles Discovery.Les fermes d'élevage de saumon atlantique occupent une très petite superficie et un très petit volume de la région des îles Discovery et de la largeur des chenaux.

Deux groupes d'exposition ont été évalués : 1) saumon rouge juvénile du fleuve Fraser et 2) saumon rouge adulte du fleuve Fraser.

3.3.4.1 Exposition du saumon rouge juvénile du fleuve Fraser

Vu le chevauchement temporel avec les signalements de pourriture de la bouche dans les fermes d'élevage et le potentiel de transmission horizontale de la bactérie, nous avons conclu qu'il est **très probable** qu'au moins un saumon rouge juvénile du fleuve Fraser ait une exposition de nature hydrique à *T. maritimum* introduit par des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery selon les pratiques d'élevage actuelles. Sur les 13 années pour lesquelles la présence de pourriture de la bouche a été signalée (depuis 2002), 11 années comportaient des preuves de la présence de la pourriture de la bouche durant la période de présence de juvéniles dans la région des îles Discovery. Cette conclusion a été tirée avec une **certitude raisonnable** du fait que les données sur les occurrences de pourriture de la bouche dans les fermes d'élevage et la présence concomitante du saumon rouge juvénile du fleuve Fraser dans la région des îles Discovery sont abondantes (sans être complètes) et robustes. De plus, il existe de solides preuves de transmission horizontale et de survie de la bactérie dans le milieu marin.

3.3.4.2 Exposition du saumon rouge adulte du fleuve Fraser

Vu le chevauchement temporel avec les signalements de pourriture de la bouche dans les fermes, nous avons conclu qu'il est **très probable** qu'au moins un saumon rouge adulte du fleuve Fraser ait une exposition de nature hydrique à *T. maritimum* introduit par une ferme d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery selon les pratiques d'élevage actuelles. Sur les 13 années pour lesquelles la présence de pourriture de la bouche a été signalée (depuis 2002), 10 années comportaient des preuves de la présence d'adultes dans la région des îles Discovery. Cette conclusion a été tirée avec une **certitude raisonnable** du fait que les données sur les occurrences de pourriture de la bouche dans les fermes d'élevage et la présence concomitante du saumon rouge adulte du fleuve Fraser dans la région des îles Discovery sont abondantes (sans être complètes) et robustes. De plus, il existe de solides preuves de transmission horizontale et de survie de la bactérie dans le milieu marin.

3.4 ÉVALUATION DE L'INFECTION

3.4.1 Question

En supposant que le saumon rouge du fleuve Fraser ait été exposé à *T. maritimum* disséminé de fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery, quelle est la probabilité qu'il soit exposé à une concentration et pendant une période suffisante pour causer une infection?

3.4.2 Considérations

Les facteurs à prendre en considération comprennent la sensibilité du saumon rouge à une infection à *T. maritimum*; les facteurs contribuant à la maladie; la durée de l'exposition du saumon rouge du fleuve Fraser aux fermes d'élevage; les doses infectieuses et létales minimales de *T. maritimum*; la pression d'infection à *T. maritimum* exercée par les fermes d'élevage; et la dispersion hydrodynamique de *T. maritimum*.

3.4.2.1 Sensibilité du saumon rouge à l'infection à *Tenacibaculum maritimum*

Aucune référence n'a pu être trouvée décrivant l'isolement bactérien de *T. maritimum* ou de la pourriture de la bouche chez le saumon rouge (Wade et Weber, 2020). Toutefois, Nekouei *et al.* (2018) ont rapporté la détection moléculaire de *T. maritimum* dans 0,25 % (5 sur 2 006) des saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser par dépistage par réaction en chaîne de la polymérase (PCR) quantitative microfluidique à haut débit. Dans cette étude, étant donné que les tests ont été effectués sur un regroupement de tissus, y compris des échantillons de branchie, la détection n'était pas nécessairement révélatrice d'une infection à la bactérie. En outre, le rendement diagnostique de la méthode de PCR quantitative à haut débit utilisée dans cette étude n'a pas encore été validé sur le plan diagnostique.

À la fin de 2019, aucun cas de pourriture de la bouche n'avait été signalé chez des salmonidés sauvages (y compris le saumon rouge) en Colombie-Britannique ou dans l'État de Washington [examen dans Wade et Weber (2020)] et la vulnérabilité du saumon rouge à l'infection et la maladie par *T. maritimum* est inconnue. Toutefois, deux ESP attribués à la pourriture de la bouche de saumon chinook d'élevage ont été signalés en 2002 et en 2009 en Colombie-Britannique (aucun dans la région des îles Discovery) [résumés dans Wade et Weber (2020)]. Du matériel génétique de *T. maritimum* a également été détecté dans des échantillons de saumon coho juvénile prélevés en Colombie-Britannique (85 sur 2 622) par PCR quantitative microfluidique à haut débit (Nekouei *et al.*, 2019).

Étant donné la détection moléculaire de *T. maritimum* chez le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser (Nekouei *et al.*, 2018) et les ESP attribués à la pourriture de la bouche de saumon chinook d'élevage en Colombie-Britannique [examen dans Wade et Weber (2020)], nous avons présumé que le saumon rouge était vulnérable à une infection à *T. maritimum* dans la présente évaluation des risques.

La vulnérabilité relative selon le stade de vie à l'infection à *T. maritimum* ou à la pourriture de la bouche chez le saumon atlantique et chinook d'élevage semble indiquer une baisse de vulnérabilité à la maladie avec l'âge, car il n'y a pas eu de signalement de pourriture de la bouche la deuxième année du cycle de production du saumon d'élevage en Colombie-Britannique (B. Boyce, comm. pers., 2019; T. Hewison et P. Whittaker, comm. pers., 2019). Les poids du saumon atlantique dans les fermes d'élevage de la région des îles Discovery pendant les ESP attribués à la pourriture de la bouche variaient entre 0,15 et 0,49 kg (médiane = 0,28), ce qui correspond aux poids typiques des poissons pendant la première année du cycle de production en mer.

3.4.2.2 Facteurs contribuant à la maladie

Des infections à *T. maritimum* ont été documentées en association avec des événements de manipulation comme le dénombrement, la classification selon la taille, le transport (Alsina et Blanch, 1993; Cepeda et Santos, 2002) et un transfert récent à des cages en mer (Wakabayashi *et al.*, 1984; Pepin et Emery, 1993). Parmi les facteurs prédisposant possibles pour les saumoneaux atlantique qui contractent la pourriture de la bouche, mentionnons l'alimentation en granules durs, la morsure de poissons sur les surfaces de filet et les lésions ou abrasions à la bouche causées par le stress (Kent et Poppe, 1998).

En laboratoire, il a été démontré que l'abrasion de l'épithélium de la branchie augmente la gravité et le taux de progression de la maladie chez les saumoneaux atlantique, selon la souche de *T. maritimum* (Powell *et al.*, 2004). L'abrasion du tissu parodontal causé par la consommation de crustacés épineux, notamment des larves de crabe et des amphipodes, a également été considérée comme un point d'entrée des bactéries (Kent et Poppe, 1998). Toutefois, la scarification ou l'abrasion avant l'exposition n'est pas une condition nécessaire pour une infection à *T. maritimum* (Avendaño-Herrera *et al.*, 2006a), y compris l'infection à partir de souches de la Colombie-Britannique (Frisch *et al.*, 2018b).

La pourriture de la bouche affecte principalement les saumoneaux récemment transférés dans l'eau salée (Freliey *et al.*, 1994; Ostland *et al.*, 1999; Frisch, 2018; Frisch *et al.*, 2018b). Il n'y a pas eu de signalement de pourriture de la bouche au cours de la deuxième année des cycles de production en Colombie-Britannique. Des facteurs environnementaux comme la température chaude de l'eau et une salinité élevée ont été proposés comme deux facteurs associés à la pourriture de la bouche [examen dans Wade et Weber (2020)].

3.4.2.3 Durée de l'exposition du saumon rouge du fleuve Fraser aux fermes d'élevage

La durée pendant laquelle le saumon rouge du fleuve Fraser pourrait être exposé à *T. maritimum* disséminé d'une ferme d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery dépend du temps que passe le saumon rouge du fleuve Fraser dans la région des îles Discovery et à proximité des fermes.

3.4.2.3.1 Durée de résidence du saumon rouge du fleuve Fraser dans la région des îles Discovery

Grant *et al.* (2018) ont estimé la durée de résidence dans la région des îles Discovery à 5 à 14 jours pour les saumons rouges juvéniles et à trois jours pour les adultes. Toutefois, la plupart des fermes d'élevage de saumon atlantique se trouvent sur environ 75 km de la longueur

estimative de 140 km de la région des îles Discovery. En supposant une vitesse de migration constante et un mouvement unidirectionnel, Mimeault *et al.* (2017) ont estimé que les juvéniles pourraient rencontrer des fermes d'élevage pendant trois à huit jours, et les adultes en montaison pendant deux jours pendant leur migration dans la région des îles Discovery. Stevenson *et al.* (2019) rapportent que le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser du lac Chilko passait en moyenne 7,6 jours dans la région des îles Discovery jusqu'au détroit de Johnstone, avec une vitesse de migration moyenne de 14,5 km/jour.

3.4.2.3.2 Saumon rouge du fleuve Fraser à proximité des fermes d'élevage de saumon atlantique

Dans une étude de télémétrie réalisée en 2017, la durée de déplacement médiane du saumon rouge juvénile du fleuve Fraser (principalement du lac Chilko) par les chenaux Hoskyn et Okisollo était d'environ 30 heures, et la durée de déplacement des extrémités est à ouest du chenal Okisollo était d'environ 6 heures (Rechisky *et al.*, 2018). Dans la même étude, des récepteurs ont également été déployés dans deux fermes d'élevage de saumon en jachère pour mesurer le temps d'exposition du saumon rouge dans une région où se trouvent des fermes d'élevage de saumon. La durée médiane de séjour du saumon rouge juvénile près de fermes d'élevage de saumon individuelles était d'environ 4,5 minutes, ce qui laisse croire à une brève exposition aux fermes d'élevage de saumon en jachère (Rechisky *et al.*, 2018).

L'étude susmentionnée a été reprise en 2018 avec du saumon rouge capturé dans le chenal Okisollo et relâché dans le détroit de Georgia. Cette fois-ci, les récepteurs ont été déployés dans un total de quatre fermes d'élevage peuplées. La durée médiane de séjour des juvéniles près de fermes d'élevage de saumon individuelles peuplées était de 11,4 minutes (E. Rechisky, Kintama Research Services Ltd., 755, avenue Terminal Nord, Nanaimo, C.-B. V9S 4K1, comm. pers., 2019). La différence apparente dans les durées d'exposition entre 2017 et 2018 est toutefois plus susceptible d'être liée à une différence dans la conception de l'étude ou à une variation interannuelle (la vitesse de nage dans le passage Discovery, une région sans fermes d'élevage, a été plus lente en 2018) plutôt qu'au statut de la ferme (E. Rechisky, comm. pers., 2019).

Dans l'ensemble, le saumon rouge juvénile migre rapidement lorsqu'il passe à proximité des fermes d'élevage de saumon et se situe généralement dans la plage de détection de fermes d'élevage individuelles pendant moins de 20 minutes (E. Rechisky, comm. pers., 2019).

