



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 2019/021

Région de la capitale nationale

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

C. Mimeault¹, S.R.M. Jones², J. Wade³, P. Aubry⁴, S. Johnson², M.G.G. Foreman⁵, K.A. Garver², C. Holt², F. Boily¹, I.J. Burgetz¹ et 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

³Fundy Aqua Services Inc.
1859, Delanice Way
Nanoose Bay (Colombie-Britannique) V9P 9B3

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

⁵Pêches et Océans Canada
Institut des sciences marines
9860, chemin West Saanich
Sidney (Colombie-Britannique) V8L 5T5

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., Jones, S.R.M., Wade, J., Aubry, P. Johnson, S., Foreman, M.G.G., Garver, K.A., Holt, C., Boily, F., Burgetz, I.J. et Parsons, G.J. 2020. Évaluation du risque pour le saumon rouge du fleuve Fraser attribuable au transfert de la bactérie *Piscirickettsia salmonis* 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. 2019/021. ix + 63 p.

Also available in English :

*Mimeault, C., Jones, S.R.M., Wade, J., Aubry, P. Johnson, S., Foreman, M.G.G., Garver, K.A., Holt, C., Boily, F., Burgetz, I.J. and Parsons, G.J. 2020. Assessment of the risk to Fraser River Sockeye Salmon due to *Piscirickettsia salmonis* transfer from Atlantic Salmon farms in the Discovery Islands area, British Columbia. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2019/021. ix + 56 p.*

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX.....	V
LISTE DES FIGURES.....	VII
GLOSSAIRE.....	VIII
RÉSUMÉ.....	IX
1 INTRODUCTION.....	1
2 CONTEXTE.....	1
2.1 OBJECTIFS DE GESTION ET DE PROTECTION.....	2
2.2 DÉFINITION DU PROBLÈME.....	2
2.2.1 Détermination du danger.....	2
2.2.2 Caractérisation du danger.....	2
2.2.3 Portée.....	2
2.2.4 Question sur le risque.....	4
2.2.5 Méthodologie.....	4
3 ÉVALUATION DE LA PROBABILITÉ.....	10
3.1 ÉVALUATION DE L'INFECTION À LA FERME.....	10
3.1.1 Question.....	10
3.1.2 Considérations.....	10
3.1.3 Hypothèses.....	18
3.1.4 Probabilité d'infection à une ferme.....	18
3.2 ÉVALUATION DE LA DISSÉMINATION.....	20
3.2.1 Question.....	20
3.2.2 Considérations.....	20
3.2.3 Hypothèse.....	21
3.2.4 Probabilité de dissémination.....	21
3.3 ÉVALUATION DE L'EXPOSITION.....	23
3.3.1 Question.....	23
3.3.2 Considérations.....	23
3.3.3 Hypothèses.....	27
3.3.4 Probabilité d'exposition.....	28
3.4 ÉVALUATION DE L'INFECTION.....	29
3.4.1 Question.....	29
3.4.2 Considérations.....	29
3.4.3 Hypothèses.....	32
3.4.4 Probabilité d'infection.....	32
3.5 ÉVALUATION DE LA PROBABILITÉ GLOBALE.....	33
4 ÉVALUATION DES CONSÉQUENCES.....	34
4.1 QUESTION.....	35
4.2 CONSIDÉRATIONS.....	35

4.2.1	Dynamique de l'infection par <i>Piscirickettsia salmonis</i>	35
4.2.2	Prévalence et effets chez les populations de poissons sauvages	35
4.2.3	Infections subcliniques par <i>Piscirickettsia salmonis</i>	36
4.2.4	Mortalité chez des saumons d'élevage contaminés par <i>Piscirickettsia salmonis</i> en Colombie-Britannique.....	36
4.2.5	Estimation de la densité du saumon rouge du fleuve Fraser	36
4.2.6	Estimation de la proportion potentiellement exposée à des fermes contaminées.....	37
4.2.7	Estimations de l'exposition sur deux générations.....	39
4.3	HYPOTHÈSES	39
4.4	AMPLEUR DES CONSÉQUENCES	40
4.4.1	Saumon rouge juvénile du fleuve Fraser.....	40
4.4.2	Saumon rouge adulte du fleuve Fraser	41
5	ESTIMATION DU RISQUE.....	42
5.1	ABONDANCE	42
5.2	DIVERSITÉ.....	42
6	SOURCES D'INCERTITUDE	43
6.1	ÉVALUATION DE LA PROBABILITÉ.....	43
6.2	ÉVALUATION DES CONSÉQUENCES.....	43
7	CONCLUSIONS.....	44
8	RÉFÉRENCES CITÉES.....	44
9	ANNEXES.....	49
9.1	ANNEXE A : PROGRAMME DE VÉRIFICATION ET DE SURVEILLANCE DE LA SANTÉ DU POISSON.....	49
9.1.1	Détection de <i>Piscirickettsia salmonis</i> lors de vérifications et diagnostics de la septicémie rickettsienne des salmonidés (SRS).....	49
9.1.2	Saisonnalité observée durant les vérifications des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery.....	53
9.2	ANNEXE B : SURVEILLANCE ET DÉTECTIONS PAR L'INDUSTRIE.....	54
9.3	ANNEXE C : PROPORTION DE LA POPULATION POTENTIELLEMENT EXPOSÉE	
	55	
9.3.1	Juvéniles.....	55
9.3.2	Adultes.....	56
9.4	ANNEXE D : EXPOSITION SUR DEUX GÉNÉRATIONS	59
9.4.1	Approche du processus binomial	59
9.4.2	Méthode de simulation.....	63

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Liste des 18 fermes d'élevage de saumon atlantique actives incluses dans l'évaluation du risque.	4
Tableau 2. Catégories et définitions utilisées pour décrire la probabilité d'un événement sur une période d'un an.	5
Tableau 3. Catégories et définitions utilisées pour décrire les conséquences possibles sur l'abondance du saumon rouge du fleuve Fraser.	6
Tableau 4. Catégories et définitions utilisées pour décrire les conséquences possibles sur la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser.	6
Tableau 5. Catégories et définitions utilisées pour décrire le niveau d'incertitude associé aux données et aux renseignements.	7
Tableau 6. Catégories et définitions utilisées pour décrire le niveau d'incertitude associé à la gestion de la santé des poissons.	8
Tableau 7. Nombre de fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery dans lesquelles on a trouvé des preuves d'infection par <i>Piscirickettsia salmonis</i> ou de la septicémie rickettsienne des salmonidés (SRS), résumé par année.	17
Tableau 8. Facteurs contributifs et limitatifs de la probabilité que des saumons atlantiques d'élevage contaminés par <i>Piscirickettsia salmonis</i> soient présents dans une ou plusieurs fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery selon les pratiques actuelles de gestion de la santé des poissons.	19
Tableau 9. Facteurs contributifs et limitatifs de la probabilité que <i>Piscirickettsia salmonis</i> se dissémine à partir de fermes d'élevage contenant des saumons atlantiques contaminés ou malades dans la région des îles Discovery, compte tenu des pratiques d'élevage actuelles.	22
Tableau 10. Nombre de fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery dans lesquelles on a trouvé des preuves d'infection par <i>Piscirickettsia salmonis</i> ou de la septicémie rickettsienne des salmonidés (SRS), résumé par mois.	26
Tableau 11. Nombre de fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery dans lesquelles on a trouvé des preuves de <i>Piscirickettsia salmonis</i> ou de la septicémie rickettsienne des salmonidés (SRS), résumé par année et par mois.	27
Tableau 12. Facteurs contributifs et limitatifs de la probabilité que des saumons rouges du fleuve Fraser soient exposés à la bactérie <i>Piscirickettsia salmonis</i> disséminée à partir de fermes d'élevage de saumons atlantiques contaminés ou malades dans la région des îles Discovery, compte tenu des pratiques d'élevage actuelles.	28
Tableau 13. Facteurs contributifs et limitatifs de la probabilité que des saumons rouges du fleuve Fraser soient contaminés par la bactérie <i>Piscirickettsia salmonis</i> disséminée à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique contaminées de la région des îles Discovery, compte tenu des pratiques actuelles de gestion de la santé des poissons.	32
Tableau 14. Sommaire des cotes de probabilité et d'incertitude pour l'évaluation de la probabilité dans le cadre de l'évaluation du risque que pose <i>Piscirickettsia salmonis</i>	34
Tableau 15. Estimation du risque pour l'abondance du saumon rouge du fleuve Fraser résultant de la présence de la bactérie <i>Piscirickettsia salmonis</i> provenant des fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery, selon les pratiques actuelles.	42

Tableau 16. Estimation du risque pour la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser résultant de la présence de la bactérie <i>Piscirickettsia salmonis</i> provenant des fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery, selon les pratiques actuelles.....	43
Tableau 17. Sommaire des fermes d'élevage de saumon atlantique actives, du nombre de vérifications effectuées et de diagnostics de la septicémie rickettsienne des salmonidés (SRS) au niveau de la ferme, dans les fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery (zone de la santé des poissons 3-2 et trois fermes à proximité dans la zone de la santé des poissons 3-3), entre 2002 et 2016.....	50
Tableau 18. Résultats du programme vérifications de la santé des poissons (PVSSP) effectuées par la province (2002-2010) et le Pêches et Océans Canada (MPO) [2011-2016] dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery où <i>Piscirickettsia salmonis</i> ou la septicémie rickettsienne des salmonidés (SRS) a été détectée.....	52
Tableau 19. Nombre total et nombre moyen mensuel de vérifications (gouvernement de la Colombie-Britannique [2002-2010] et Division de la gestion de l'aquaculture du MPO [2011-2016]) réalisées dans les fermes de saumon atlantique dans la région des îles Discovery.	53
Tableau 20. Résumé des résultats du dépistage par l'industrie de <i>Piscirickettsia salmonis</i> entre 2011 et 2017 dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery.	54
Tableau 21. Estimation de la proportion de saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser de type lacustre qui auraient pu être exposés à une ou plusieurs fermes d'élevage de saumon atlantique contaminées par <i>Piscirickettsia salmonis</i> lors de leur migration à travers la région des îles Discovery entre 2002 et 2017.....	56
Tableau 22. Estimation de la proportion de saumons rouges adultes du fleuve Fraser qui auraient pu être exposés à une ou plusieurs fermes d'élevage de saumon atlantique contaminées par <i>Piscirickettsia salmonis</i> lors de leur migration à travers la région des îles Discovery entre 2002 et 2017.	58
Tableau 23. Probabilité d'exposition des saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser à la bactérie <i>Piscirickettsia salmonis</i> attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery pendant au moins quatre années consécutives sur une période représentant deux générations (huit ans).	61
Tableau 24. Probabilité d'exposition des saumons rouges adultes du fleuve Fraser à la bactérie <i>Piscirickettsia salmonis</i> attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery pendant au moins quatre années consécutives sur une période représentant deux générations (huit ans).	62
Tableau 25. Comparaison des estimations de l'exposition d'après le processus binomial et la stratégie bootstrap (1 000 et 10 000 itérations).	63

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Emplacements des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery (zone 3-2 et trois fermes dans la zone 3-3) incluses dans la présente évaluation du risque.	3
Figure 2. Modèle conceptuel d'évaluation du risque pour le saumon rouge du fleuve Fraser résultant de la présence de la bactérie <i>Piscirickettsia salmonis</i> attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery, en Colombie-Britannique.	5
Figure 3. Matrice des risques permettant de combiner les résultats des évaluations de la probabilité et des conséquences sur l'abondance des saumons rouges du fleuve Fraser.	9
Figure 4. Matrice des risques permettant de combiner les résultats des évaluations de la probabilité et des conséquences sur la diversité des saumons rouges du fleuve Fraser.	9
Figure 5. Résultats potentiels de l'infection d'au moins un poisson saumon rouge du Fleuve Fraser par la bactérie <i>Piscirickettsia salmonis</i> disséminée à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery.	40
Figure 6. Distribution de probabilité cumulative complémentaire de l'exposition potentielle des saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser à des fermes d'élevage de saumon atlantique contaminées par <i>Piscirickettsia salmonis</i> dans la région des îles Discovery sur une période de huit ans.	60
Figure 7. Distribution de probabilité cumulative complémentaire de l'exposition potentielle des saumons rouges adultes du fleuve Fraser à des fermes d'élevage de saumon atlantique contaminées par <i>Piscirickettsia salmonis</i> dans la région des îles Discovery sur une période de huit ans.	62

GLOSSAIRE

Aigu : Caractérisé par une progression courte et relativement grave.