3.4.2.4 Doses infectieuses et létales minimales de *Tenacibaculum maritimum*

Les doses infectieuses les plus pertinentes pour cette évaluation des risques sont la dose minimale requise pour infecter le saumon rouge avec des souches de *T. maritimum* de l'Ouest canadien. En l'absence de cette information, des études d'immersion réalisées avec d'autres salmonidés ont servi de données de substitution dans la présente évaluation des risques. Comme l'injection n'est pas une voie naturelle d'exposition, nous n'avons pas tenu compte des expériences de provocation par injection pour estimer les doses infectieuses ou létales minimales.

Frisch *et al.* (2018b) ont mené une expérience pour déterminer s'il était possible d'induire la pourriture de la bouche dans des saumoneaux atlantique norvégiens par provocation avec des isolats de *T. maritimum* recueillis lors d'éclosions dans l'Ouest canadien. Ces poissons ont été transférés de l'eau douce à l'eau de mer 24 heures avant le début de l'expérience (Frisch *et al.*, 2018b). La concentration et la durée du bain nécessaires pour induire la mortalité chez un saumon atlantique norvégien de 40 g variaient en fonction des isolats (Frisch *et al.*, 2018b). Selon cette expérience, les concentrations les plus faibles de souches de *T. maritimum* de l'Ouest canadien causant la mortalité chez le saumon atlantique variaient de $6,36 \times 10^5$ à $1,78 \times$

10⁷ cellules/mL, en fonction des isolats (Tableau 13). La variation de la mortalité parmi les isolats à des concentrations de bain similaires dans cette étude démontre qu'il existe des différences de pathogénicité entre les isolats (Frisch *et al.*, 2018b).

Tableau 13. Résumé des concentrations d'isolats de *Tenacibaculum maritimum* de l'Ouest canadien et des durées du bain nécessaires pour induire la mortalité chez des saumoneaux atlantique norvégiens dans des conditions expérimentales. Adapté de Frisch *et al.* (2018b).

Isolat de <i>Tenacibaculum maritimum</i>	Concentration la plus élevée (cellules/mL) sans mortalité (durée du bain)	Concentration la plus faible (cellules/mL) induisant la mortalité (durée du bain)	Mortalité cumulative en pourcentage pour la concentration la plus faible induisant la mortalité
TmarCan15-1	3,80 x 10 ⁶ (1,5 et 5,0 heures)	5,74 x 10 ⁶ (5,0 heures)	75-90
TmarCan16-1	--	6,36 x 10 ⁵ (5,0 heures)	100
TmarCan16-2	1,28 x 10 ⁷ (5,0 heures)	--	--
TmarCan16-5	7,30 x 10 ⁶ (5,0 et 7,5 heures)	1,78 x 10 ⁷ (5,0 heures)	84-95 (excréteurs seulement)
TmarCan16-6	--	1,52 x 10 ⁷ (5,0 et 7,5 heures)	100

3.4.2.5 Pression d'infection de *Tenacibaculum maritimum* exercée par les fermes d'élevage

Pour quantifier la pression d'infection attribuable à une ferme d'élevage infectée, il faut estimer le nombre de poissons infectés à la ferme, le taux d'excrétion du poisson infecté et le volume de la ferme d'élevage.

Bien que le volume moyen des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery ait été estimé à environ 195 000 m³ (Mimeault *et al.*, 2017), puisque le taux d'excrétion du poisson infecté à *T. maritimum* n'a pas été quantifié, il n'est pas possible d'estimer la pression d'infection de *T. maritimum* attribuable à une ferme d'élevage de saumon atlantique infectée dans la région des îles Discovery.

3.4.2.6 Dispersion hydrodynamique de *Tenacibaculum maritimum*

La modélisation de la dispersion hydrodynamique d'un agent pathogène dans le milieu marin nécessite un modèle océanique et de circulation, la pression d'infection attribuable à la source et de l'information sur la survie de l'agent pathogène dans le milieu marin.

Un modèle océanique et de circulation de la région des îles Discovery existant (Foreman *et al.*, 2012) a été utilisé pour modéliser la dispersion hydrodynamique du virus de la nécrose hématopoïétique infectieuse (vNHI) parmi les fermes d'élevage (Foreman *et al.*, 2015a) et la dispersion du vNHI dans la région des îles Discovery (Mimeault *et al.*, 2017). En général, on s'attend à ce que les courants de marée et les mouvements d'eau dispersent et diluent la concentration de bactéries disséminées des fermes d'élevage.

Toutefois, il n'a pas été possible de modéliser la dispersion de *T. maritimum* provenant de fermes d'élevage de saumon atlantique infectées dans la région des îles Discovery dans la présente cette évaluation des risques, étant donné le manque de données empiriques pour

estimer la pression d'infection attribuable à une ou plusieurs fermes infectées par *T. maritimum* (voir ci-dessus).

3.4.3 Hypothèses

- Le saumon rouge a été exposé à *T. maritimum* disséminé de fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery.
- Le saumon rouge est vulnérable à l'infection à *T. maritimum*.
- Tous les saumons rouges du fleuve Fraser sont également vulnérables à l'infection à *T. maritimum*, peu importe leur stock d'origine.
- Le saumon rouge du fleuve Fraser qui pénètre dans la région des îles Discovery est naïf au *T. maritimum*, c'est-à-dire qu'il n'a pas déjà été exposé à la bactérie.

3.4.4 Probabilité d'infection

Le Tableau 14 présente les principaux facteurs contributifs et limitatifs de la probabilité d'une infection du saumon rouge du fleuve Fraser à *T. maritimum* disséminé depuis une ou plusieurs fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery. Ces facteurs ont servi à déterminer les cotes de probabilité et d'incertitude d'après les définitions des Tableau 2, Tableau 5 et Tableau 6.

Tableau 14. Facteurs contributifs et limitatifs de la probabilité que le saumon du fleuve Fraser exposé à la bactérie *Tenacibaculum maritimum* depuis une ferme d'élevage de saumon atlantique infectée dans la région des îles Discovery devienne infecté.

Facteurs contributifs	Facteurs limitatifs
<ul style="list-style-type: none"> • Le matériel génétique du <i>T. maritimum</i> a été détecté à partir de saumons rouges juvéniles. • La pourriture de la bouche a été signalée chez le saumon atlantique et chinook élevé en Colombie-Britannique, ainsi que chez la truite arc-en-ciel d'élevage dans le Nord-Ouest du Pacifique aux États-Unis. • Les saumons rouges juvéniles pourraient passer à proximité de fermes d'élevage de saumon atlantique pendant trois à huit jours durant leur migration dans la région des îles Discovery. • Les saumons rouges adultes en montaison pourraient passer à proximité de fermes d'élevage de saumon atlantique pendant deux jours durant leur migration dans la région des îles Discovery. 	<ul style="list-style-type: none"> • Il n'y a pas de déclarations publiées de pourriture de la bouche chez le saumon rouge. • D'après les études de suivi par télémétrie, le saumon rouge juvénile passe peu de temps (< 20 minutes) à proximité de fermes d'élevages actives ou en jachère (c.-à-d. que l'on s'attend à une exposition de courte durée). • Les concentrations les plus faibles de souches de <i>T. maritimum</i> de Colombie-Britannique nécessaires pour induire causant la mortalité variaient de $6,36 \times 10^5$ à $1,78 \times 10^7$ cellules/mL. • Le matériel génétique du <i>T. maritimum</i> n'a été détecté qu'à partir d'une très faible proportion de saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser (0,25 %). • Aucun diagnostic de pourriture de la bouche n'a été posé à l'égard du saumon atlantique et chinook adulte d'élevage.

La probabilité d'infection a été prise en compte pour deux groupes d'exposition : 1) saumon rouge juvénile du fleuve Fraser et 2) saumon rouge adulte du fleuve Fraser.

3.4.4.1 Infection du saumon rouge juvénile du fleuve Fraser

Nous avons conclu qu'il est **improbable** que le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser soit infecté à *T. maritimum* disséminé par des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery par une exposition de nature hydrique selon les pratiques d'élevage actuelles, en raison de l'interaction directe brève et limitée du saumon rouge du fleuve Fraser avec les sites des fermes d'élevage. Cette conclusion a été tirée avec une **incertitude élevée**, étant donné les connaissances insuffisantes et le manque de données pour estimer la pression d'infection des fermes d'élevage et la dose infectieuse minimale de *T. maritimum* chez le saumon rouge.

3.4.4.2 Infection du saumon rouge adulte du fleuve Fraser

Nous avons conclu qu'il est **très improbable** que le saumon rouge adulte du fleuve Fraser soit infecté à *T. maritimum* disséminé par des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery par une exposition de nature hydrique selon les pratiques d'élevage actuelles, en raison 1) de l'interaction directe brève et limitée avec les sites des fermes d'élevage, 2) du fait que les adultes ne peuvent pas pénétrer dans les parcs en filet et devraient donc être exposés à une concentration plus faible de *T. maritimum* que les juvéniles, et 3) du fait que la pourriture de la bouche n'a été signalée que durant la première année en mer (chez

les juvéniles) dans les fermes d'élevage de saumon atlantique et chinook en Colombie-Britannique, ce qui laisse supposer que les adultes ne sont pas vulnérables à la pourriture de la bouche. Cette conclusion a été tirée avec une **incertitude raisonnable**, en raison des données de substitution disponibles sur la résistance potentielle de l'adulte à l'infection (ou à la pourriture de la bouche) et du manque de données sur la dose infectieuse minimale et la dynamique d'infection de *T. maritimum* chez le saumon rouge.

3.5 ÉVALUATION DE LA PROBABILITÉ GLOBALE

Les probabilités estimées ont été combinées conformément aux règles de combinaison décrites dans la section sur la méthodologie (2.2.5.4). La probabilité combinée pour l'évaluation de la dissémination a été déterminée en adoptant la probabilité la plus élevée parmi les voies de dissémination. La probabilité combinée pour chaque groupe d'exposition a été déterminée en adoptant le plus faible classement parmi les évaluations d'infection à la ferme, de dissémination, d'exposition et d'infection.

Le Tableau 15 résume l'évaluation de la probabilité. Globalement, nous avons conclu que la probabilité qu'un saumon rouge du fleuve Fraser soit infecté à *T. maritimum* disséminé à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery est **improbable** et **très improbable**, pour les juvéniles et les adultes respectivement.

Tableau 15. Sommaire des classements de probabilité et d'incertitude pour le volet d'évaluation de la probabilité de l'évaluation des risques pour le saumon rouge du fleuve Fraser attribuables au transfert de *Tenacibaculum maritimum* à partir de fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery. Les incertitudes ne sont pas combinées.

Étape		Classement	
Évaluation de l'infection à la ferme	Probabilité (incertitude)	Très probable (certitude raisonnable)	
Évaluation de la dissémination	Voies de dissémination	Saumon atlantique d'élevage	Vecteurs mécaniques et vecteurs passifs
	Probabilité (incertitude)	Extrêmement probable (certitude élevée)	Probable (incertitude raisonnable)
	Probabilité combinée	Extrêmement élevée	
Évaluation de l'exposition	Groupes d'exposition	Juvéniles	Adultes
	Probabilité (incertitude)	Très probable (certitude raisonnable)	Très probable (certitude raisonnable)
Évaluation de l'infection	Probabilité (incertitude)	Improbable (incertitude élevée)	Très improbable (incertitude raisonnable)
Probabilité globale pour chaque groupe d'exposition (combinaison des quatre étapes)		Improbable	Très improbable

4 ÉVALUATION DES CONSÉQUENCES

L'évaluation des conséquences vise à déterminer l'ampleur potentielle des effets d'une infection à *T. maritimum* attribuable à des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery sur l'abondance et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser.

À partir de l'évaluation de la probabilité, on a conclu qu'il est **improbable** qu'un saumon rouge juvénile du fleuve Fraser et **très improbable** qu'un saumon rouge adulte du fleuve Fraser soit infecté à *T. maritimum* disséminé à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery. En supposant que le saumon rouge du fleuve Fraser ait contracté une infection à *T. maritimum* attribuable à des fermes d'élevage de saumon atlantique, l'évaluation des conséquences explore l'ampleur potentielle des effets sur le nombre des adultes en montaison et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser.

La Figure 8 illustre deux cheminements potentiels de résultats découlant de l'infection d'au moins un saumon rouge du fleuve Fraser par *T. maritimum* disséminé depuis des fermes d'élevage de saumon atlantique infectées dans la région des îles Discovery.

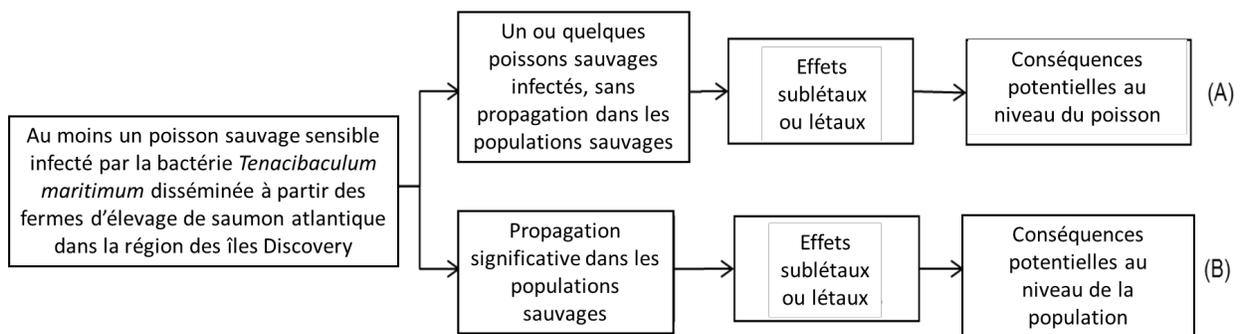


Figure 8. Cheminements potentiels de résultats de l'infection de poissons sauvages vulnérables infectés par *Tenacibaculum maritimum* attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery.

4.1 QUESTION

En supposant que des saumons rouges du fleuve Fraser vulnérables aient été infectés par *T. maritimum* provenant de fermes d'élevage de saumon atlantique infectées de la région des îles Discovery, quelle est l'ampleur potentielle des effets sur le nombre des adultes en montaison et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser?

4.2 CONSIDÉRATIONS

Dans cette section, nous nous concentrons sur les conséquences de l'infection à l'échelle de la population. Les facteurs à prendre en considération comprennent la dynamique et la virulence de l'infection à *T. maritimum*; la prévalence de l'infection à *T. maritimum* chez le saumon rouge migratoire; la mortalité attribuable à la pourriture de la bouche; les infections sublétales à *T. maritimum*; l'écologie du saumon rouge du fleuve Fraser; et la vulnérabilité propre au stock.

4.2.1 Dynamique et virulence de l'infection à *Tenacibaculum maritimum*

La dynamique de l'infection et la virulence des isolats de *T. maritimum* de l'Ouest canadien chez le saumon rouge sauvage seraient les facteurs les plus pertinents pour cette évaluation des risques. En l'absence de cette information, et compte tenu du fait que la dynamique

d'infection à *T. maritimum* ou de la pourriture de la bouche n'a été décrite pour aucun saumon sauvage du Pacifique, les études menées avec d'autres salmonidés et éclosions dans les fermes d'élevage de saumon sont décrites comme des renseignements de substitution.

Dans une étude réalisée dans des conditions expérimentales, à des concentrations suffisantes pour causer la mortalité, la période entre l'exposition et la première mortalité variait entre 3 et 11 jours chez des saumoneaux atlantique norvégiens exposés à des isolats de *T. maritimum* de l'Ouest canadien, selon l'isolat, la concentration et la durée de l'exposition (Frisch *et al.*, 2018b). Cette étude a également démontré des différences substantielles dans la virulence de ces isolats, les concentrations les plus faibles requises pour induire la mortalité chez les saumoneaux par provocation en bain de cinq heures variant de $6,36 \times 10^5$ à $1,78 \times 10^7$ cellules/mL.

Dans les fermes d'élevage de saumon sur la côte ouest de l'Amérique du Nord, les mortalités présentant des signes cliniques de pourriture de la bouche peuvent survenir deux jours après le transfert à l'eau salée, le plus souvent au cours des premières semaines (Frisch, 2018). Selon les entreprises d'élevage de saumon atlantique en activité dans la région des îles Discovery, les éclosions de pourriture de la bouche peuvent commencer jusqu'à six semaines après l'entrée des saumoneaux en eau de mer. Lorsque les premiers cas de maladie sont diagnostiqués dans une ou plusieurs cages, la maladie a déjà affecté de multiples cages et un traitement à l'échelle de la ferme avec des antibiotiques choisis sera souvent appliqué (B. Boyce, comm. pers., 2019; T. Hewison et P. Whittaker, comm. pers., 2019; K. Frisch, 203-919 Island Highway, Campbell River, C.-B., Canada V9W 2C2, comm. pers., 2019).

Une seule publication a décrit une éclosion de pourriture de la bouche dans des conditions de ferme en l'absence de traitement. Frelier *et al.* (1994) ont examiné des poissons de trois fermes d'élevage (une ferme d'élevage de saumon atlantique, une ferme d'élevage de saumon chinook et une ferme d'élevage de truite arc-en-ciel) pour vérifier la présence de la stomatite nécrosante (pourriture de la bouche) dans le détroit de Puget, État de Washington, États-Unis, en 1990 et 1991. Des éclosions de maladies sont survenues d'avril à juillet à des températures variant de 8 à 12 °C et une salinité de 29 à 32 ppm. La morbidité et la mortalité se manifestaient de trois à huit semaines après l'introduction dans l'eau de mer (Frelier *et al.*, 1994). La mortalité cumulative en cage des saumoneaux présentant des lésions buccales caractéristiques se situait habituellement entre 5 et 10 % au cours des six premières semaines suivant l'introduction et atteignait parfois 30 % (Frelier *et al.*, 1994).

4.2.2 Prévalence de *Tenacibaculum maritimum* chez le saumon rouge

Selon Nekouei *et al.* (2018), la prévalence de détection de *T. maritimum* chez les saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser échantillonnés le long de leur route de migration sortante au printemps et à l'été de 2012 et 2013 s'élevait à 0,25 % (5 sur 2 006). Ils ont analysé un total de 2 006 saumons rouges échantillonnés dans l'eau douce (n = 896) et l'eau de mer (n = 1 110) à l'aide de la plateforme de PCR quantitative Fluidigm Biomark™. La prévalence de la détection était définie comme étant le nombre de saumons positifs aux tests divisé par le nombre total de saumons testés avec des résultats concluants (Nekouei *et al.*, 2018). Dans cette étude, les cinq détections moléculaires provenaient de saumons échantillonnés dans l'eau de mer en 2012 : un saumon dans la région des îles Discovery et quatre saumons dans le détroit de Johnstone (O. Nekouei, Pêches et Océans Canada, 200 Kent, Ottawa, Ontario K1A 0E6, comm. pers., 2019). Il convient de noter qu'en 2012, il n'y avait pas de signalements correspondants de pourriture de la bouche dans les fermes d'élevage de la région des îles Discovery (Tableau 11).

Il n'y a pas de signalement d'infection à *T. maritimum* chez le saumon rouge adulte, ni de pourriture de la bouche chez le saumon rouge juvénile ou adulte. De plus, aucun signe macroscopique de pourriture de la bouche n'a été signalé chez les 2 419 saumons rouges examinés dans le cadre d'enquêtes sur la santé du saumon juvénile menées par le MPO entre 2010 et 2012 (S. Johnson, Pêches et Océans Canada, 3190, chemin Hammond Bay, Nanaimo, C.-B. V9T 6N7, comm. pers., 2020).

4.2.3 Mortalité attribuable à la pourriture de la bouche

Il n'existe aucun signalement de mortalité du saumon sauvage du Pacifique en Colombie-Britannique associé à *T. maritimum* ou à la pourriture de la bouche.

Frelier *et al.* (1994) ont rapporté des éclosions sans traitement de stomatite nécrosante (pourriture de la bouche) survenues dans quatre fermes d'élevage de salmonidés en 1990 et 1991 dans le détroit de Puget, État de Washington, États-Unis. Des cas de morbidité et de mortalité attribuables à la maladie ont été observés chez des saumoneaux trois à huit semaines après leur entrée en eau de mer. Les mortalités cumulatives dans des cages avec des lésions buccales caractéristiques au cours des six premières semaines suivant l'introduction étaient généralement de 5 à 10 %, mais atteignaient parfois jusqu'à 30 %. Un examen détaillé de poissons de trois des fermes d'élevage a révélé des lésions de stomatite ulcéreuse chez le saumon atlantique et la truite arc-en-ciel. La maladie n'a été décelée chez aucun des saumoneaux chinook examinés dans cette étude.

Dans le cadre d'une série d'essais expérimentaux, Frisch et ses collègues ont étudié les conséquences potentielles d'essais de provocation chez le saumon atlantique norvégien avec différents isolats de *T. maritimum* recueillis lors d'éclosions de pourriture de la bouche dans des fermes d'élevage de saumon atlantique en Colombie-Britannique. Ils ont utilisé diverses combinaisons de concentrations bactériennes élevées ($8,75 \times 10^5$ à $3,74 \times 10^7$ cellules/mL) et de durées d'exposition (1,5 à 7,5 h) pour reproduire la maladie et induire la mortalité. La mortalité cumulative variait entre 0 et 100 %, selon l'isolat, la concentration et la durée de chaque expérience. Ils ont démontré des différences significatives dans la génétique, la réponse anticorps et la pathologie des souches de *T. maritimum* de Colombie-Britannique comparativement à d'autres souches causant la ténacibaculose (Frisch *et al.*, 2017; Frisch *et al.*, 2018a; Frisch *et al.*, 2018b).

Les entreprises actives de production de saumon atlantique dans la région des îles Discovery appliquent des traitements antibiotiques lorsque les premiers cas de pourriture de la bouche sont diagnostiqués dans leurs fermes d'élevage, ce qui empêche de déterminer les mortalités cumulatives totales attribuées à la pourriture de la bouche sans traitement. Le traitement est très efficace et réduit les mortalités associées dans un délai de deux à trois jours (B. Boyce, comm. pers., 2019; T. Hewison et P. Whittaker, comm. pers., 2019).