Chronique : Maladie persistante ou de longue durée.

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

Écllosion : Apparition inattendue d'une maladie ou de mortalité.

Épisode de mortalité : Mortalité des poissons équivalente à 4 000 kg ou plus ou pertes atteignant 2 % de l'inventaire actuel de l'installation au cours d'une période de 24 heures; ou mortalité des poissons équivalente à 10 000 kg ou plus ou pertes atteignant 5 % sur une période de cinq jours.

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.

Événement lié à la santé des poissons (ESP) : Écllosion de maladie, soupçonnée ou déclarée, dans une installation d'aquaculture, qui nécessite l'intervention d'un vétérinaire et toutes les mesures visant à réduire ou à atténuer l'incidence et le risque associés à l'événement.

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

Maladie : État dans lequel la fonction normale ou la structure d'une partie du corps ou d'une fonction corporelle est altérée.

Mortalités fraîches : Poissons morts récemment.

Période d'incubation : Période entre l'infection et l'apparition des signes cliniques.

Porteur : Animal contaminé qui excrète des organismes pathogènes, mais ne présente aucun signe de maladie.

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

Prévalence : Nombre d'hôtes infectés par un agent pathogène (*prévalence de l'infection*) ou affectés par une maladie (*prévalence de la maladie*), exprimé en pourcentage du nombre total d'hôtes dans une population à un moment donné.

Subclinique : Signes insuffisants pour causer une maladie classique identifiable.

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

Unité formant des colonies (UFC) : Unité utilisée pour estimer le nombre de cellules bactériennes viables dans un échantillon, où la viabilité est évaluée comme la capacité à se multiplier sur un milieu de croissance artificiel (p. ex. une plaque de gélose).

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).

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

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*) en raison du transfert d'agents pathogènes du saumon atlantique (*Salmo salar*) dans les fermes d'élevage de la région des îles Discovery, en Colombie-Britannique.

Le présent document constitue l'évaluation des risques que pose pour le saumon rouge du fleuve Fraser la bactérie *Piscirickettsia salmonis* présente dans les fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery, en Colombie-Britannique, selon les pratiques d'élevage actuelles. L'évaluation des risques a été réalisée en trois étapes principales : (i) l'évaluation de la probabilité, qui comprend quatre étapes consécutives (une évaluation de l'infection dans les fermes, une évaluation de la dissémination, une évaluation de l'exposition et une évaluation de l'infection globale); (ii) l'évaluation des effets; (iii) l'estimation des risques, qui combine les résultats des deux premières étapes.

Piscirickettsia salmonis est l'agent causal de la septicémie rickettsienne des salmonidés (SRS), une maladie des poissons marins. Si l'on se fonde sur les preuves de l'infection et de la présence de la maladie dans les fermes d'élevage de saumon atlantique entre 2002 et 2017, il est improbable, avec un degré de certitude raisonnable, que les saumons atlantiques élevés dans la région des îles Discovery soient contaminés par *P. salmonis* au cours d'une année compte tenu des pratiques d'élevage actuelles. Toutefois, en cas d'infection, il est extrêmement probable, avec un degré de certitude élevé, que la bactérie soit disséminée dans le milieu marin. Si l'on tient compte de la fenêtre de migration du saumon rouge du fleuve Fraser dans la région des îles Discovery et du moment de l'infection par *P. salmonis* dans les fermes, il est improbable qu'au moins un juvénile, mais très probable qu'au moins un adulte, avec un degré de certitude raisonnable, soit exposé à la bactérie provenant des fermes où l'infection a lieu, pendant une année quelconque. Selon cette exposition, il est très improbable que des saumons rouges du fleuve Fraser soient contaminés par la bactérie *P. salmonis* disséminée à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery. Dans l'ensemble, la conclusion a été qu'il est très improbable que des saumons rouges du fleuve Fraser soient contaminés par la bactérie *P. salmonis* disséminée à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery selon les pratiques actuelles de gestion de la santé du poisson.

Dans l'éventualité très improbable d'une infection d'un saumon rouge du fleuve Fraser par *P. salmonis* provenant d'une ferme d'élevage de saumon atlantique située dans la région des îles Discovery, l'ampleur des effets potentiels d'une infection sur l'abondance et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser a été déterminée comme étant négligeable, puisque : (i) une infection contractée au stade de juvénile ne devrait pas se propager au sein de la population; et (ii) une infection contractée au stade d'adulte ne devrait pas avoir le temps de se propager avant que les poissons n'atteignent les aires de frai. En raison de lacunes importantes dans les connaissances, ces conclusions sont assorties d'un degré d'incertitude allant de raisonnable à élevé.

Dans l'ensemble, l'évaluation a permis de conclure que la présence de la bactérie *P. salmonis* attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery présente un risque minime pour l'abondance et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser compte tenu des pratiques d'élevage actuelles. Il conviendrait de revoir la présente évaluation du risque à mesure que les résultats de nouvelles recherches viendront combler les lacunes dans les connaissances.

1 INTRODUCTION

Pêches et Océans Canada (MPO) assume le rôle réglementaire d'assurer la protection de l'environnement tout en créant les conditions pour le développement d'un secteur de l'aquaculture durable sur les plans économique, social et environnemental, qui constitue une priorité pour la ministre des Pêches, des Océans et de la Garde côtière canadienne.

Il est reconnu qu'il existe des interactions entre les activités aquacoles et l'environnement (Grant et Jones, 2010; Foreman *et al.*, 2015). L'une de ces interactions est le risque de propagation possible, aux populations de saumons sauvages, de maladies infectieuses en provenance des fermes d'élevage de saumon atlantique (*Salmo salar*) situées en Colombie-Britannique (Cohen, 2012a).

La Division de la gestion de l'aquaculture du MPO a demandé un avis scientifique officiel sur le risque de transfert aux populations de poissons sauvages d'agents pathogènes à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery, en Colombie-Britannique. Étant donné la complexité des interactions entre les agents pathogènes, les hôtes et l'environnement, le MPO publie des avis scientifiques dans le cadre d'une série d'évaluations du risque propres aux agents pathogènes.

Le présent document évalue les risques que pose, pour le saumon rouge (*Oncorhynchus nerka*) du fleuve Fraser, la présence de *Piscirickettsia salmonis*, l'agent responsable de la septicémie rickettsienne des salmonidés (SRS), provenant de fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery, en Colombie-Britannique. Cet agent pathogène a été sélectionné pour faire l'objet d'une évaluation formelle du risque de transfert étant donné que la SRS a été déclarée au niveau de fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery.

Les risques posés aux autres populations de poissons sauvages et liés à d'autres exploitations aquacoles, agents pathogènes et régions de la Colombie-Britannique ne sont pas inclus dans la présente évaluation du risque.

2 CONTEXTE

La présente évaluation du risque est menée dans le cadre de l'Initiative des sciences de l'aquaculture pour l'évaluation des risques environnementaux (ci-après l'Initiative), mise en œuvre en tant qu'approche structurée pour fournir un avis scientifique axé sur les risques et ainsi mieux appuyer l'aquaculture durable au Canada. De plus, pour assurer l'uniformité des évaluations des risques effectuées dans le Cadre d'évaluation des risques environnementaux dans le domaine de l'aquaculture (ci-après le Cadre) décrit le processus et les composantes de chaque évaluation.

Le Cadre permettra de réaliser des évaluations du risque systématiques, structurées, transparentes et exhaustives. Il est conforme aux cadres internationaux et nationaux d'évaluation des risques (GESAMP, 2008; ISO, 2009) et comprend la définition des objectifs de protection et de gestion, la définition du problème, l'évaluation du risque et la production d'avis scientifiques. Les objectifs de gestion et de protection et la définition du problème ont été élaborés en collaboration avec le Secteur des sciences des écosystèmes et des océans et le Secteur de la gestion des écosystèmes et des pêches du MPO, et approuvés par la Division de la gestion de l'aquaculture.

Le Cadre comporte aussi la communication des risques et un examen scientifique par les pairs par l'entremise du Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS) du MPO, composé d'experts scientifiques internes et externes. 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](#).

Les évaluations du risque effectuées dans le cadre de l'Initiative ne tiennent pas compte des considérations socioéconomiques et ne constituent pas des analyses coûts-avantages ou des analyses risques-avantages.

2.1 OBJECTIFS DE GESTION ET DE PROTECTION

Conformément aux recommandations relatives à l'aquaculture et à la santé du poisson formulées dans le rapport final de 2012 de la Commission d'enquête sur le déclin du saumon rouge du fleuve Fraser (Cohen, 2012a), le saumon rouge du fleuve Fraser est la composante valorisée de l'écosystème dans la présente évaluation des risques, et les objectifs de gestion et de protection visent à préserver son abondance et sa diversité.

2.2 DÉFINITION DU PROBLÈME

2.2.1 Détermination du danger

Dans la présente évaluation du risque, le danger est causé par la bactérie *P. salmonis* provenant des fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery.

2.2.2 Caractérisation du danger

Jones (2019) a passé en revue les caractéristiques pertinentes de *P. salmonis* et de la SRS (p. ex. répartition de l'agent pathogène, virulence, survie dans le milieu marin, espèces sensibles, taux d'excrétion chez le saumon atlantique, doses infectieuses chez le saumon du Pacifique) et a relevé les lacunes dans les connaissances qui sont pertinentes pour la présente évaluation des risques. L'examen comprend un sommaire de la présence de *P. salmonis* et de la SRS dans les fermes d'élevage de saumon atlantique en Colombie-Britannique. Le présent document donne d'autres détails propres aux fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery.

2.2.3 Portée

La présente évaluation vise à déterminer le risque associé aux pratiques d'élevage actuelles, 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 actives dans la région des îles Discovery (zone de santé des poissons 3-2) et aux environs immédiats (trois fermes dans la zone 3-3 au nord-ouest de la zone 3-2) [voir la Figure 1 et le Tableau 1], qui sont les mêmes 18 fermes que dans Mimeault *et al.* (2017).

D'autres fermes d'élevage de saumon atlantique situées le long des voies migratoires du saumon rouge du fleuve Fraser, comme celles de l'archipel Broughton, ne sont pas visées par la présente évaluation du risque.

La présente évaluation du risque porte sur les effets directs potentiels de *P. salmonis* provenant 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. Les effets indirects potentiels sur le saumon

rouge du fleuve Fraser par l'entremise des processus écosystémiques complexes résultant de l'infection d'autres espèces sensibles de saumon du Pacifique ne sont pas pris en compte.