4.2.4 Infection sublétales avec *Tenacibaculum maritimum*

La pourriture de la bouche peut causer de la léthargie, de l'émaciation et de l'anorexie; certains poissons peuvent présenter des tremblements ou des frottements de la tête (Kent, 1992). Des plaques bactériennes jaunes autour du palais, des dents et du vomer sont présentes au début d'une infection (Kent, 1992). À mesure que la maladie progresse, le poisson développe de multiples ulcères dans la bouche avec de grandes plaques bactériennes jaunes (Kent, 1992; Frelier *et al.*, 1994). Les lésions sont typiquement associées aux régions de la dentition, y compris les prémaxillaires, les dents, le vomer et le palatin, et peuvent entraîner une perte dentaire (Frelier *et al.*, 1994). Les lésions peuvent s'étendre jusqu'aux arcs branchiaux et à l'œsophage; dans les cas graves, il peut y avoir érosion complète des mâchoires inférieure et

supérieure (Kent, 1992). Le poisson gravement infecté cesse de se nourrir (Kent, 1992). Tout cela peut entraîner des pertes économiques importantes pour les fermes d'élevage subissant des éclosions de la maladie (Hewison et Ness, 2015).

Il n'y a aucun signalement de la maladie chez le saumon sauvage du Pacifique. L'état actuel des connaissances n'est pas suffisant pour quantifier les répercussions sublétales de l'infection à *T. maritimum* dans les populations de saumon sauvage. Toutefois, si l'on suppose que des signes cliniques similaires se manifestent chez le saumon sauvage individuel en raison de l'infection, on peut s'attendre à ce que le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser affecté en migration sortante soit plus susceptible à la prédation et aux infections concomitantes.

4.2.5 Écologie du saumon rouge du fleuve Fraser

4.2.5.1 Dominance cyclique

Certains stocks de saumon rouge du fleuve Fraser sont cycliques, l'abondance variant d'une année à l'autre; l'année d'un cycle important (dominant) persistant est suivie de trois années de cycle moindre (sous-dominant ou faible). Par conséquent, les stocks cycliques se caractérisent par des montaisons importantes une fois tous les quatre ans (Grant *et al.*, 2018), ce qui n'est pas le cas des stocks non cycliques.

Sur environ 20 populations de saumon rouge dans le bassin hydrographique du fleuve Fraser qui sont dénombrées régulièrement, huit affichent des cycles persistants de quatre ans avec une lignée cyclique prédominante tous les quatre ans (DFO, 1998).

4.2.5.2 Unités de conservation

L'unité de conservation est l'unité fondamentale pour évaluer la biodiversité du saumon du Pacifique. Pour le saumon rouge du fleuve Fraser, on compte 24 unités de conservation, chaque unité de conservation étant « un groupe de saumon sauvage suffisamment isolé d'autres groupes que, s'il advenait qu'elle disparaisse, il serait très improbable de la reconstituer de manière naturelle à l'intérieur d'un délai acceptable (p. ex. le temps d'une vie humaine ou un nombre précis de générations de saumon) » (DFO, 2005).

La politique concernant le saumon sauvage définit trois zones d'état biologique (rouge, ambre et vert) (DFO, 2005)]. L'état de chaque unité de conservation de saumon rouge du fleuve Fraser a été déterminé, en intégrant des mesures pertinentes pour chaque unité de conservation afin de générer une évaluation finale du statut (DFO, 2013; Grant et Pestal, 2013). Parmi les 24 unités de conservation de saumon rouge du fleuve Fraser, sept se trouvent dans la zone rouge et quatre dans la zone rouge/ambre, des états indésirables (Grant et Pestal, 2013). Les facteurs qui contribuent à la désignation de chacune de ces unités de conservation varient, bien que celles-ci présentent généralement une faible abondance, et qu'elles aient également connu des baisses récentes d'abondance et de productivité (Grant et Pestal, 2013). Étant donné que les unités de conservation à faible abondance présentent un risque plus élevé de disparition du pays (Grant *et al.*, 2011; Holt et Bradford, 2011), les facteurs qui diminuent la survie dans ces unités de conservation en particulier feront augmenter leur risque de disparition du pays et pourraient réduire l'efficacité des mesures de rétablissement.

4.2.6 Vulnérabilité propre à un stock

À ce jour, la vulnérabilité du saumon rouge aux infections à *T. maritimum* demeure inconnue. Par conséquent, il n'y a aucune information permettant de déterminer si et dans quelle mesure la vulnérabilité à l'infection à *T. maritimum* et les manifestations cliniques de ces infections varient parmi les stocks de saumon rouge du fleuve Fraser.

4.3 HYPOTHÈSES

- Le saumon rouge est vulnérable aux infections à *T. maritimum*.
- Le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser avec détection moléculaire de *T. maritimum* était véritablement infecté et l'infection était attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery.
- Tous les stocks de saumon rouge juvénile du fleuve Fraser présentent la même vulnérabilité à l'infection à *T. maritimum* et ses conséquences potentielles.
- Les taux de mortalité à l'échelle de la population pour le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser sont comparables à ceux déclarés pour les fermes d'élevage de saumon atlantique.
- Les taux de mortalité marine attribuables à des causes autres que l'infection à *T. maritimum* sont les mêmes chez les juvéniles infectés et non infectés.

4.4 AMPLEUR DES CONSÉQUENCES

L'ampleur potentielle des conséquences sur l'abondance et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser découlant de l'exposition à une ferme d'élevage de saumon atlantique infectée par *T. maritimum* a été évaluée, et le classement a été déterminé en fonction des conséquences sur l'abondance (Tableau 3), des conséquences sur la diversité (Tableau 4) et des définitions de l'incertitude (Tableau 5).

On peut supposer que les effets nocifs potentiels de l'infection à *T. maritimum* ne concernent que les juvéniles sortants et non les adultes de retour, compte tenu des aspects suivants de l'épidémiologie de la pourriture de la bouche chez le saumon d'élevage en Colombie-Britannique :

- La pourriture de la bouche affecte principalement les saumoneaux récemment transférés dans l'eau salée (Frisch *et al.*, 2018b).
- Il n'y a pas eu de signalement de pourriture de la bouche au cours de la deuxième année des cycles de production en Colombie-Britannique, ce qui laisse penser que les poissons plus âgés présentent une très faible vulnérabilité à l'infection ou à la maladie.
- *Tenacibaculum maritimum* est un agent infectieux d'eau salée connu (Wakabayashi *et al.*, 1986; Ostland *et al.*, 1999). Grant *et al.* (2018) ont estimé que le saumon rouge du fleuve Fraser peut parcourir la distance entre la limite sud-est de la région des îles Discovery et Mission, près de l'embouchure du fleuve Fraser, en environ trois à quatre jours. Par conséquent, même si certains adultes naïfs étaient effectivement exposés autour de la région des îles Discovery, on s'attendrait à ce que l'eau douce inhibe une propagation plus avancée dans la population des adultes en montaison, ce qui limiterait les effets nocifs potentiels.

De ce fait, l'évaluation des conséquences ne porte que sur les effets potentiels de l'infection du saumon rouge juvénile du fleuve Fraser.

Il existe très peu de données traitant précisément du saumon rouge sauvage, de *T. maritimum* et de la pourriture de la bouche pour éclairer l'analyse et l'estimation de l'ampleur des conséquences sur l'abondance et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser. Par conséquent, des données de substitution et de l'information relative à d'autres espèces, en plus des données limitées propres au saumon rouge, ont servi à modéliser quantitativement les estimations de la mortalité du saumon rouge juvénile du fleuve Fraser résultant d'une infection à

T. maritimum attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery.

La distribution de probabilité de la mortalité du saumon rouge juvénile du fleuve Fraser attribuable à une infection à *T. maritimum* a été calculée comme le produit 1) de la prévalence estimée de l'infection chez les juvéniles à partir des détections moléculaires rapportées par Nekouei *et al.* (2018) [section 4.2.2]; et 2) du taux de mortalité de substitution du poisson d'élevage rapporté par Frelier *et al.* (1994) [section 4.2.3]. Le taux de mortalité cumulatif déclaré lors d'une éclosion chez des saumoneaux d'élevage est considéré comme une surestimation de la mortalité réelle pour le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser, étant donné la densité supérieure des poissons d'élevage comparativement aux poissons sauvages, et l'exposition prolongée des poissons d'élevage dans une cage comparativement à l'exposition transitoire de saumon rouge juvénile du fleuve Fraser pendant la migration dans la région des îles Discovery.

4.4.1 Répercussions possibles sur l'abondance

Dans le meilleur des cas, il n'y aurait pas de propagation de l'infection dans les populations migratoires (cheminement A de la Figure 8); par conséquent, aucune conséquence négative ne serait attendue au niveau de la population.

En supposant qu'une infection à *T. maritimum* attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique dans les îles Discovery se propage au sein de la population (cheminement B dans la Figure 8), deux scénarios ont été élaborés dans lesquels la prévalence estimée variait selon les détections moléculaires rapportées par Nekouei *et al.* (2018). Étant donné que des échantillons ont été recueillis sur deux ans (2012 et 2013) et que des détections positives n'ont été signalées qu'au cours d'une des deux années (2012) :

- Le scénario 1 utilise la moyenne pondérée de la prévalence en 2012 et 2013 (0,66 %) comme scénario prudent fondé sur l'estimation globale de la prévalence.
- Le scénario 2 utilise uniquement la prévalence en 2012 (2,4 %) comme scénario de la pire éventualité, en excluant l'année sans détection.

Des distributions bêta ont servi à propager l'incertitude relative à la mesure de ces deux estimations (p. ex. méthodes d'échantillonnage) [voir les annexes pour plus de détails].

Les deux scénarios ont utilisé la mortalité cumulative de substitution des poissons d'élevage décrite dans Frelier *et al.* (1994). Les proportions de mortalité attribuable à la pourriture de la bouche dans les fermes d'élevage variaient entre 0 et 30 % avec un mode présumé de 10 % (voir la section 4.2.3). Une distribution PERT a été appliquée pour propager l'incertitude de mesure entourant ces estimations (voir l'annexe pour plus de détails). Bien que la mortalité de 30 % chez le saumon atlantique d'élevage potentiellement infecté en Colombie-Britannique soit considérée comme une surestimation, nous avons appliqué ce pourcentage comme limite supérieure théorique en raison d'un manque d'information sur le saumon rouge, et pour générer un scénario de la pire éventualité fondé sur la seule étude disponible signalant une éclosion de pourriture de la bouche chez des salmonidés en l'absence de traitement.

Les distributions des probabilités de prévalence et de mortalité ont été produites à partir de 100 000 itérations dans R ([version 3.5.2](#)). Afin de produire les distributions de probabilité et d'incertitude pour la mortalité potentielle chez le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser selon les deux scénarios, la prévalence de l'infection à *T. maritimum* (distributions bêta) et la mortalité cumulative attribuable à la pourriture de la bouche (distributions PERT) ont été multipliées. Le Tableau 16 présente les statistiques sommaires des deux distributions finales. L'annexe présente une description plus détaillée de ce processus et une visualisation des distributions respectives.

Tableau 16. Statistiques sommaires des distributions simulées de la probabilité de mortalité chez le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser attribuable à une infection à *Tenacibaculum maritimum* disséminé à partir de fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery. La mortalité est définie comme le nombre de décès dus à une infection à *T. maritimum* par rapport à la population migratoire totale par année. Deux scénarios sont envisagés en fonction de la prévalence de l'infection rapportée par Nekouei et al. (2018) (scénario 1 : raisonnable et scénario 2 : pire éventualité).