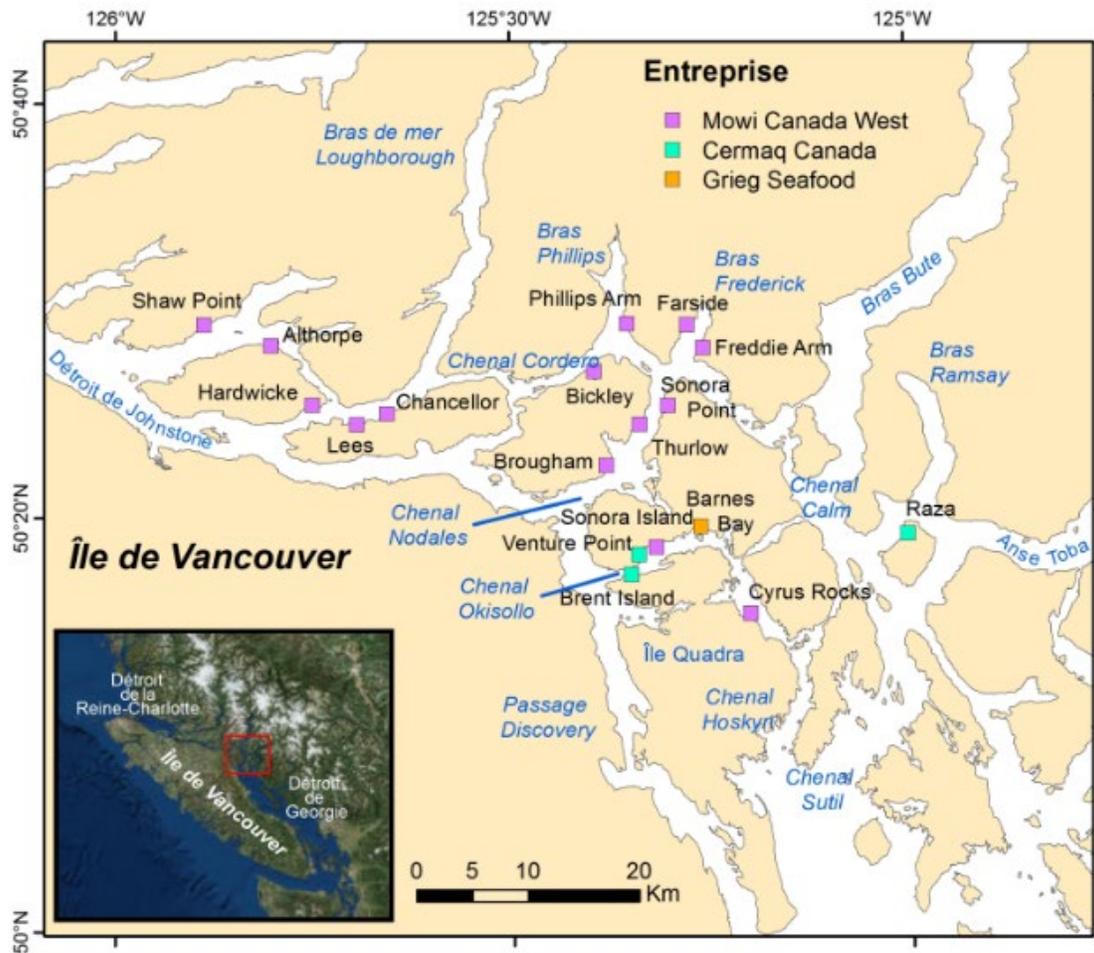


Figure 1. Emplacements des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery (zone 3-2 et trois fermes dans la zone 3-3) incluses dans la présente évaluation du risque. La taille des symboles pour les fermes piscicoles n'est pas à l'échelle. L'encart illustre l'emplacement de la région des îles Discovery en Colombie-Britannique. Adapté de Mimeault et al. (2017).

Tableau 1. Liste des 18 fermes d'élevage de saumon atlantique actives incluses dans l'évaluation du risque.

Entreprise	Ferme	Zone de surveillance de la santé du poisson
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 risque pose, pour l'abondance et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser, le transfert de *P. salmonis* à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery, selon les pratiques d'élevage actuelles?

2.2.5 Méthodologie

La méthodologie est basée sur celle décrite dans Mimeault *et al.* (2017), qui a été adaptée des lignes directrices du MPO pour l'évaluation du risque biologique posé par les espèces aquatiques envahissantes au Canada (Mandrak *et al.*, 2012), sur l'analyse des risques liés à l'importation de l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE, 2010), sur les recommandations pour les évaluations des risques en aquaculture côtière (GESAMP, 2008), et sur les directives de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture sur la compréhension et l'application de l'analyse des risques en 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 des conséquences potentielles sont combinées dans une matrice 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 détermine l'ampleur potentielle des effets de l'infection par *P. salmonis* provenant 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.

ÉVALUATION DE LA PROBABILITÉ

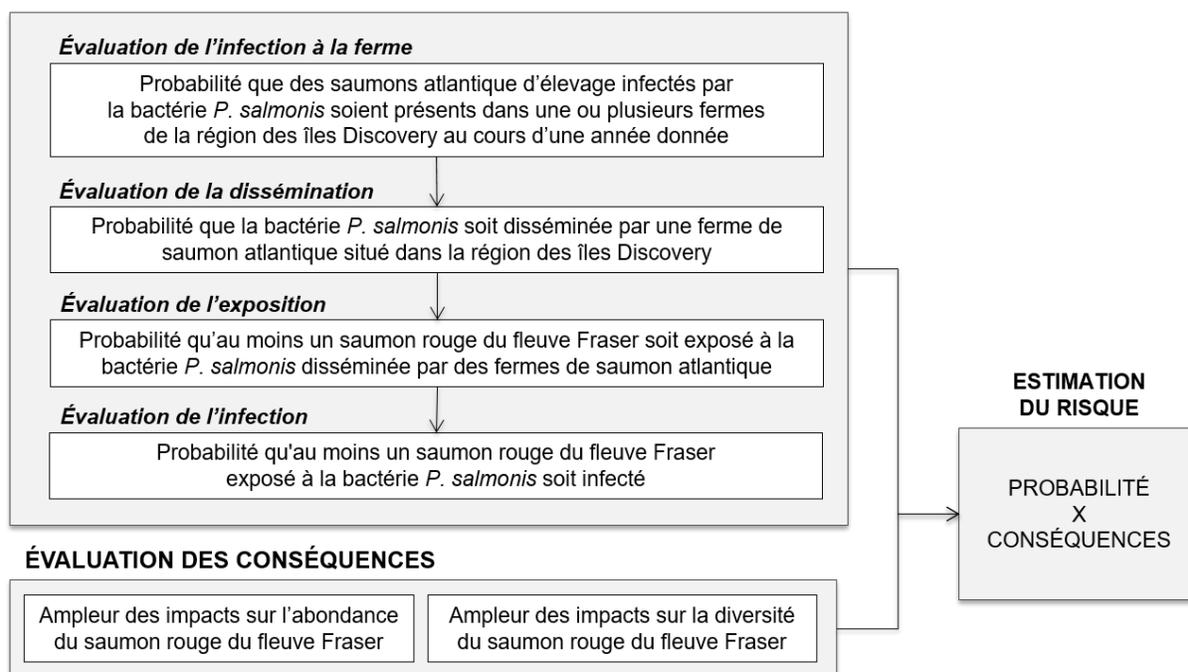


Figure 2. Modèle conceptuel d'évaluation du risque pour le saumon rouge du fleuve Fraser résultant de la présence de la bactérie *Piscirickettsia salmonis* attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery, en Colombie-Britannique. Adapté de Mimeault et al. (2017)

2.2.5.2 Terminologie

Les catégories et définitions utilisées pour classer la probabilité (Tableau 2), les conséquences sur l'abondance (Tableau 3), les conséquences sur la diversité (Tableau 4), l'incertitude des données et de l'information (Tableau 5), et l'incertitude liée à la gestion de la santé des poissons (Tableau 6) ont été adaptées de Mimeault et al. (2017).

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 forte.

Catégories	Définitions
Extrêmement probable	On s'attend à ce que l'événement se produise; il se produira.
Très probable	Il est très probable que l'événement se produise.
Probable	Il est probable que l'événement se produise.
Improbable	Il est improbable que l'événement se produise; l'événement est peu probable, mais pourrait se produire.
Très improbable	Il est très improbable que l'événement se produise.
Extrêmement improbable	L'événement a peu ou pas de chance de se produire; insignifiant; négligeable.

Tableau 3. Catégories et définitions utilisées pour décrire les conséquences possibles sur l'abondance du saumon rouge du fleuve Fraser.

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

Tableau 4. Catégories et définitions utilisées pour décrire les conséquences possibles sur la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser. UC : Unité de conservation.

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 en 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 en 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 en une génération OU Réduction de > 10 à 25 % de l'abondance dans une ou de plusieurs UC qui n'entraînerait pas la perte d'une UC de saumon rouge du fleuve Fraser en 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 en une génération.
Graves	Réduction de l'abondance qui entraînerait la perte d'une UC de saumon rouge du fleuve Fraser en une génération.
Extrêmes	Réduction de l'abondance qui entraînerait la perte de plus d'une UC de saumon rouge du fleuve Fraser en une génération.

Tableau 5. Catégories et définitions utilisées pour décrire le niveau d'incertitude associé aux données et aux renseignements.

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. • Les conclusions des experts varient considérablement.
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 réserves importantes. • Variabilité intrinsèque importante. • Les experts ou les modèles arrivent à des conclusions différentes.
Certitude raisonnable	<ul style="list-style-type: none"> • Les données disponibles sont abondantes, mais non exhaustives. • Les données disponibles sont solides. • Faible variabilité intrinsèque. • Les experts ou les modèles sont généralement d'accord.
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 experts ou les modèles sont d'accord.

Tableau 6. Catégories et définitions utilisées pour décrire le niveau d'incertitude associé à la gestion de la santé des poissons. « Quelques » et « la plupart » sont respectivement définis comme étant moins et plus de 50 % des données pertinentes.

Catégories	Définitions
Incertitude élevée	<ul style="list-style-type: none"> Aucune des informations recueillies dans le cadre des pratiques de gestion des fermes, telles que précisées dans les plans de gestion de la santé des salmonidés, n'est disponible. Divergence entre les informations et les données obtenues auprès des fermes et les vérifications effectuées dans les fermes, pour toutes les fermes. Pratiques volontaires dans les fermes. L'opinion des experts varie considérablement.
Incertitude raisonnable	<ul style="list-style-type: none"> Certaines des informations recueillies dans le cadre des pratiques de gestion des fermes, telles que précisées dans les plans de gestion de la santé des salmonidés, sont disponibles. Divergence entre les informations et les données obtenues auprès des fermes et les vérifications effectuées dans les fermes, pour la plupart des fermes. Pratiques volontaires des entreprises. Les experts arrivent à des conclusions différentes.
Certitude raisonnable	<ul style="list-style-type: none"> La plupart des informations recueillies dans le cadre des pratiques de gestion des fermes salmonicoles, telles que précisées dans les plans de gestion de la santé des salmonidés, sont disponibles. Corroboration entre les informations et les données obtenues auprès des fermes et les vérifications effectuées dans les fermes, pour la plupart des fermes. Pratiques volontaires à l'échelle de l'industrie, convenues au moyen d'un protocole d'entente ou d'une certification par une tierce partie reconnue. Les experts sont généralement d'accord.
Certitude élevée	<ul style="list-style-type: none"> Toutes les informations recueillies dans le cadre des pratiques de gestion des fermes, telles que précisées dans les plans de gestion de la santé des salmonidés, sont disponibles. Corroboration entre les informations et les données obtenues auprès des fermes et les vérifications effectuées dans les fermes, pour toutes les fermes. Pratiques obligatoires exigées par la loi et certification par une tierce partie reconnue. Les experts sont d'accord.

2.2.5.3 Règles de combinaison

Comme le décrivent Mimeault *et al.* (2017), la combinaison des probabilités diffère si les événements sont dépendants ou indépendants : Un événement est dépendant si son issue dépend d'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 l'issue d'un événement n'a pas d'incidence sur celle des autres événements; par exemple, un agent pathogène peut être rejeté dans l'environnement par différentes voies non reliées.

Les probabilités sont combinées selon les méthodologies acceptées dans les évaluations qualitatives du risque en adoptant la valeur la plus basse (p. ex. faible) pour les événements dépendants et la valeur la plus forte (p. ex. élevée) pour les événements indépendants (Cox, 2008; Gale *et al.*, 2010; Cudmore *et al.*, 2012). Toutefois, lorsque les événements sont indépendants mais ne s'excluent pas mutuellement, c'est-à-dire qu'ils peuvent se produire simultanément, l'adoption de la probabilité individuelle la plus élevée pourrait sous-estimer la

probabilité globale. L'incertitude est indiquée individuellement pour chaque cote, sans combinaison.

2.2.5.4 Estimation du risque

Comme le décrivent Mimeault *et al.* (2017), deux matrices des risques ont été élaborées en collaboration avec le Secteur des sciences des écosystèmes et des océans et le Secteur 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 l'échelle pertinente des conséquences sur la gestion des pêches et les objectifs stratégiques, sur les politiques existantes, et sur la tolérance actuelle au risque lié à la gestion en ce qui concerne les évaluations des risques.

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 des risques permettant de combiner les résultats des évaluations de la probabilité et des conséquences sur l'abondance des saumons rouges du fleuve Fraser. Les couleurs vert, jaune et rouge représentent respectivement un risque minimal, modéré et élevé.

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 des risques permettant de combiner les résultats des évaluations de la probabilité et des conséquences sur la diversité des saumons rouges du fleuve Fraser. Les couleurs vert, jaune et rouge représentent respectivement un risque minimal, modéré et élevé.

3 ÉVALUATION DE LA PROBABILITÉ

L'évaluation de la probabilité consiste à déterminer la probabilité que le saumon rouge du fleuve Fraser soit contaminé par *P. salmonis* provenant des fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery. Chaque étape de l'évaluation de la probabilité suppose que les pratiques de gestion actuelles des fermes de saumon atlantique sont suivies et maintenues.

3.1 ÉVALUATION DE L'INFECTION À LA FERME

3.1.1 Question

Une année donnée, quelle est la probabilité que des saumons atlantiques d'élevage contaminés par *P. salmonis* soient présents dans une ou plusieurs fermes de la région des îles Discovery?

3.1.2 Considérations

Les facteurs contribuant à la détection des infections par *P. salmonis* dans les fermes d'élevage de saumon atlantique reposent sur des exigences réglementaires et sur les pratiques de l'industrie.

3.1.2.1 Exigences réglementaires

3.1.2.1.1 Exigences relatives aux permis

Depuis décembre 2010, le MPO est le principal responsable de la réglementation et de la gestion de l'aquaculture en Colombie-Britannique en vertu du *Règlement du Pacifique sur l'aquaculture* (RPA) pris aux termes de la *Loi sur les pêches*. Le MPO est ainsi chargé de délivrer les permis d'aquaculture pour les exploitations d'élevage de mollusques et de poissons en milieu marin et en eau douce en Colombie-Britannique.

Chaque ferme exploitée en Colombie-Britannique doit détenir un permis d'aquaculture de poissons marins en vertu du RPA, qui exige notamment un plan de gestion de la santé des salmonidés (PGSS) et des procédures opérationnelles normalisées (PON) internes connexes (MPO, 2015). Le PGSS décrit les concepts sanitaires et les éléments requis associés à un permis d'aquaculture de poissons marins (Wade, 2017), tandis que les PON qui l'accompagnent présentent en détail les procédures à suivre pour appliquer les concepts précis du PGSS, notamment la surveillance de la santé et des maladies des poissons (MPO, 2015; Wade, 2017).

Le section 2.5 du PGSS comprend les exigences relatives à l'exclusion des agents pathogènes (MPO, 2015), y compris la nécessité de prendre des précautions particulières pour éviter un stress indu des poissons et la transmission d'agents pathogènes.

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

Dans le cadre du Programme de vérification et de surveillance de la santé des poissons (PVSSP), des échantillons sont prélevés sur des poissons récemment morts afin de vérifier la surveillance et la déclaration de routine des maladies par les fermes (Wade, 2017). Les poissons moribonds peuvent aussi être échantillonnés (I. Keith, MPO, 103-2435, promenade Mansfield, Courtenay (Colombie-Britannique) V9N 2M2, comm. pers., 2018). Le MPO vise à vérifier 30 fermes d'élevage choisies au hasard par trimestre ou 120 fermes d'élevage par année (Wade, 2017).

Au cours d'une vérification, 30 poissons frais au maximum sont sélectionnés pour des analyses d'histopathologie, de bactériologie et de diagnostic moléculaire/virologie, mais dans la plupart

des cas, les échantillonnages portent sur 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 de la ferme, 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 les différents poissons (MPO, 2018c).

Dans le cadre du PVSSP, la SRS est diagnostiquée dans une population de saumons atlantiques lorsque le site est traité en réponse à cette maladie ou lorsqu'il existe des lésions pathologiques significatives dues à des organismes caractéristiques, soit dans les tissus prélevés au sein d'un échantillon et présentant des résultats de la réaction en chaîne de la polymérase (PCR) indiquant la présence de *P. salmonis*, soit dans les tissus du système nerveux central, et des pertes au niveau la population qui sont attribuées à la maladie (I. Keith, MPO, comm. pers., 2018).

Jones (2019) a résumé les détections de *P. salmonis* fondées sur des vérifications et sur les diagnostics de la SRS au niveau de la ferme posés entre 2002 et 2016 en Colombie-Britannique. Des détails sur les détections et les diagnostics propres aux fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery se trouvent à l'annexe A. Pour résumer :

- Il n'y a pas eu de détection de *P. salmonis* entre 2002 et 2008, en 2010, en 2011, en 2013 et en 2014.
- On a enregistré des détections positives de *P. salmonis* par la PCR dans un faible nombre d'échantillons¹ (n = 1 à 3) et durant quatre années (2009, 2012, 2015 et 2016) sur un nombre total de cinq fermes.
- La SRS et la présence d'une bactérie de type *Piscirickettsia* ont été diagnostiquées grâce à l'examen histologique d'un faible nombre de poissons (n = 1 à 23) durant trois années (2009, 2012 et 2016) et sur un nombre total de quatre fermes.
- On a diagnostiqué la SRS au niveau de la ferme durant une année (2016) sur deux fermes.

Bien que le PVSSP du MPO ne soit pas conçu pour déterminer l'incidence ou la prévalence, les détections ci-dessus dénotent la présence de l'agent pathogène ou de la maladie chez certains poissons dans les fermes. Ces données fournissent la preuve que de faibles niveaux de *P. salmonis* peuvent être présents chez les populations d'élevage, et qu'on ne peut peut-être les détecter qu'au moyen de méthodes diagnostiques sensibles.

Dans le cadre d'un projet de recherche, on a constaté des preuves moléculaires de la présence d'ADN génomique de la bactérie *P. salmonis* dans des échantillons prélevés à des fins de vérification, entre avril 2011 et décembre 2013, dans des fermes d'élevage de saumon atlantique en Colombie-Britannique, y compris des fermes situées dans les zones de santé des poissons 3.2 et 3.3 (Laurin *et al.*, 2019).

3.1.2.1.3 Événements liés à la santé des poissons

Les événements liés à la santé des poissons (ESP) sont signalés au MPO par l'industrie. Dans MPO (2015), un ESP est défini comme suit : éclosion de maladie, soupçonnée ou déclarée, dans une installation d'aquaculture, qui nécessite l'intervention d'un vétérinaire et toutes les mesures visant à réduire ou à réduire l'incidence et le risque associés à l'événement. Lorsqu'un ESP se produit, le titulaire de permis doit prendre des mesures pour gérer l'événement, évaluer

¹ Les échantillons consistent en une petite quantité de tissu prélevé sur jusqu'à cinq poissons

les mesures d'atténuation, et soumettre un avis d'ESP et les mesures de gestion thérapeutiques au Ministère (MPO, 2015).

La déclaration des ESP est obligatoire depuis l'automne 2002, à l'exception de 2013, 2014 et des trois premiers trimestres de 2015, au cours desquels les mortalités devaient être déclarées par cause (Wade, 2017). À l'époque, les ESP étaient encore signalés à la BC Salmon Farmers Association, mais leur déclaration au MPO n'était pas exigée dans les conditions de permis. La BC Salmon Farmers Association et l'industrie ont fourni les ESP survenus dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery durant cette période afin de guider cette évaluation.

Aucun ESP attribué à la SRS n'a été signalé dans les fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery entre 2002 et 2017 (MPO, 2018b).

3.1.2.1.4 *Épisodes de mortalité*

Dans MPO (2015), un épisode de mortalité est défini comme suit : mortalité des poissons équivalente à 4 000 kg ou plus ou pertes atteignant 2 % de l'inventaire actuel de l'installation au cours d'une période de 24 heures; ou mortalité des poissons équivalente à 10 000 kg ou plus ou pertes atteignant 5 % sur une période de cinq jours. Les conditions de permis exigent la déclaration de tout épisode de mortalité au MPO au plus tard 24 heures après sa découverte, avec les détails suivants : nom de l'installation, nombre de poissons élevés, nombre de poissons morts, proportion touchée présumée, biomasse présumée des carcasses, cause probable et mesures prises (MPO, 2015).

Aucun épisode de mortalité attribué à la SRS ou à une autre maladie infectieuse n'a été signalé dans les fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery entre 2011 et 2017. La déclaration des épisodes de mortalité était obligatoire avant 2011, mais les détails et les rapports ne sont pas disponibles (MPO, 2018a).

3.1.2.1.5 *Réglementation du déplacement des poissons vivants*

Le déplacement des animaux aquatiques vivants est réglementé par l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) et le MPO. Les mesures de contrôle des déplacements contribuent à prévenir l'introduction d'agents pathogènes dans les sites d'élevage en mer et sont donc pertinentes pour déterminer la probabilité d'une infection par *A. salmonicida* dans les fermes d'élevage de saumon atlantique.

L'ACIA accorde des permis pour les déplacements d'animaux aquatiques à l'intérieur du pays afin de contenir certaines maladies à déclaration obligatoire des animaux aquatiques. La furunculose n'étant pas une maladie à déclaration obligatoire pour les poissons au Canada (CFIA, 2018), cette forme de contrôle des déplacements n'est pas considérée plus avant.

Le MPO accorde des 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 (CIT) évalue les effets sur la santé, ainsi que les effets génétiques et écologiques, qui pourraient découler du transfert de poissons dans la province. En ce qui concerne l'industrie aquacole, le CIT évalue la santé des poissons à transférer, ce qui comprend la présence de maladies et d'agents responsables de maladies énumérés à l'annexe III du permis d'aquaculture des poissons marins délivré en vertu de la *Loi sur les pêches* (maladies d'intérêt régional, national ou international), de pair avec toute autre préoccupation qui pourrait surgir durant l'évaluation, y compris la présence de signes cliniques de la SRS. Pour chaque demande de transfert liée à l'aquaculture, les rapports sur la santé des poissons 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 maladies sont observés ou s'il y a d'autres préoccupations, le CIT peut soit

recommander que le transfert n'ait pas lieu, soit collaborer avec le demandeur pour s'assurer que le transfert est effectué de façon sécuritaire (M. Higgins, MPO, Station biologique du Pacifique, 3190, chemin Hammond Bay, Nanaimo (Colombie-Britannique) V9T 6N7, comm. pers., 2018). Un permis est requis pour chaque transfert.