Statistiques	Mortalité associée à <i>Tenacibaculum maritimum</i> chez le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser (%)	
	Scénario 1 (raisonnable)	Scénario 2 (pire éventualité)
Min.	< 0,01	< 0,01
2,5 %	0,01	0,05
25 %	0,05	0,17
50 %	0,08	0,29
75 %	0,12	0,44
97,5 %	0,24	0,87
99 %	0,29	1,00
Max.	0,59	2,40

Selon les estimations du scénario 1, la mortalité associée à *T. maritimum* chez les saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser migrant chaque année par la région des îles Discovery variait entre 0 et 0,59 %, avec une médiane de 0,08 % (Tableau 16). Dans ce scénario, il y avait une certitude à 99 % que la mortalité attribuable aux infections à *T. maritimum* des fermes d'élevage de saumon atlantique serait inférieure à 0,29 % (Figure 9), d'où une certitude à 99 % que les pertes au niveau de la population seraient négligeables selon le tableau 3.

Selon les estimations du scénario 2, la mortalité associée à *T. maritimum* chez les saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser migrant chaque année par la région des îles Discovery variait entre 0 et 2,4 %, avec une médiane de 0,29 % (Tableau 16). Dans ce scénario, il y avait une certitude à 99 % que la mortalité attribuable aux infections à *T. maritimum* des fermes d'élevage de saumon atlantique serait inférieure à 1 % (Figure 9), d'où une certitude à 99 % que les pertes au niveau de la population seraient négligeables selon le Tableau 3.

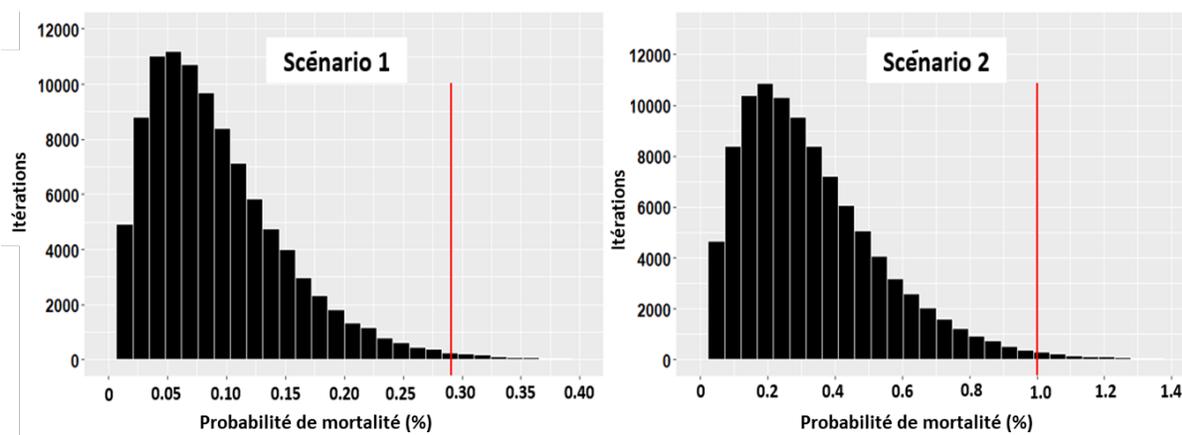


Figure 9. Distributions simulées de la probabilité de mortalité chez le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser attribuable à une infection à *Tenacibaculum maritimum* disséminé à partir de fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery. La mortalité est définie comme le nombre de décès dus à une infection avec *T. maritimum* par rapport à la population migratoire totale par année. Deux scénarios sont envisagés en fonction de la prévalence de l'infection rapportée par Nekouei et al. (2018) [scénario 1 : raisonnable et scénario 2 : pire éventualité]. Les lignes verticales représentent le 99^e centile des distributions.

Les conséquences sublétales d'une infection à *T. maritimum* ne peuvent pas être estimées en raison du manque d'information pertinente (voir la section 4.2.4). Toutefois, pour proposer une estimation déterministe très prudente, si nous supposons que toutes les détections représentent une infection véritable (prévalence maximale de 5/208) et que tous les poissons infectés meurent (c.-à-d. le pire scénario absolu pour les conséquences de l'infection), la mortalité globale à l'échelle de la population serait de 2,4 %, ce qui correspond à une perte mineure à l'échelle de la population selon le Tableau 3.

Il est possible que les échantillons recueillis dans Nekouei et al. (2018) puissent ne pas avoir détecté certains saumons rouges infectés qui seraient rapidement morts ou disparus (p. ex. victimes de prédation) après une exposition à la bactérie originaire des fermes d'élevage, et qui n'ont donc pas été saisis dans les échantillons. Inversement, la prévalence de l'infection dans l'évaluation des conséquences peut être surestimée de façon invraisemblable étant donné que : 1) les échantillons de cette étude étaient des homogénats de cinq tissus différents, y compris des branchies; par conséquent, les détections moléculaires de *T. maritimum* ne peuvent pas être interprétées directement comme un signe du saumon rouge infecté; 2) les cinq détections étaient faites au cours d'une année sans ESP correspondant attribué à la pourriture de la bouche dans les fermes d'élevage (2012) et il n'y a eu aucune détection dans les échantillons de l'année avec deux ESP dans les fermes d'élevage (2013); et 3) le rendement diagnostique de la méthode de PCR quantitative à haut débit utilisée dans cette étude n'a pas encore été validé au plan diagnostique. Les incertitudes liées à cette étude ont été résolues par le recours à des scénarios conservateur et de la pire éventualité décrits précédemment.

Dans l'ensemble, nous avons conclu que l'ampleur potentielle des conséquences sur l'abondance du saumon rouge du fleuve Fraser serait **négligeable**, compte tenu de la proportion déclarée de la détection de *T. maritimum* chez le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser et de la mortalité déclarée attribuée à la pourriture de la bouche chez le saumon d'élevage (à titre de données de substitution). Cette conclusion a été tirée avec une **incertitude raisonnable**, étant donné qu'une seule étude a fourni des estimations de la prévalence de

l'infection chez le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser et l'utilisation de données de substitution sur la mortalité.

4.4.2 Répercussions possibles sur la diversité

La détermination des répercussions possibles sur la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser d'une infection à *T. maritimum* attribuable à des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery repose sur les répercussions possibles sur l'abondance en deux générations (huit ans dans le cas du saumon rouge du fleuve Fraser).

D'après l'occurrence de la pourriture de la bouche dans les fermes d'élevage entre 2002 et 2018 (Tableau 11), l'infection à *T. maritimum* dans les fermes d'élevage de saumon atlantique s'est manifestée 11 années sur 17 ($P = 65\%$) pendant la période de migration sortante du saumon rouge juvénile du fleuve Fraser. On peut donc s'attendre à ce que des juvéniles soient exposés à des fermes d'élevage de saumon atlantique infectées par *T. maritimum* pendant leur migration sortante en moyenne cinq années ($65\% \times 8$) sur huit. En outre, au cours des années d'exposition et d'infection subséquente, il existe une certitude à 99 % que la mortalité attribuable aux infections à *T. maritimum* depuis des fermes d'élevage de saumon atlantique ne dépasserait pas 1 % (voir la section 4.4.1).

Par conséquent, nous avons conclu que l'ampleur potentielle des conséquences sur la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser serait **négligeable** sur deux générations (huit ans), en raison de l'absence d'infection dans les fermes d'élevage au cours de certaines années (trois sur huit) et de la très faible probabilité de mortalité de la population ($<1\%$) au cours des années avec des preuves d'infection dans les fermes d'élevage (cinq sur huit). Cette conclusion a été tirée avec une **incertitude raisonnable** compte tenu du recours à une seule étude pour la prévalence de l'infection (fondée sur la détection moléculaire) et de l'utilisation de données de substitution pour la mortalité, ainsi que de l'incertitude quant à la vulnérabilité du saumon rouge du fleuve Fraser à l'infection à *T. maritimum*.

5 ESTIMATION DU RISQUE

5.1 ABONDANCE

Le risque pour l'abondance du saumon rouge du fleuve Fraser en conséquence d'une infection à *T. maritimum* attribuable à des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery (Tableau 17) a été estimé au moyen de la matrice des risques combinant les résultats de l'évaluation de la probabilité et ceux de l'évaluation des conséquences pour l'abondance du saumon rouge du fleuve Fraser (Figure 3).

Tableau 17. Estimation du risque pour l'abondance du saumon rouge du fleuve Fraser en conséquence d'une infection par *Tenacibaculum maritimum* attribuable à des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery selon les pratiques d'élevage actuelles.

Groupe d'exposition	Évaluation de la probabilité	Évaluation des conséquences	Risque pour l'abondance du saumon rouge du fleuve Fraser
Saumon rouge juvénile du fleuve Fraser	Improbable	Négligeable	Minime
Saumon rouge adulte du fleuve Fraser	Très improbable	Négligeable	Minime

De manière générale, il a été conclu que selon les pratiques d'élevage actuelles, le risque pour l'abondance du saumon rouge du fleuve Fraser à la suite d'une infection à *T. maritimum* attribuable à des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery est **minime**.

5.2 DIVERSITÉ

Le risque pour l'abondance du saumon rouge du fleuve Fraser en conséquence d'une infection à *T. maritimum* attribuable à des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery (Tableau 18) a été estimé au moyen de la matrice des risques combinant les résultats de l'évaluation de la probabilité et ceux de l'évaluation des conséquences pour la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser (Figure 4).

Tableau 18. Estimation du risque pour la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser en conséquence d'une infection à *Tenacibaculum maritimum* attribuable à des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery selon les pratiques d'élevage actuelles.

Groupe d'exposition	Évaluation de la probabilité	Évaluation des conséquences	Risque pour la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser
Saumon rouge juvénile du fleuve Fraser	Improbable	Négligeable	Minime
Saumon rouge adulte du fleuve Fraser	Très improbable	Négligeable	Minime

Il a été conclu que selon les pratiques d'élevage actuelles, le risque pour la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser à la suite d'une infection à *T. maritimum* attribuable à des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery est **minime**.

6 SOURCES D'INCERTITUDE

L'incertitude totale comprend à la fois la variabilité, qui est une fonction du système non réductible par d'autres mesures, et le manque de connaissances qui peut être réduit par l'obtention de données supplémentaires ou d'avis d'experts (Vose, 2008). Les principales incertitudes dans la présente évaluation des risques se rattachent à l'évaluation de la probabilité, ainsi qu'à l'évaluation des conséquences.

La principale incertitude dans cette évaluation des risques se rapporte à la vulnérabilité du saumon rouge à une infection à *T. maritimum*. À ce jour, la preuve de présence de l'agent pathogène chez le saumon rouge se limite à sa détection moléculaire. Il n'y a aucune preuve d'isolement de *T. maritimum* ou de signes cliniques attribués à l'agent pathogène chez le saumon rouge. En adoptant une approche prudente dans la présente évaluation des risques, nous avons présumé que le saumon rouge était vulnérable à l'infection à *T. maritimum*.

6.1 ÉVALUATION DE LA PROBABILITÉ

Compte tenu des règles de combinaison (section 2.2.5.4), le classement global de l'évaluation de la probabilité a été déterminé par le classement de l'évaluation de l'infection. Les incertitudes liées à cette étape sont donc les plus pertinentes pour la présente évaluation des risques.