Pour obtenir un permis d'aquaculture marine, les entreprises sont tenues de disposer de procédures opérationnelles normalisées pour le transfert des poissons entre les installations (MPO, 2015; Wade, 2017).

3.1.2.2 Pratiques de l'industrie

Trois entreprises élèvent des saumons atlantiques dans des sites marins de la région des îles Discovery : Cermaq Canada, Grieg Seafood et Mowi Canada West. Voir l'aperçu des pratiques de gestion de la santé dans les fermes salmonicoles de la Colombie-Britannique dans Wade (2017).

3.1.2.2.1 Surveillance et analyses

Chaque site actif de production marine est surveillé quotidiennement par le personnel formé sur place pour assurer la surveillance syndromique, au cours de laquelle les poissons morts sont retirés et classés. Le personnel est tenu d'alerter le vétérinaire en cas de signes d'agents pathogènes ou de maladies en particulier (Wade, 2017). En outre, toutes les entreprises procèdent régulièrement à des contrôles sanitaires de routine, au cours desquels les animaux morts récemment sont examinés pour rechercher des signes de maladies ou de conditions anormales. Au besoin, ces animaux sont aussi échantillonnés en vue de dépister des agents pathogènes selon la surveillance syndromique, les antécédents du site, les conditions environnementales, et le jugement professionnel du vétérinaire et de l'équipe responsable de la santé du poisson. La fréquence des contrôles sanitaires de routine et de l'échantillonnage pour le dépistage des agents pathogènes varie d'une entreprise à l'autre, comme il est décrit ci-après.

En plus de la surveillance quotidienne, chaque site actif de production marine de Cermaq Canada reçoit une visite du personnel de la santé du poisson ou du vétérinaire au moins une fois toutes les deux semaines pour confirmer la classification de la mortalité sur place et pour échantillonner jusqu'à cinq poissons moribonds ou morts récemment sans cause évidente de décès (p. ex. non performants, algues, manipulation, faible teneur en oxygène, matures, malformations). En plus de l'évaluation des lésions macroscopiques de tous les principaux systèmes d'organes, on congèle tous les tissus organiques de trois de ces poissons et les tissus rénaux combinés (jusqu'à cinq poissons) en vue d'une éventuelle soumission par le vétérinaire, en fonction des tendances de la mortalité ou des observations sur place. Pendant les six premières semaines suivant le transfert dans les sites de production marine, on échantillonne six poissons morts récemment par cage, toutes les deux semaines, pour effectuer des tests bactériologiques. Enfin, au moins une fois par trimestre, on pratique un test de PCR sur des tissus rénaux combinés pour détecter le virus de la nécrose hématopoïétique infectieuse (NHI), le virus de la septicémie hémorragique virale (VSHV) et *P. salmonis*, de même qu'un examen histologique complet sur trois poissons (B. Milligan, Cermaq Canada, 203-919, Island Highway, Campbell River (Colombie-Britannique) V9W 2C2, comm. pers., 2018).

En plus de la surveillance quotidienne, chaque site actif de production marine de Grieg Seafood reçoit une visite du personnel de la santé du poisson ou du vétérinaire au moins une fois par trimestre, qui prélève au moins cinq poissons morts récemment pour des tests bactériologiques, histologiques et des dépistages par PCR (P. Whittaker et T. Hewison, Grieg Seafood, 1180, rue Ironwood, Campbell River (Colombie-Britannique) V9W 5P7, comm. pers., 2018).

En plus de la surveillance quotidienne, chaque site actif de production de Mowi Canada West reçoit une visite du personnel de la santé du poisson ou du vétérinaire au moins une fois par mois et au moins une fois par trimestre du vétérinaire. Des échantillons de mortalités fraîches ou de poissons morts récemment peuvent être prélevés pour le dépistage d'agents pathogènes selon la surveillance syndromique, les antécédents du site, les conditions environnementales, et le jugement professionnel du vétérinaire et de l'équipe responsable de la santé du poisson (D. Morrison, Mowi Canada West, 124-1334 Island Highway, Campbell River (Colombie-Britannique) V9W 8C9, comm. pers., 2018).

Le dépistage et les tests de détection de *P. salmonis* effectués par l'industrie ne se limitent pas à une surveillance de routine. D'autres raisons justifient les tests, notamment la recherche et le développement, l'étude des épisodes de mortalité, notamment lorsque les épisodes de mortalité récents présentent des lésions macroscopiques compatibles avec le SRS ou un état systémique d'étiologie inconnue, et la demande formulée par un vétérinaire et par une équipe chargée de la santé des poissons. La détection de *P. salmonis* repose sur des tests moléculaires, car il est difficile de mettre en culture l'agent pathogène. Les tests sont effectués par un laboratoire de diagnostic externe.

3.1.2.2.2 Déplacements des poissons vivants

À l'exception d'une ferme d'élevage, les saumoneaux ne sont pas transférés directement de l'eau douce dans les sites marins dans la région des îles Discovery en raison du risque d'infection par *Kudoa* sp., un parasite des poissons marins (Wade, 2017). L'empoissonnement direct a lieu à Raza, où *Kudoa* sp. n'a pas été un problème (D. New, Cermaq Canada, 203-919, Island Highway, Campbell River (Colombie-Britannique) V9W 2C2, comm. pers., 2018).

En Colombie-Britannique, tout déplacement de poissons vivants dans des installations de pisciculture nécessite un permis d'introduction et de transfert en vertu de l'article 56 du *Règlement de pêche (dispositions générales)*. La décision de délivrer un permis est axée sur les recommandations du Comité des introductions et des transferts (CIT) et prend en compte les résultats des évaluations sanitaires préalables au transfert, réalisées selon les pratiques exemplaires propres à chaque entreprise :

- Six à huit semaines avant chaque transfert de poissons vivants, Cermaq Canada effectue une bactériologie (n = 30) et une PCR pour détecter le virus de la nécrose hématopoïétique infectieuse (VNHI), le virus de la septicémie hémorragique virale (VSHV) et l'orthoréovirus pisciaire (sur des groupes de cinq poissons) sur 30 poissons moribonds. Une PCR est également effectuée pour détecter le virus de la nécrose pancréatique infectieuse (VNPI), le virus de l'anémie infectieuse du saumon (VAIS), *Renibacterium salmoninarum* avant les transferts de l'eau douce dans les installations d'eau de mer, ainsi que *P. salmonis* avant les transferts de l'eau de mer dans les installations en eau de mer.
- Trois semaines avant les transferts de poissons vivants, Grieg Seafood effectue une nécropsie générale (n = 30), une bactériologie (n = 30) et une PCR sur 30 poissons (six groupes de cinq poissons) de la sous-population (P. Whittaker et T. Hewison, Grieg Seafood, comm. pers., 2018).
- Avant tout transfert de poissons vivants, Mowi Canada West effectue des tests de bactériologie (n = 20), de virologie (quatre groupes de cinq poissons) et d'histologie (n = 5 à 10) sur 20 poissons morts récemment sélectionnés au hasard (D. Morrison, Mowi Canada West, comm. pers., 2018).

3.1.2.2.3 Vaccination

En Colombie-Britannique, la vaccination du saumon atlantique n'est pas une condition de permis et est donc volontaire (MPO, 2015; Wade, 2017). Même s'il n'existe actuellement aucun vaccin commercial contre la SRS, il a été indiqué que Renogen®, un vaccin vivant qui vise à protéger les poissons contre la maladie bactérienne du rein, serait également efficace contre la SRS. L'efficacité du vaccin contre la SRS est inconnue.

Depuis janvier 2017, Grieg Seafood effectue des essais d'efficacité de Renogen® pour en déterminer le pouvoir protecteur contre la SRS. Comme le vaccin n'est actuellement utilisé que lors d'essais, tous les saumons atlantiques n'ont pas reçu Renogen®, de sorte qu'on ne peut pas effectuer des comparaisons entre des groupes de traitement (P. Whittaker et T. Hewison, Grieg Seafood, comm. pers., 2018). Mowi Canada West vaccine la totalité de ses saumons atlantiques avec Renogen® avant les transferts en eau salée afin de les protéger contre la maladie bactérienne du rein (D. Morrison, Mowi Canada West, comm. pers., 2018).

3.1.2.2.4 Traitement

Si des signes cliniques de la SRS sont présents, Grieg Seafood et Mowi Canada West peuvent traiter les saumons atlantiques à leurs sites marins en utilisant l'oxytétracycline dans les aliments pendant dix à quatorze jours ou du florfenicol pendant dix jours (P. Whittaker et T. Hewison, Grieg Seafood, comm. pers., 2018; D. Morrison, Mowi Canada West, comm. pers., 2018). Le choix de l'antibiotique dépend de la sensibilité de l'organisme et d'autres facteurs. La durée du traitement dépend du médicament prescrit, du jugement du vétérinaire et de la taille du poisson. Le traitement semble être efficace, comme en témoigne la réduction des taux de mortalité aux sites de production marins; cependant, des poissons porteurs peuvent toujours être présents au sein de la population après le traitement. Un seul traitement est souvent suffisant, toutefois, au Chili, plusieurs traitements sont souvent nécessaires (P. Whittaker et T. Hewison, Grieg Seafood, comm. pers., 2018).

3.1.2.3 Détections par l'industrie

D'après les résultats des observations et des tests menés par l'industrie dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery entre 2011 et 2017, *P. salmonis* a été détectée chez au moins un poisson dans 20 % des visites de sites visant la détection de la bactérie. La bactérie *P. salmonis* a été détectée dans au moins un échantillon dans deux fermes en 2015, cinq fermes en 2016 et trois fermes en 2017. Voir l'annexe B pour obtenir plus de détails.

3.1.2.4 Sommaire de la présence de la bactérie *Piscirickettsia salmonis* et de la septicémie rickettsienne des salmonidés dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery

Dans la présente évaluation des risques, l'infection par *P. salmonis* ou la SRS renvoie aux poissons échantillonnés durant des dépistages de routine menés par l'industrie, l'exécution de programmes réglementaires, les événements liés à la santé des poissons ou tout autre travail de diagnostic effectué dans les fermes, avec : (i) des résultats positifs des tests menés en laboratoire ciblant *P. salmonis* (p. ex. PCR), (ii) des indications de la présence de *P. salmonis* ou de la SRS (histologie) ou (iii) la présence de signes cliniques et de lésions macroscopiques dus à la SRS et reconnus par du personnel qualifié avec ou sans confirmation par un test diagnostique.

Le Tableau 7 résume les données relatives aux fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery, qui apportent des preuves d'infection par *P. salmonis* ou de signes et de diagnostics de la SRS rouge, par année, entre 2002 et 2017. Les données ont été recueillies

séparément des exigences réglementaires de déclaration (résultats émanant du PVSSP; ESP et épisodes de mortalité déclarés par l'industrie au MPO) et des tests et des diagnostics effectués par l'industrie. Il est donc possible qu'une infection dans la même ferme apparaisse dans plus d'une catégorie, de sorte qu'on ne peut pas se contenter d'ajouter le nombre de fermes entre les catégories ou les années.

On reconnaît que la présence d'un agent pathogène chez un poisson individuel n'entraîne pas toujours des signes cliniques ou la maladie dans une population. La présence de *P. salmonis* a été confirmée dans des fermes d'élevage de saumon atlantique au cours de cinq années différentes et s'est traduite par la présence de la SRS au niveau de la ferme pendant une année.

Dans l'ensemble, entre 2002 et 2017, on a détecté la présence de *P. salmonis* ou de signes de la SRS dans un nombre total de neuf fermes et pendant un nombre total de cinq années (2009, 2012, 2015, 2016 et 2017), la plus grande partie des détections ayant eu lieu au cours des dernières années.

Tableau 7. Nombre de fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery dans lesquelles on a trouvé des preuves d'infection par *Piscirickettsia salmonis* ou de la septicémie rickettsienne des salmonidés (SRS), résumé par année. Les données comprennent les résultats de détections par la réaction en chaîne de la polymérase (PCR), les empreintes tissulaires et les résultats histologiques des tests menés par l'industrie (2011-2017), les résultats de l'exécution du Programme de vérification et de surveillance de la santé du poisson (PVSSP) [2002-2016], les événements liés à la santé des poissons (ESP) [2002-2017] et les épisodes de mortalité (2011-2017) déclarés par l'industrie à Pêches et Océans Canada (MPO). S. O. : données non disponibles. Les mois pour lesquels on dispose de preuves de la présence de *P. salmonis* ou de la SRS sont ombrés et en gras.

Année	Nombre de fermes actives	Données de l'industrie	Données du PVSSP			Données déclarées par l'industrie au MPO	
		Nombre de fermes avec au moins un échantillon positif (culture, PCR) / nombre total de fermes testées	Nombre de fermes où <i>P. salmonis</i> a été identifiée par bactériologie / nombre total de fermes ayant fait l'objet d'une vérification	Nombre de fermes dans lesquelles on a détecté la présence de la SRS ou d'une bactérie de type <i>Piscirickettsia</i> à l'aide de l'histologie / nombre total de fermes ayant fait l'objet d'une vérification	Nombre de fermes dans lesquelles on a diagnostiqué la présence de la SRS au niveau de la ferme / nombre total de fermes ayant fait l'objet de vérifications	Nombre de fermes présentant des ESP attribués à la SRS	Nombre de fermes présentant des épisodes de mortalité attribués à la SRS
2002	S. O.	S. O.	0/3	0/3	0/3	0	S. O.
2003	S. O.	S. O.	0/4	0/4	0/4	0	S. O.
2004	14	S. O.	0/9	0/9	0/9	0	S. O.
2005	15	S. O.	0/11	0/11	0/11	0	S. O.
2006	16	S. O.	0/12	0/12	0/12	0	S. O.
2007	16	S. O.	0/13	0/13	0/13	0	S. O.
2008	17	S. O.	0/15	0/15	0/15	0	S. O.
2009	18	S. O.	1/14	1/14	0/14	0	S. O.
2010	16	S. O.	0/4	0/4	0/4	0	S. O.
2011	17	0/1	0/8	0/8	0/8	0	0
2012	13	Pas de tests	1/12	1/12	0/12	0	0
2013	8	0/3	0/7	0/7	0/7	0	0
2014	10	0/2	0/8	0/8	0/8	0	0
2015	10	2/3	1/9	0/9	0/9	0	0
2016	11	5/10	4/11	3/11	2/11	0	0
2017	12	3/10	S. O.	S. O.	S. O.	0	0

3.1.3 Hypothèses

- La détection positive de l'agent pathogène est une preuve de l'infection.
- Il est possible de regrouper les résultats des tests diagnostiques, quelles que soient les différences entre les méthodes employées et les caractéristiques de rendement des tests, pour indiquer la présence de l'agent pathogène dans les fermes.

3.1.4 Probabilité d'infection à une ferme

Le Tableau 8 présente les principaux facteurs contributifs et limitatifs de la probabilité qu'une infection par *P. salmonis* se produise 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 que des saumons atlantiques d'élevage contaminés par *Piscirickettsia salmonis* soient présents dans une ou plusieurs fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery selon les pratiques actuelles de gestion de la santé des poissons. SRS : septicémie rickettsienne des salmonidés; ESP : événement lié à la santé des poissons; PCR : réaction en chaîne de la polymérase; PGSS : plan de gestion de la santé des salmonidés.

Facteurs contributifs	Facteurs limitatifs
<ul style="list-style-type: none"> • Le saumon atlantique est sensible à l'infection par <i>P. salmonis</i>. • Entre 2011 et 2017, l'industrie a détecté la présence de <i>P. salmonis</i> dans deux fermes en 2015, cinq fermes en 2016 et trois fermes en 2017. • Pendant les vérifications de la santé du poisson : <ul style="list-style-type: none"> ○ On a détecté la présence de <i>P. salmonis</i> à l'aide de la PCR dans une ferme en 2009, 2012 et 2015 et quatre fermes en 2016. ○ On a détecté la présence de la SRS et d'une bactérie de type <i>Piscirickettsia</i> à l'aide de l'histologie dans une ferme en 2009 et 2012 et trois fermes en 2016. ○ On a diagnostiqué la présence de la SRS au niveau de la ferme dans deux fermes en 2016. • Dans l'ensemble, entre 2002 et 2017, on a trouvé des preuves de la présence de <i>P. salmonis</i> ou de la SRS : <ul style="list-style-type: none"> ○ sur un total de neuf fermes d'élevage de saumon atlantique. ○ Dans au moins une ferme pendant cinq années différentes (2009, 2012, 2015, 2016 et 2017). • Il n'y a pas de vaccin commercial permettant de lutter contre la SRS. • Les éclosions de SRS semblent être associées à la présence d'agents de stress environnementaux (Jones, 2019). 	<ul style="list-style-type: none"> • Des tests diagnostiques visant à détecter <i>P. salmonis</i> ont été réalisés à trois fermes en utilisant la PCR avant des transferts de poissons vivants d'eau de mer à eau de mer, tandis que d'autres fermes ont fait l'objet de nécropsies générales ou des tests fondés sur l'histologie, lesquels peuvent détecter la SRS active ou la présence de <i>P. salmonis</i>, avant tout transfert de poisson vivant. • Les PGSS comprennent des exigences visant à réduire au minimum le stress pendant le transfert, la manipulation et la récolte (MPO, 2015).

Comme la présence de *P. salmonis* a été détectée au cours de cinq années sur 16 (2002 et 2017), on a conclu qu'il est **improbable**, pendant une année donnée, que des saumons atlantiques d'élevage contaminés par *P. salmonis* soient présents dans une ou plusieurs fermes de la région des îles Discovery compte tenu des pratiques d'élevage actuelles. Cette conclusion est assortie d'une **certitude raisonnable**, car les données sur le dépistage et les détections dans les fermes sont abondantes et solides, proviennent de différentes sources et s'échelonnent sur seize ans.

3.2 ÉVALUATION DE LA DISSÉMINATION

3.2.1 Question

Si l'on présume que des saumons atlantiques contaminés par *P. salmonis* sont présents, quelle est la probabilité que *P. salmonis* soit disséminée à partir d'une ferme d'élevage de saumon atlantique située dans la région des îles Discovery dans un environnement accessible aux populations de poissons sauvages?

3.2.2 Considérations

Les éléments à prendre en considération sont la méthode d'élevage du saumon atlantique, l'excrétion de *P. salmonis* par les poissons contaminés, et les pratiques en matière de gestion de la santé du poisson.

3.2.2.1 Méthodes d'élevage du saumon atlantique

Les saumons atlantiques élevés dans des sites marins de la région des îles Discovery sont confinés dans des parcs en filet. Dans de telles conditions, l'eau traverse librement les parcs et aucun obstacle n'entrave les échanges d'agents pathogènes entre les parcs en filets et l'environnement (Johansen *et al.*, 2011).

3.2.2.2 Excrétion de la bactérie *Piscirickettsia salmonis* chez les poissons contaminés

Les données de laboratoire et les données épidémiologiques provenant de fermes du Chili et de Norvège appuient la transmission horizontale de *P. salmonis* entre poissons et entre fermes (Cvitanich *et al.*, 1991; Garces *et al.*, 1991; Almendras *et al.*, 1997; Rees *et al.*, 2014; Price *et al.*, 2017).

Bien que la transmission horizontale corresponde à l'excrétion de *P. salmonis* par des poissons contaminés, on n'a décrit ni le moment de l'excrétion pendant l'infection, ni le taux d'excrétion (Jones, 2019). Bien qu'il ne soit pas déraisonnable de s'attendre à ce que *P. salmonis* soit excrétée par des poissons apparemment sains contaminés, peu de preuves viennent étayer cette possibilité (Jones, 2019).

3.2.2.3 Pratiques de gestion de la santé des poissons

Les conditions de permis imposent à toutes les entreprises de se conformer au plan de gestion de la santé des salmonidés (PGSS), qui comprend des mesures de biosécurité pour maintenir la santé des poissons, empêcher l'entrée d'agents pathogènes et limiter la propagation des maladies dans la ferme (MPO, 2015); certaines de ces mesures influenceront sur la probabilité que des agents pathogènes soient disséminés à partir d'une exploitation contaminée.

Le PGSS exige des procédures pour la collecte, la catégorisation, l'enregistrement, l'entreposage et l'élimination des carcasses de poisson (MPO, 2015). Plus précisément, des procédures doivent être en place pour : le retrait régulier des poissons morts afin de les entreposer dans des contenants prévus à cet effet; la déclaration de la mortalité par catégorie au MPO; un emplacement sécurisé pour l'entreposage des poissons morts en attente d'un transfert vers les installations à terre; la prévention des fuites d'éléments dans les eaux réceptrices; le transfert sécurisé des poissons morts entreposés vers des installations à terre; et des méthodes de désinfection des contenants, du matériel et des autres installations ou bateaux utilisés pour la manutention (MPO, 2015). Le PGSS exige également une PON pour les éclosions de maladies des poissons ou les situations d'urgence, une éclosion étant définie comme une « apparition inattendue d'une maladie ou de mortalité » (MPO, 2015).

Le MPO indique si une PON est nécessaire et décrit l'objectif, mais ne prescrit pas comment les éléments du PGSS devraient être réalisés. Il revient donc à l'entreprise d'appliquer les concepts à la satisfaction du vétérinaire du MPO chargé de la santé des poissons (Wade, 2017). Par conséquent, on présume que, dans le cas des entreprises détenant un permis valide d'aquaculture des poissons, les PON présentées sont conformes aux conditions du permis et approuvées par le vétérinaire du MPO (Wade, 2017).

Des protocoles sont en place pour : 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 du nombre de visiteurs, qui doivent obtenir une permission avant d'arriver sur les lieux; le contrôle des visiteurs sur place au moyen de panneaux, de pédiluves et de vêtements de protection propres au site; des procédures pour le nettoyage des filets sans partager le matériel si possible, le nettoyage et la désinfection du matériel après usage, et l'entreposage au sec du matériel dans les endroits appropriés; le nettoyage, la désinfection et le transfert du gros équipement immergé entre sites; et la mise en place de mesures de biosécurité pour contrôler les déplacements des bateaux (Wade, 2017). Toutes les entreprises utilisent Virkon® Aquatic, un désinfectant à large spectre (Wade, 2017) qui, on le présume, est efficace contre des bactéries marines comme *P. salmonis*.

Le respect de ces éléments est déterminé dans le cadre du PVSSP. En moyenne, moins d'une lacune par vérification a été signalée entre 2011 et 2015 dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery (Wade, 2017). La plupart des lacunes signalées étaient liées aux protocoles de lutte contre le pou du poisson, au protocole de récupération des carcasses ou à la tenue incomplète des registres. Voir la ventilation détaillée des lacunes, par catégorie, dans Wade (2017).