Les principales incertitudes dans l'évaluation de l'infection proviennent du manque de connaissances permettant (i) d'estimer la pression d'infection de *T. maritimum* attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique (étant donné que la prévalence de la bactérie dans les fermes d'élevage et les taux de dissémination du saumon atlantique infecté à *T. maritimum* en

Colombie-Britannique sont inconnus); et (ii) de déterminer la dose infectieuse minimale de *T. maritimum* chez le saumon rouge.

Compte tenu de l'interaction directe brève et limitée du saumon rouge du fleuve Fraser avec les sites des fermes d'élevage, nous avons conclu qu'une infection à *T. maritimum* surviendrait occasionnellement. Toutefois, en raison du manque de connaissances et du recours à des données sur des espèces de substitution, ce classement a été établi avec un degré élevé d'incertitude.

Le classement de la probabilité d'infection devrait être revu si et quand les lacunes susmentionnées dans les connaissances sont comblées. Le classement révisé pourrait être supérieur ou inférieur au classement actuel. Par exemple, s'il était démontré que le saumon rouge est plus vulnérable que le saumon atlantique à une infection à *T. maritimum*, la probabilité d'infection augmenterait et vice versa.

6.2 ÉVALUATION DES CONSÉQUENCES

Les principales incertitudes de l'évaluation des conséquences se rattachent au manque de connaissance à propos (i) de la vulnérabilité du saumon rouge à une infection à *T. maritimum* et au développement de la pourriture de la bouche; (ii) de la prévalence véritable de *T. maritimum* chez les saumons rouges du fleuve Fraser en migration attribuable à des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery (selon les explications précédentes); et (iii) du taux de mortalité attribuable à une infection à *T. maritimum* chez le saumon rouge.

La prévalence de l'infection à *T. maritimum* chez le saumon rouge du fleuve Fraser en migration attribuable à des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery a été estimée à partir de la prévalence de la bactérie par détection moléculaire chez les saumons rouges du fleuve Fraser échantillonnés le long de leur voie de migration sortante. Étant donné que ces estimations ne reposaient que sur une seule étude, deux scénarios ont été élaborés pour explorer les conséquences, dont le scénario de la pire éventualité pour l'infection.

Le taux de mortalité attribuable à l'infection à *T. maritimum* chez le saumon rouge a été estimé d'après la mortalité déclarée chez les salmonidés d'élevage comme taux de substitution, ce qui est considéré comme le scénario de la pire éventualité (c.-à-d. une surestimation de la mortalité), étant donné la différence dans la densité et la durée d'exposition à la bactérie entre les populations sauvages et les populations d'élevage.

L'état actuel des connaissances n'est pas suffisant non plus pour quantifier les répercussions sublétales de l'infection à *T. maritimum* chez le saumon sauvage. Pour corriger cette situation, nous avons supposé que tous les poissons infectés mourraient, ce qui représentait le scénario de la pire éventualité et donnait une surestimation des effets sublétaux.

Enfin, on ne dispose pas de données propres aux stocks sur la prévalence de l'infection et les taux de mortalité. Par conséquent, nous avons présumé que tous les stocks présentent la même vulnérabilité à l'infection et à ses conséquences potentielles. En général, dans le scénario de la pire éventualité, les estimations de la mortalité étaient très faibles; par conséquent, nous ne nous attendions pas à ce que cette source d'incertitude influe sur nos conclusions de l'estimation du risque à long terme.

7 CONCLUSIONS

L'évaluation a permis de conclure que *T. maritimum* attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery pose un risque **minime** pour l'abondance et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser selon les pratiques d'élevage actuelles.

L'attribution du risque minimal a été principalement influencée par deux facteurs. Tout d'abord, il est improbable qu'un saumon rouge juvénile du fleuve Fraser et très improbable qu'un saumon rouge adulte du fleuve Fraser soit infecté à *T. maritimum* disséminé à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery, compte tenu du fait que la pourriture de la bouche affecte principalement les saumoneaux atlantique d'élevage; que la maladie a rarement été déclarée chez le saumon du Pacifique d'élevage, ce qui laisse supposer une vulnérabilité relativement faible; et que le saumon rouge du fleuve Fraser a des interactions brèves et limitées avec les fermes d'élevage de saumon atlantique des îles Discovery. En deuxième lieu, en raison de la prévalence de détection de l'infection à *T. maritimum* chez le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser, l'infection à la bactérie attribuable à des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery devrait avoir des répercussions négligeables sur l'abondance et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser.

L'incertitude demeure au sujet de la vulnérabilité du saumon rouge à une infection à *T. maritimum* et des répercussions à long terme d'une infection sub létale dans des stocks précis et vulnérables de saumon rouge du fleuve Fraser, qui pourraient avoir été exposés à répétition à des fermes d'élevage infectées pendant des années consécutives. Les sources importantes d'incertitude ont été évaluées et documentées au moyen du classement des probabilités et des conclusions, en adoptant une approche prudente. Les conclusions de la présente évaluation des risques devraient être revues lorsque de nouveaux renseignements pertinents deviendront disponibles.

8 RÉFÉRENCES CITÉES

- Alsina, M. and Blanch, A. R. 1993. First isolation of *Flexibacter maritimus* from cultivated turbot (*Scophthalmus maximus*). Bull. Eur. Assoc. Fish Pathol. 13(5): 157.
- Avendaño-Herrera, R., Irgang, R., Magarinos, B., Romalde, J. L. and Toranzo, A. E. 2006a. Use of microcosms to determine the survival of the fish pathogen *Tenacibaculum maritimum* in seawater. Environ. Microbiol. 8(5): 921-928.
- Avendaño-Herrera, R., Toranzo, A. E. and Magariños, B. 2006b. Tenacibaculosis infection in marine fish caused by *Tenacibaculum maritimum*: a review. Dis. Aquat. Org. 71: 255-266.
- Cepeda, C. and Santos, Y. 2002. First isolation of *Flexibacter maritimus* from farmed Senegalese sole (*Solea senegalensis*, Kaup) in Spain. Bull. Eur. Assn. Fish P. 22(6): 388-392.
- Chandler, P. C., Foreman, M. G. G., Ouellet, M., Mimeault, C. and Wade, J. 2017. [Oceanographic and environmental conditions in the Discovery Islands, British Columbia](#). DFO Can. Sci. Adv. Sec. Res. Doc. 2017/071. viii + 51 p.
- Cohen, B. I. 2012. Recommendations, summary, process. *In* The uncertain future of Fraser River Sockeye. Minister of Public Works and Government Services Canada. Publishing and Depository Services, Ottawa, ON. Vol 3: 211 p.
- Cox, L. A. T. J. 2008. What's wrong with risk matrices? Risk. Anal. 28(2): 497-512.

-
- Cudmore, B., Mandrak, N. E., Dettmers, J., Chapman, D. C. and Kolar, C. S. 2012. [Binational Ecological Risk Assessment of Bigheaded Carps \(*Hypophthalmichthys* spp.\) for the Great Lakes Basin](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2011/114. vi + 57 p.
- Declercq, A. M., Haesebrouck, F., Van den Broeck, W., Bossier, P. and Decostere, A. 2013. Columnaris disease in fish: a review with emphasis on bacterium-host interactions. *Vet. Res.* 44(1): 27-27.
- Devesa, S., Barja, J. L. and Toranzo, A. E. 1989. Ulcerative skin and fin lesions in reared turbot, *Scophthalmus maximus* (L.). *J. Fish Dis.* 12: 323-333.
- DFO. 1998. The 1997 Fraser Sockeye Cycle. Fisheries and Oceans Canada. Stock Status Report D6-01. 5 p.
- DFO. 2005. Canada's policy for conservation of wild Pacific salmon. Fisheries and Oceans Canada. 49 p.
- DFO. 2013. [Integrated biological status of Fraser River Sockeye Salmon \(*Oncorhynchus nerka*\) under the Wild Salmon Policy](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2012/056.
- DFO. 2018. [Licences for introductions and transfers. Licensing requirements specific to BC](#). Aquaculture Management Division.
- DFO. 2020. [Marine Finfish Aquaculture Licence under the Fisheries Act](#). Aquaculture Management Division.
- FAO. 2008. Understanding and applying risk analysis in aquaculture. *In* FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 519. Rome, Italy. 304 p.
- Foreman, M., Guo, M., Garver, K. A., Stucchi, D., Chandler, P., Wan, D., Morrison, J. and Tuele, D. 2015a. Modelling infectious hematopoietic necrosis virus dispersion from marine salmon farms in the Discovery Islands, British Columbia, Canada. *PLoS One* 10(6): e0130951.
- Foreman, M. G. G., Chandler, P. C., Stucchi, D. J., Garver, K. A., Guo, M., Morrison, J. and Tuele, D. 2015. [The ability of hydrodynamic models to inform decisions on the siting and management of aquaculture facilities in British Columbia](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2015/005. vii + 49 p.
- Foreman, M. G. G., Stucchi, D. J., Garver, K. A., Tuele, D., Isaac, J., Grime, T., Guo, M. and Morrison, J. 2012. A circulation model for the Discovery Islands, British Columbia. *Atmos. Ocean* 50(3): 301-316.
- Frelier, P. F., Elston, R. A., Loy, J. K. and Mincher, C. 1994. Macroscopic and microscopic features of ulcerative stomatitis in farmed Atlantic salmon *Salmo salar*. *Dis. Aquat. Org.* 18: 227-231.
- Freshwater, C., Trudel, M., Beacham, T. D., Gauthier, S., Johnson, S. C., Neville, C. E. and Juanes, F. 2019. Individual variation, population-specific behaviours and stochastic processes shape marine migration phenologies. *J. Anim. Ecol.* 88(1): 67-78.
- Frisch, K. 2018. Mouthrot in farmed Atlantic salmon. Thesis (Degree of Philosophiae Doctor) Department of Biological Sciences, University of Bergen. 1-139 p.
- Frisch, K., Smage, S. B., Brevik, O. J., Duesund, H. and Nylund, A. 2017. Genotyping of *Tenacibaculum maritimum* isolates from farmed Atlantic salmon in Western Canada. *J. Fish Dis.* 41(1): 131-137.

-
- Frisch, K., Smage, S. B., Johansen, R., Duesund, H., Brevik, O. J. and Nylund, A. 2018a. Pathology of experimentally induced mouthrot caused by *Tenacibaculum maritimum* in Atlantic salmon smolts. PLoS One 13(11): e0206951.
- Frisch, K., Smage, S. B., Vallestad, C., Duesund, H., Brevik, O. J., Klevan, A., Olsen, R. H., Sjaatil, S. T., Gauthier, D., Brudeseth, B. and Nylund, A. 2018b. Experimental induction of mouthrot in Atlantic salmon smolts using *Tenacibaculum maritimum* from Western Canada. J. Fish Dis. 41: 1247-1258.
- Gale, P., Brouwer, A., Ramnial, V., Kelly, L., Kosmider, R., Fooks, A. R. and Snary, E. L. 2010. Assessing the impact of climate change on vector-borne viruses in the EU through the elicitation of expert opinion. Epidemiol. Infect. 138(2): 214-225.
- GESAMP. 2008. Assessment and communication of environmental risks in coastal aquaculture. In Reports and Studies GESAMP. Rome, Italy. FAO 76: 198 p.
- Grant, A. A. M. and Jones, S. R. M. 2010. [Pathways of effects between wild and farmed finfish and shellfish in Canada: potential factors and interactions impacting the bi-directional transmission of pathogens](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2010/018. vi + 58 p.
- Grant, S. C. H., Holt, C., Wade, J., Mimeault, C., Burgetz, I. J., Johnson, S. and Trudel, M. 2018. [Summary of Fraser River Sockeye Salmon \(*Oncorhynchus nerka*\) ecology to inform pathogen transfer risk assessments in the Discovery Islands, British Columbia](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/074. v + 30 p.
- Grant, S.C.H., MacDonald, B.L., Cone, T.E., Holt, C.A., Cass, A., Porszt, E.J., Hume, J.M.B., Pon, L.B. 2011. [Evaluation of Uncertainty in Fraser Sockeye \(*Oncorhynchus nerka*\) Wild Salmon Policy Status using Abundance and Trends in Abundance Metrics](#). DFO. Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2011/087. viii + 183 p.
- Grant, S.C.H. & G. Pestal. 2013. [Integrated Biological Status Assessments Under the Wild Salmon Policy Using Standardized Metrics and Expert Judgement: Fraser River Sockeye Salmon \(*Oncorhynchus nerka*\) Case Studies](#). Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/106. v + 132 p.
- Habib, C., Houel, A., Lunazzi, A., Bernardet, J. F., Olsen, A. B., Nilsen, H., Toranzo, A. E., Castro, N., Nicolas, P. and Duchaud, E. 2014. Multilocus sequence analysis of the marine bacterial genus *Tenacibaculum* suggests parallel evolution of fish pathogenicity and endemic colonization of aquaculture systems. Appl. Environ. Microbiol. 80(17): 5503-5514.
- Hewison, T. and Ness, M. 2015. *Tenacibaculum maritimum* - a fish farm perspective. In *Tenacibaculum maritimum: Current Knowledge and Future Directions*. CAHS workshop. Campbell River, BC. 1-21 p.
- Holt, C. A. and Bradford, M. J. 2011. Evaluating benchmarks of population status for Pacific salmon. N. Amer. J. Fish. Manage. 31: 363-378.
- ISO. 2009. Risk management - Risk assessment techniques. In International Standard. IEC/FDIS 31010. 90 p.
- Johansen, L. H., Jensen, I., Mikkelsen, H., Bjørn, P. A., Jansen, P. A. and Bergh, Ø. 2011. Disease interaction and pathogens exchange between wild and farmed fish populations with special reference to Norway. Aquaculture 315: 167-186.
- Jones, S. R. M., Bruno, D. W., Madsen, L. and Peeler, E. J. 2015. Disease management mitigates risk of pathogen transmission from maricultured salmonids. Aquac. Environ. Interact. 6: 119-134.

-
- Kent, M. L. 1992. Diseases of seawater netpen-reared salmonid fishes in the Pacific Northwest. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. Vol. 116. DFO. PBS, Nanaimo, BC. 1-76 p.
- Kent, M. L. and Poppe, T. T. 1998. Diseases of seawater netpen-reared salmonid fishes. DFO. PBS, Nanaimo, B.C. 66 p.
- Levipan, H. A., Tapia-Cammas, D., Molina, V., Irgang, R., Toranzo, A. E., Magarinos, B. and Avendaño-Herrera, R. 2019. Biofilm development and cell viability: An undervalued mechanism in the persistence of the fish pathogen *Tenacibaculum maritimum*. Aquaculture 511: 1-8.
- Lunder, T., Sørum, H., G., H., Steigerwalt, A. G., P., M. and Brenner, D. J. 2000. Phenotypic and genotypic characterization of *Vibrio viscosus* sp. nov. and *Vibrio wodanis* sp. nov. isolated from Atlantic salmon (*Salmo salar*) with 'winter ulcer'. Intern. J. Syst. Evolu. Microb. 50: 427-450.
- Mandrak, N. E., Cudmore, B. and Chapman, P. M. 2012. [National Detailed-Level Risk Assessment Guidelines: Assessing the Biological Risk of Aquatic Invasive Species in Canada](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2011/092. vi + 17 p.
- Mimeault, C., Polinski, M., Garver, K. A., Jones, S. R. M., Johnson, S., Boily, F., Malcolm, G., Holt, K., Burgetz, I. J. et Parsons, G. J. 2019. [Évaluation du risque pour le saumon rouge du fleuve Fraser attribuable au transfert de l'orthoréovirus pisciaire \(RVP\) à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery \(Colombie-Britannique\)](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2019/036. viii + 50 p.
- Mimeault, C., Wade, J., Foreman, M. G. G., Chandler, P. C., Aubry, P., Garver, K. A., Grant, S. C. H., Holt, C., Jones, S., Johnson, S., Trudel, M., Burgetz, I. J. and Parsons, G. J. 2017. [Assessment of the risk to Fraser River Sockeye Salmon due to Infectious Hematopoietic Necrosis Virus \(IHNV\) transfer from Atlantic Salmon farms in the Discovery Islands, British Columbia](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/075. vii + 75 p.
- Morrison, D. B. and Saksida, S. 2013. Trends in antimicrobial use in Marine Harvest Canada farmed salmon production in British Columbia (2003-2011). Can. Vet. J. 54(12): 1160-1163.
- MPO. 2015. [Permis d'aquaculture de poissons marins en vertu de la Loi sur les pêches](#). Division de la gestion de l'aquaculture.
- MPO. 2019a. [Épisodes de mortalité dans des sites de piscicultures marine de la Colombie-Britannique 2011 et en cours](#).
- MPO. 2019b. [Événements liés à la santé du poisson signalés sur des sites de pisciculture marine de la Colombie-Britannique 2016 et en cours](#).
- MPO. 2019c. [Résultats des vérifications de la santé du poisson effectuées par le MPO pour chaque installation des sites d'aquaculture de poissons marins de la C.-B. 2011 et en cours](#).
- Nekouei, O., Vanderstichel, R., Kaukinen, K. H., Thakur, K., Ming, T., Patterson, D. A., Trudel, M., Neville, C. and Miller, K. M. 2019. Comparison of infectious agents detected from hatchery and wild juvenile Coho salmon in British Columbia, 2008-2018. PLOS-ONE 14(9): e0221956.
- Nekouei, O., Vanderstichel, R., Ming, T., Kaukinen, K. H., Thakur, K., Tabata, A., Laurin, E., Tucker, S., Beacham, T. D. and Miller, K. M. 2018. Detection and assessment of the distribution of infectious agents in juvenile Fraser River Sockeye Salmon, Canada, in 2012 and 2013. Front. Microbiol. 9: 1-16.
-

-
- Neville, C. M., Johnson, S. C., Beacham, T. D., Whitehouse, T., Tadey, J. and Trudel, M. 2016. Initial estimates from an integrated study examining the residence period and migration timing of juvenile sockeye salmon from the Fraser River through coastal waters of British Columbia. NPAFC Bull. 6: 45-60.
- OIE. 2010. Handbook on import risk analysis for animal and animal products. Introduction to qualitative risk analysis. Introduction and qualitative risk analysis. 2nd ed. Vol. 1. The World Organisation for Animal Health, Paris, France. 100 p.
- Ostland, V. E., Morrison, D. and Ferguson, H. W. 1999. *Flexibacter maritimus* associated with a bacterial stomatitis in Atlantic salmon smolts reared in net-pens in British Columbia. J. Aquat. Anim. Health 11(1): 35-44.
- Peeler, E. J. and Thrush, M. A. 2009. Assessment of exotic fish disease introduction and establishment in the United Kingdom via live fish transporters. Dis. Aquat. Org. 83: 85-95.
- Pepin, J. F. and Emery, E. 1993. Marine Cytophaga-like bacteria (CLB) isolated from diseased reared sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) from French Mediterranean Coast. Bull. Eur. Assoc. Fish Pathol. 13(5): 165.
- Powell, M., Carson, J. and Gelderen, R. v. 2004. Experimental induction of gill disease in Atlantic salmon *Salmo salar* smolts with *Tenacibaculum maritimum*. Dis. Aquat. Org. 61: 179-185.
- Rechisky, E. L., Stevenson, C., Porter, A. D., Welch, D. W., Furey, N. B., Healy, S., Johnston, S. and Hinch, S. G. 2018. Telemetry-based estimates of early marine survival and residence time of juvenile sockeye salmon in the Strait of Georgia and Queen Charlotte Strait, 2017. *In* State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2017. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3266. viii + 245 p.
- Stevenson, C. F., Hinch, S. G., Poster, A. D., Rechisky, E. L., Welch, D. W., Healy, S. J., Lotto, A. G. and Furey, N. B. 2019. The influence of smolt age on freshwater and early marine behavior and survival of migrating juvenile sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). T. Am. Fish. Soc. 148: 636-651.
- Taranger, G. L., Karlsen, Ø., Bannister, R. J., Glover, K. A., Husa, V., Karlsbakk, E., Kvamme, B. O., Boxaspen, K. K., Bjorn, P. A., Finstad, B., Madhun, A. S., Morton, H. C. and Svasand, T. 2015. Risk assessment of the environmental impact of Norwegian Atlantic salmon farming. ICES J. Mar. Sci. 72(3): 997-1021.
- Vose, D. 2008. Risk analysis: a quantitative guide. 3rd ed. Wiley, Chichester, England. 735 p.
- Wade, J. 2017. [British Columbia farmed Atlantic Salmon health management practices](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/072. vi + 55 p.
- Wade, J. et Weber, L. 2020. [Caractérisation de la bactérie *Tenacibaculum maritimum* et de la pourriture de la bouche pour informer les évaluations des risques de transfert d'agents pathogènes en Colombie-Britannique](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2020/061. iv + 34 p.
- Wakabayashi, H., Hikida, M. and Masumura, K. 1984. *Flexibacter* infection in cultured marine fish in Japan. Helgol. Meeresunters. 37: 587-593.
- Wakabayashi, H., Hikida, M. and Masumura, K. 1986. *Flexibacter maritimus* sp. nov., a pathogen of marine fishes. International Journal of Systematic Bacteriology 36(3): 396-398.

9 ANNEXE

La présente annexe explicite l'approche quantitative employée pour estimer la mortalité chez le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser découlant d'une infection à *T. maritimum* attribuable à des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery, en incluant les distributions mentionnées dans l'évaluation des conséquences.

La distribution de probabilité de la mortalité du saumon rouge juvénile du fleuve Fraser attribuable à une infection à *T. maritimum* a été calculée comme le produit de distributions représentant (1) la prévalence estimée de l'infection chez les juvéniles et (2) le taux de mortalité de substitution de poissons d'élevage.