3.2.3 Hypothèse

- Des saumons atlantiques contaminés par *P. salmonis* sont présents dans au moins une ferme.
- Les mesures de biosécurité et de bioconfinement sont efficaces pour lutter contre *P. salmonis*.

3.2.4 Probabilité de dissémination

Le Tableau 9 présente les principaux facteurs contributifs et limitatifs de la probabilité de dissémination. 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 que *Piscirickettsia salmonis* se dissémine à partir de fermes d'élevage contenant des saumons atlantiques contaminés ou malades dans la région des îles Discovery, compte tenu des pratiques d'élevage actuelles.

Facteurs contributifs	Facteurs limitatifs
<ul style="list-style-type: none"> • Au Chili, il existe des preuves épidémiologiques de dissémination de <i>P. salmonis</i> entre des fermes salmonicoles (Rees <i>et al.</i>, 2014; Price <i>et al.</i>, 2017). • Il n'est pas déraisonnable de s'attendre à une excrétion de <i>P. salmonis</i> à de faibles taux chez des poissons contaminés apparemment sains (Jones, 2019). • Dans la région des îles Discovery, le saumon atlantique est élevé dans des parcs en filets, ce qui permet aux agents pathogènes, y compris <i>P. salmonis</i>, d'être rejetés dans le milieu environnant à partir des fermes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Des protocoles sont en place pour la manipulation et l'entreposage des poissons morts, ainsi que pour l'étiquetage, le nettoyage, la désinfection et l'entreposage des engins utilisés pour manipuler les poissons morts (Wade, 2017). • Des protocoles sont en place pour restreindre le nombre de visiteurs, qui doivent obtenir une permission avant d'arriver sur place, et pour contrôler les visiteurs sur place au moyen d'affiches, de pédiluves et de vêtements de protection propres au site (Wade, 2017). • Des protocoles sont en place pour réduire au minimum l'accès des prédateurs et de la faune (Wade, 2017). • Des protocoles sont en place pour des procédures pour laver les filets sans partager le matériel si possible, pour nettoyer et désinfecter le matériel après usage et pour le garder sec dans les endroits appropriés (Wade, 2017). • Des protocoles sont en place pour nettoyer, désinfecter et transférer le gros équipement immergé entre sites (Wade, 2017). • Des mesures de biosécurité sont en place pour contrôler le déplacement des navires (Wade, 2017). • En moyenne, moins d'une défaillance opérationnelle par vérification a été signalée entre 2011 et 2015 dans les fermes de saumon atlantique de la région des îles Discovery (Wade, 2017).

Deux voies de passage ont été prises en compte dans l'évaluation de la dissémination : 1) saumons atlantiques d'élevage contaminés; et 2) vecteurs mécaniques et vecteurs passifs.

3.2.4.1 Dissémination par le saumon atlantique d'élevage contaminé

Comme les poissons sont élevés en parcs en filet et qu'on s'attend à ce que des poissons infectés de manière subclinique puissent excréter la bactérie, il a été conclu qu'il est **extrêmement probable** que *P. salmonis* provenant d'une ferme d'élevage de saumon atlantique située dans la région des îles Discovery soit disséminée dans un environnement accessible aux populations de poissons sauvages compte tenu des pratiques actuelles en matière de gestion de la santé du poisson. Cette conclusion s'accompagne d'une **certitude**

élevée, car les données sur l'excrétion de *P. salmonis* à partir de salmonidés contaminés sont robustes et abondantes, et ont fait l'objet d'un examen par des pairs.

3.2.4.2 Dissémination par des vecteurs mécaniques et passifs

La conclusion a été qu'il est **improbable** que *P. salmonis* soit disséminée dans un environnement accessible aux populations de poissons sauvages par des vecteurs mécaniques et vecteurs passifs de transmission à partir d'une ferme d'élevage de saumon atlantique située dans la région des îles Discovery compte tenu des pratiques actuelles en matière de gestion de la santé du poisson. Cette conclusion s'accompagne d'un degré de **certitude raisonnable**, car les pratiques de biosécurité pertinentes font partie des exigences des permis et, en conséquence, sont précisées dans le Plan de gestion de la santé des salmonidés et les procédures opérationnelles normalisées. De plus, les taux de lacunes opérationnelles qui sont susceptibles de toucher la santé des poissons dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery sont faibles.

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 *P. salmonis* se dissémine à partir d'une ferme d'élevage de saumon atlantique contaminée.

3.3 ÉVALUATION DE L'EXPOSITION

3.3.1 Question

Si l'on présume que *P. salmonis* a été disséminée à partir d'au moins une ferme d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery, quelle est la probabilité qu'au moins un saumon rouge du fleuve Fraser soit exposé à *P. salmonis* 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 éléments à prendre en considération sont les espèces sensibles; la taille et le volume relatifs des fermes d'élevage de saumon atlantique; la présence de saumons rouges du fleuve Fraser dans la région des îles Discovery; la survie de *P. salmonis* dans le milieu marin; et le moment de l'infection par *P. salmonis* dans les fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery.

3.3.2.1 Espèces sensibles

Jones (2019) a recensé les espèces de salmonidés, de non-salmonidés et d'autres espèces connues pour être sensibles à une infection par *P. salmonis*. Les espèces de salmonidés chez lesquelles des signes cliniques de la SRS ont été signalés comprennent le saumon rose (*O. gorbuscha*), le saumon coho (*O. kisutch*), le saumon chinook (*O. tshawytscha*), le saumon atlantique et la truite arc-en-ciel (*O. mykiss*).

Jusqu'à présent, il n'y a pas eu de signalement de LA SRS chez le saumon rouge; cependant, la vaste étendue des hôtes potentiels de *P. salmonis* indique qu'il y aurait une probabilité élevée que des saumons rouges puissent être sensibles, malgré l'absence de preuves directes d'infection chez cette espèce (Jones, 2019).

3.3.2.2 Taille et volume des fermes d'élevage de saumon atlantique

Les fermes d'élevage de saumon atlantique occupent 0,007 % de la superficie et 0,0008 % du volume de la toute la région des îles Discovery (Mimeault *et al.*, 2017). Étant donné que la largeur du chenal dans la région des îles Discovery varie entre environ 850 et 3 200 mètres, une ferme de 100 m sur 100 m sur 20 m de profondeur s'étendrait sur environ 3 à 12 % de la largeur du chenal.

3.3.2.3 Saumon rouge du fleuve Fraser dans la région des îles Discovery

3.3.2.3.1 Juvéniles

Des saumons rouges juvéniles ont été trouvés dans la région des îles Discovery à plusieurs endroits différents, durant différentes études menées sur de nombreuses années (Levings et Kotyk, 1983; Brown *et al.*, 1984; Groot et Cooke, 1987; Neville *et al.*, 2013; Beacham *et al.*, 2014; Johnson, 2016; Neville *et al.*, 2016). D'après ces études, Grant *et al.* (2018) ont déterminé, en résumé, que les saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser de type lacustre ont tendance à traverser la région des îles Discovery pendant leur migration entre la mi-mai et la mi-juillet, avec un pic de prises entre le début et le milieu du mois de juin.

Sur les cinq années pour lesquelles on dispose de preuves de la présence de *P. salmonis* ou de la SRS dans des fermes d'élevage de saumon atlantique depuis 2002, des preuves ont été recueillies pendant deux années pendant les mois de mai à juillet (voir le Tableau 10 et le Tableau 11).

3.3.2.3.2 Adultes

Pendant leur montaison, des saumons rouges adultes ont été capturés dans 98 % des calées des pêches expérimentales menées par la Commission du saumon du Pacifique dans la région des îles Discovery entre 2000 et 2015 (Grant *et al.*, 2018), ce qui prouve leur présence dans cette zone de la mi-juillet à la mi-septembre. Ensuite, en combinant le moment où le premier et le dernier saumon rouge adulte en montaison passent dans le bas Fraser à Mission, en Colombie-Britannique (à 60 km en amont de la sortie du Fraser vers le sud du détroit de Georgia) et la vitesse moyenne de nage et la distance par rapport aux limites nord-ouest et sud-ouest de la région des îles Discovery, Grant *et al.* (2018) ont estimé que pendant la montaison, les saumons rouges adultes du fleuve Fraser traversent la région des îles Discovery de juin à octobre.

Sur les cinq années pour lesquelles on dispose de preuves de la présence de *P. salmonis* ou de la SRS dans des fermes d'élevage de saumon atlantique depuis 2002, des preuves existent pour quatre années pendant les mois de juin à octobre (voir le Tableau 10 et le Tableau 11).

3.3.2.4 Survie de *Piscirickettsia salmonis* dans le milieu marin

Jones (2019) a fait le point sur l'état des connaissances concernant la survie de *P. salmonis* dans l'environnement. Les études les plus pertinentes sur la survie dans le milieu marin sont présentées ici.

Les connaissances relatives à la survie de *P. salmonis* dans le milieu marin se limitent à des études qui ont porté sur une souche chilienne. Dans une étude de laboratoire, une souche chilienne de *P. salmonis* a pu survivre dans de l'eau de mer (32 ‰) durant une période de 10 à 15 jours à des températures de 5 °C, 10 °C ou 15 °C (Lannan et Fryer, 1994). La bactérie *P. salmonis* peut former des biofilms, lesquels peuvent améliorer sa survie en milieu marin (Marshall *et al.*, 2012).

Jusqu'à présent, il existe peu d'information sur la survie de *P. salmonis* en milieu marin en Colombie-Britannique.

3.3.2.5 Période de la présence de *Piscirickettsia salmonis* et de la septicémie rickettsienne des salmonidés (SRS) dans des fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery

Le Tableau 10 résume les preuves de l'infection par *P. salmonis* ou de la SRS dans des fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery, par mois, entre 2002 et 2017 :

- D'après les résultats de la surveillance et du dépistage par l'industrie, on a confirmé la présence de *P. salmonis* dans des fermes pendant tous les mois, sauf en mars, avril et mai. Dans tous les cas, les détections reposaient sur la méthode de la PCR, sauf en février et, à une occasion, en novembre. Plus de 65 % des tests de détection de *P. salmonis* enregistrés entre 2011 et 2017 ont été menés entre les mois d'août et de décembre.
- D'après les résultats du PVSSP, des infections par *P. salmonis* ont été signalées en avril, août, septembre, octobre et novembre; des diagnostics de SRS au niveau de la ferme n'ont été déclarés qu'en août et en novembre.
- Aucun événement lié à la santé des poissons n'a été attribué à la SRS.
- Aucun épisode de mortalité (2011-2017) n'a été attribué à la SRS.

Dans l'ensemble, si l'on se fonde sur toutes les sources de données disponibles pour la période s'échelonnant entre 2002 et 2017, on a détecté la présence de *P. salmonis* ou de SRS dans des fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery tous les mois, sauf en mars et en mai. Les preuves recueillies en janvier, avril, juin, juillet, septembre et décembre se limitent à quelques résultats positifs de tests reposant sur la PCR. Il n'a pas été possible de mettre en évidence un profil saisonnier de l'infection ou de la maladie. Le Tableau 11 résume les preuves de la présence de *P. salmonis* ou de la SRS provenant de toutes les sources par année et par mois pour les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery.