La distribution bêta s'utilise couramment pour la propagation de l'incertitude au sujet des proportions (p. ex. estimations de la prévalence) dans l'analyse quantitative des risques (Vose, 2008), et a donc été appliquée pour propager la mesure de l'incertitude au sujet de la prévalence estimée de l'infection à *T. maritimum* chez les juvéniles. Cette distribution a deux paramètres de forme, « a » et « b ». La distribution bêta est l'a priori conjugué (c.-à-d. qu'elle a la même forme fonctionnelle) de la fonction de vraisemblance binomiale dans l'inférence bayésienne. À ce titre, elle sert souvent à décrire l'incertitude au sujet d'une probabilité binomiale, étant donné un certain nombre « n » d'essais effectués avec un certain nombre de succès « s » enregistrés. Dans ces situations, « a » est réglé à la valeur (s + x) et « b » est réglé à (n - s + y), où $\beta(x, y)$ est l'a priori (Vose, 2008). Parce qu'aucune information sur la prévalence de l'infection à *T. maritimum* chez le saumon rouge juvénile n'était disponible avant l'étude de Nekouei *et al.* (2018), un a priori non informatif a été utilisé (c.-à-d. x = 1 et y = 1). En appliquant la distribution bêta à cette évaluation des risques, « n » est le nombre de poissons échantillonnés et « s » est le nombre de détections positives; par conséquent, le paramètre « a » est le nombre d'échantillons positifs + 1 et le paramètre « b » est le nombre d'échantillons négatifs + 1.

La distribution PERT est utilisée pour modéliser les estimations des experts, selon les estimations minimales, les plus probables et maximales des experts (Vose, 2008). Compte tenu des données limitées disponibles pour estimer la mortalité attribuable à la pourriture de la bouche, une distribution PERT a été appliquée pour propager l'incertitude de mesure entourant ce paramètre. La distribution PERT est une version de la distribution bêta qui requiert trois paramètres : minimum (a), mode (b) et maximum (c) [semblable à une distribution triangulaire]. Dans notre cas, ces paramètres ont été extraits de la seule étude disponible par Freliey *et al.* (1994).

Les distributions bêta et PERT ont été multipliées afin de produire les distributions de probabilité pour la mortalité potentielle chez le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser selon les deux scénarios.

9.1 SCÉNARIO 1

Le scénario 1 a utilisé 0,66 % (5/758) pour la prévalence de l'infection à *T. maritimum* chez le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser (moyenne pondérée de 5/208 en 2012 et de 0/550 en 2013, les dénominateurs étant le nombre d'échantillons prélevés dans la région des îles Discovery et plus au nord; O. Nekouei, comm. pers., 2019). Par conséquent, la prévalence estimée de l'infection à *T. maritimum* attribuée à des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery est représentée par $\beta(6, 754)$. La mortalité cumulative attribuable à la pourriture de la bouche dans les fermes à l'échelle des cages variait entre 0 et 30 %, avec un mode présumé de 10 % (Frelier *et al.*, 1994). Ces estimations étaient représentées par PERT (0, 0,1, 0,3). La Figure 10 illustre les distributions ci-dessus et leur produit représentant la mortalité potentielle du saumon rouge juvénile du fleuve Fraser selon ce scénario.

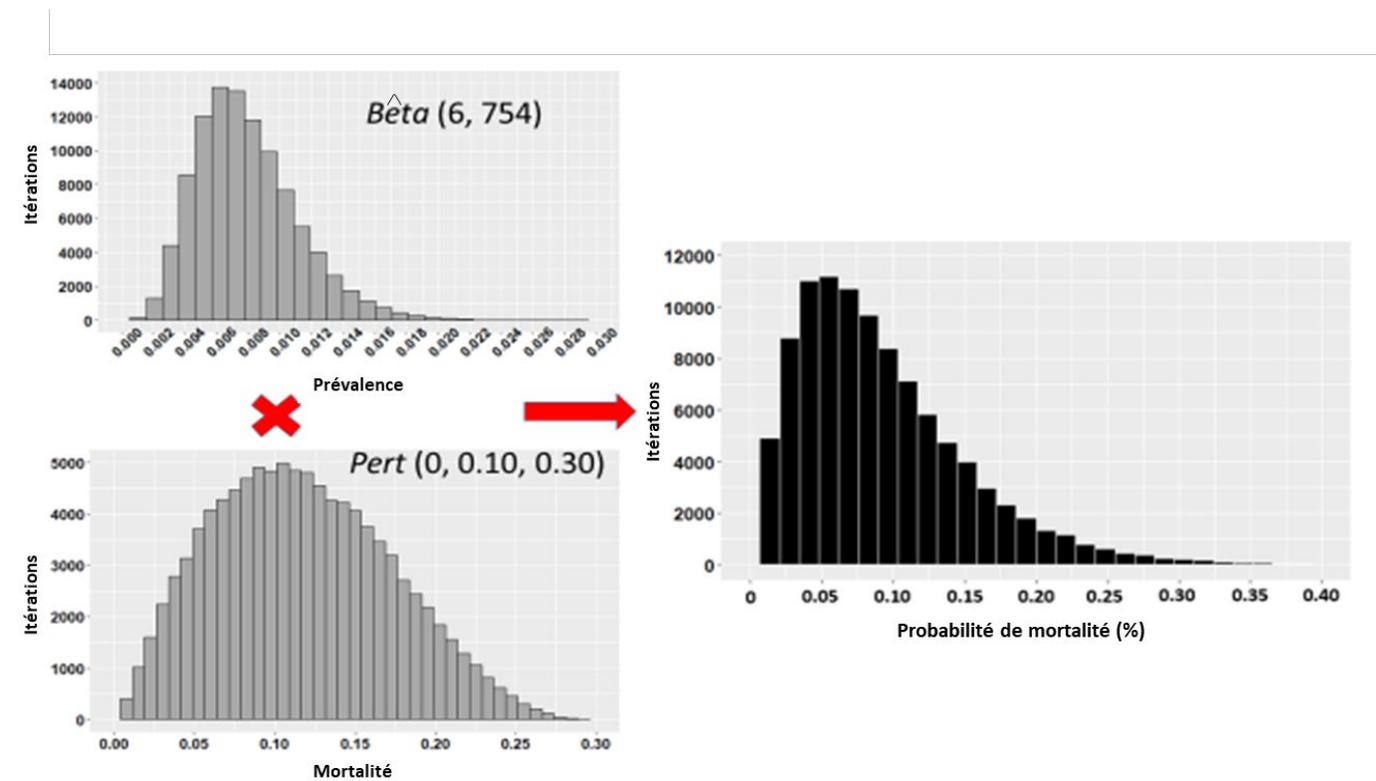


Figure 10. Distributions de probabilité selon le scénario 1. 1) $\beta(6, 754)$ représente la prévalence estimée de l'infection à *Tenacibaculum maritimum*; cinq détections sur 758 saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser échantillonnés dans la région des îles Discovery et plus loin (vers Haida Gwaii) en 2012 et 2013; 2) $PERT(0, 0, 1, 0, 3)$ représente les proportions de mortalité attribuables à la pourriture de la bouche dans les fermes, qui variaient entre 0 et 30 % avec un mode présumé de 10 % (information de substitution); et 3) le produit de ces deux distributions représente la distribution de probabilité de mortalité potentielle chez le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser attribuable à *T. maritimum* depuis les fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery selon les pratiques d'élevage actuelles. Les distributions ont été produites par 100 000 itérations dans R (version 3.5.2).

9.2 SCÉNARIO 2

Le scénario 2 a utilisé 2,4 % (5/208) pour la prévalence de l'infection à *T. maritimum* chez le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser à partir des détections positives d'échantillons prélevés dans la région des îles Discovery et plus au nord en 2012 seulement. Par conséquent, la prévalence estimée de l'infection à *T. maritimum* attribuée à des fermes de saumon atlantique dans la région des îles Discovery est représentée par $\hat{\beta}(6, 204)$. La mortalité cumulative attribuable à la pourriture de la bouche dans les fermes d'élevage est la même que celle utilisée dans le scénario 1, représentée par $PERT(0, 0,1, 0,3)$. La Figure 11 illustre les distributions ci-dessus et leur produit représentant la mortalité potentielle du saumon rouge juvénile du fleuve Fraser selon ce scénario.

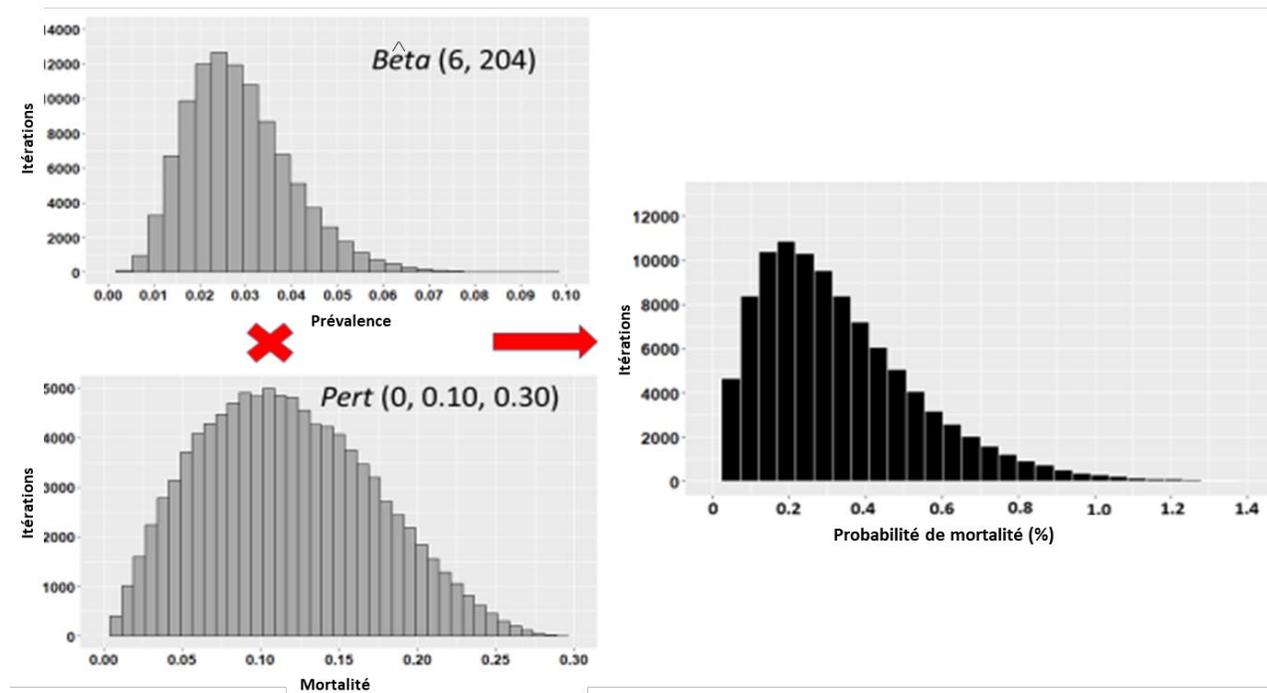


Figure 11. Distributions de probabilité selon le scénario 2. 1) $\hat{\beta}(6, 204)$ représente la prévalence estimée de l'infection à *Tenacibaculum maritimum*; cinq détections sur 208 saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser échantillonnés dans la région des îles Discovery et plus loin (vers Haida Gwaii) en 2012; 2) $PERT(0, 0,1, 0,3)$ représente les proportions de mortalité attribuables à la pourriture de la bouche dans les fermes, qui variaient entre 0 et 30 % avec un mode présumptif de 10 % (information de substitution); et 3) le produit de ces deux distributions représente la distribution de probabilité de mortalité potentielle chez le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser attribuable à *T. maritimum* depuis les fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery selon les pratiques d'élevage actuelles. Les distributions ont été produites par 100 000 itérations dans R (version 3.5.2).