Tableau 10. Nombre de fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery dans lesquelles on a trouvé des preuves d'infection par *Piscirickettsia salmonis* ou de la septicémie rickettsienne des salmonidés (SRS), résumé par mois. Un « X » indique la preuve de la présence de saumons rouges dans la région des îles Discovery au cours d'un mois donné. Les données comprennent des données histologiques, des empreintes tissulaires et des résultats de tests à l'aide de la réaction en chaîne de la polymérase (PCR) de l'industrie (2011-2017), les résultats du Programme de vérification et de surveillance de la santé du poisson (PVSSP) [2002-2016], les événements liés à la santé des poissons (ESP) [2002-2017] et les taux de mortalité (2011-2016) signalés par l'industrie à Pêches et Océans Canada (MPO). Les lettres, sur la première ligne du tableau, représentent les mois de l'année, de janvier à décembre. Les mois durant lesquels des saumons rouges du fleuve Fraser se trouvent dans la région des îles Discovery et les mois pour lesquels on dispose de preuves de la présence de *P. salmonis* ou de la SRS sont ombrés et en gras.

Présence dans la région des îles Discovery	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Saumon rouge juvénile du fleuve Fraser de type lacustre					X	X	X					
Saumon rouge adulte du fleuve Fraser en montaison						X	X	X	X	X		
Preuves de la présence de <i>P. salmonis</i> ou de la SRS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Nombre de fermes ayant présenté des échantillons positifs par rapport au nombre total de fermes ayant fait l'objet de tests (données de l'industrie)	1/5	1/3	0/4	0/4	0/7	1/5	1/4	1/6	3/9	3/6	4/9	2/8
Nombre de fermes ayant présenté des échantillons positifs à l'aide de la PCR par rapport au nombre total de fermes ayant fait l'objet de tests (données de vérification)	0/14	0/11	0/5	1/14	0/10	0/10	0/12	4/14	1/11	1/16	5/13	0/10
Nombre de fermes dans lesquelles la SRS et la bactérie de type <i>Piscirickettsia</i> ont été décelées grâce à l'histologie par rapport au nombre total de fermes pour lesquelles on dispose d'échantillons histologiques (données de vérification)	0/14	0/11	0/5	0/14	0/10	0/10	0/12	3/14	0/11	1/16	4/13	0/10
Nombre de fermes dans lesquelles on a diagnostiqué la présence de la SRS au niveau de la ferme par rapport au nombre total de fermes ayant fait l'objet d'une vérification (données de vérification).	0/14	0/11	0/5	0/14	0/10	0/10	0/12	1/14	0/11	0/16	2/13	0/10
Nombre de fermes affichant des ESP attribués à la SRS (déclaration par l'industrie)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nombre de fermes où des épisodes de mortalité ont été attribués à la SRS (déclaration par l'industrie)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 11. Nombre de fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery dans lesquelles on a trouvé des preuves de *Piscirickettsia salmonis* ou de la septicémie rickettsienne des salmonidés (SRS), résumé par année et par mois. Les données comprennent les résultats des tests effectués par l'industrie (2011-2017) et du Programme de vérification et de surveillance de la santé des poissons (PVSSP) [2002-2016], les événements liés à la santé des poissons (ESP) [2002-2017] et les épisodes de mortalité (2002-2017). Entre 2004 et 2017, le nombre de fermes actives de saumon atlantique a varié entre 3 et 17 pour un mois donné (nombre de fermes actives non disponible pour 2002 et 2003). Les mois pour lesquels on dispose de preuves de la présence de *P. salmonis* ou de la SRS sont ombrés et en gras.

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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
2016	1	1	0	1	0	1	0	3	2	2	5	1
2017	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	0	0

3.3.3 Hypothèses

- Le saumon rouge est sensible à l'infection par *P. salmonis*.
- La bactérie *P. salmonis* a été disséminée à partir d'au moins une ferme d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery.
- Les détections positives de la bactérie *P. salmonis* prouvent que l'agent pathogène est présent dans les poissons échantillonnés.
- Les poissons contaminés par *P. salmonis* excrètent la bactérie.
- Les preuves de l'excrétion sont limitées aux mois pour lesquels on dispose de preuves de l'infection ou de la maladie dans les fermes.
- Le saumon rouge peut utiliser tous les chenaux de la région des îles Discovery.
- Le saumon rouge sauvage et le saumon rouge issu de la mise en valeur ne sont pas différenciés aux fins de la présente évaluation du risque.

3.3.4 Probabilité d'exposition

Le Tableau 12 présente les principaux facteurs contributifs et limitatifs de la probabilité que le saumon rouge du fleuve Fraser soit exposé à *P. salmonis* provenant des 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 que des saumons rouges du fleuve Fraser soient exposés à la bactérie *Piscirickettsia salmonis* disséminée à partir de fermes d'élevage de saumons atlantiques contaminés ou malades dans la région des îles Discovery, compte tenu des pratiques d'élevage actuelles.

Facteurs contributifs	Facteurs limitatifs
<ul style="list-style-type: none">• Des millions de saumons rouges du fleuve Fraser, juvéniles et adultes, migrent chaque année à travers la région des îles Discovery [examen dans Grant <i>et al.</i> (2018)].• Il y a un chevauchement temporel entre la migration des saumons rouges du fleuve Fraser et les preuves de la présence de <i>P. salmonis</i> dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery.• Dans des conditions de laboratoire, <i>P. salmonis</i> peut survivre dans l'eau de mer pendant dix à 15 jours.	<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 surface et un volume relativement faibles dans la région des îles Discovery (Mimeault <i>et al.</i>, 2017).

La présente évaluation portait sur deux groupes exposés (les saumons rouges du fleuve Fraser juvéniles et adultes) et une voie d'exposition (de nature hydrique).

On a calculé la probabilité qu'au moins un saumon rouge du fleuve Fraser soit exposé à *P. salmonis* provenant d'une ferme d'élevage de saumon atlantique en divisant le nombre d'années pour lesquelles on dispose de preuves de la présence de *P. salmonis* ou de la SRS pendant la période au cours de laquelle des saumons rouges du fleuve Fraser sont présents dans la région, par le nombre d'années pour lesquelles on dispose de preuves de la présence de *P. salmonis* ou de la SRS (cinq ans, voir le Tableau 11).

3.3.4.1 Exposition du saumon rouge juvénile du fleuve Fraser

La conclusion a été qu'il est **improbable** qu'au moins un saumon rouge juvénile du fleuve Fraser soit exposé à *P. salmonis* provenant des fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery en raison d'une exposition par l'eau, selon les pratiques actuelles de gestion de la santé des poissons, étant donné leur chevauchement temporel avec les déclarations de la bactérie *P. salmonis* dans des fermes. Sur les cinq années pour lesquelles on dispose de preuves de la présence de *P. salmonis* ou de la SRS dans les fermes depuis 2002, les preuves pour deux années couvrent la période entre mai et juillet, qui correspond au moment où les saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser devraient être présents dans la région des îles Discovery (voir le Tableau 11). Cette conclusion s'assortit d'une **certitude raisonnable** compte tenu des données abondantes et solides documentant la

présence de saumons rouges juvéniles dans la région des îles Discovery et la présence de *P. salmonis* et de la SRS dans des fermes d'élevage de saumon atlantique dans cette zone.

3.3.4.2 Exposition du saumon rouge adulte du fleuve Fraser

La conclusion a été qu'il est **très probable** qu'au moins un saumon rouge adulte du fleuve Fraser soit exposé à *P. salmonis* provenant des fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery en raison d'une exposition par l'eau, selon les pratiques actuelles de gestion de la santé des poissons, étant donné leur chevauchement temporel avec les déclarations de la bactérie *P. salmonis* dans les fermes. Sur les cinq années pour lesquelles on dispose de preuves de la présence de *P. salmonis* ou de la SRS dans les fermes depuis 2002, les preuves pour quatre années couvrent la période entre juin et octobre, qui correspond au moment où les saumons rouges adultes du fleuve Fraser devraient être présents dans la région des îles Discovery (voir le Tableau 11). Cette conclusion s'assortit d'une **certitude raisonnable** étant donné l'abondance et la robustesse des données documentant la présence de saumons rouges adultes dans la région des îles Discovery, et des 16 ans de données de différentes sources sur la présence de *P. salmonis* et de la SRS dans des fermes d'élevage de saumon atlantique de la région.

3.4 ÉVALUATION DE L'INFECTION

3.4.1 Question

En supposant qu'au moins un saumon rouge du fleuve Fraser a été exposé à *P. salmonis* rejetée par une ou des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery, quelle est la probabilité qu'au moins un saumon rouge soit contaminé?

3.4.2 Considérations

Les éléments à prendre en compte comprennent les conditions océanographiques et environnementales; les doses infectieuses et létales minimales; la durée estimée de l'exposition; la pression estimée de l'infection dans les fermes; et la mortalité attribuable à la SRS dans les fermes d'élevage de saumon atlantique.

3.4.2.1 Conditions océanographiques et environnementales

La température enregistrée de l'eau dans la région des îles Discovery varie entre 3 et 24 °C selon les saisons et les régions (Chandler *et al.*, 2017). La température mensuelle moyenne de l'eau dans les 15 premiers mètres des fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery s'échelonne de $7,6 \pm 2,3$ °C à $11,5 \pm 3,3$ °C (Chandler *et al.*, 2017). Comme la survie de *P. salmonis* dans l'eau de mer sur une période de 10 à 15 jours était égale ou supérieure à celle enregistrée dans un milieu de culture tissulaire à 5 °C, 10 °C ou 15 °C (Lannan et Fryer, 1994), il semble que les températures de l'eau dans la région des îles Discovery sont favorables à la survie de *P. salmonis*.

La salinité de l'eau dans la région des îles Discovery varie considérablement, de presque 0 à 32, selon la saison (en raison du ruissellement de la fonte des neiges), la profondeur (en raison de la circulation estuarienne) et l'emplacement (le mélange vertical étant excellent dans certains chenaux étroits). La salinité mensuelle moyenne mesurée dans les 15 premiers mètres de la colonne d'eau dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery varie de $28,9 \pm 7,3$ à $29,9 \pm 8,7$ (Chandler *et al.*, 2017), et rien ne permet de penser que les salinités de cet ordre de grandeur compromettent la survie de *P. salmonis*.

3.4.2.2 Doses infectieuses et létales minimales

Le pouvoir infectieux de *P. salmonis*, comme il a été établi par un système de vérification en bassin d'élevage, a été démontré chez le saumon atlantique avec un isolat écossais (Birkbeck *et al.*, 2004) et chez la truite arc-en-ciel avec une souche chilienne (Smith *et al.*, 2015).

Cependant, jusqu'à présent, aucune étude n'a permis d'estimer les doses minimales (infectieuses ou létales) de *P. salmonis* nécessaires pour causer la SRS ou la mort chez les poissons par des voies d'exposition qui imitent les voies naturelles de transmission (Jones, 2019).

3.4.2.3 Durée estimée de l'exposition

La durée potentielle d'exposition d'une espèce de poisson sensible à *P. salmonis* disséminée à partir d'une ferme d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery dépend : (i) du temps que le saumon rouge du fleuve Fraser passe dans la zone et (ii) de la durée de l'infection par *P. salmonis* et de la SRS dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de cette zone.

3.4.2.3.1 Temps passé par les espèces sensibles dans la région des îles Discovery

Grant *et al.* (2018) ont estimé qu'un saumon rouge juvénile passe de cinq à quatorze jours dans la région des îles Discovery et un adulte, trois jours. Les fermes d'élevage de saumon atlantique sont situées dans des chenaux d'une partie de l'ensemble de la zone. La longueur totale de la région des îles Discovery est d'environ 140 km, les fermes étant réparties sur environ 75 km. En supposant une vitesse de migration constante et des déplacements unidirectionnels, Mimeault *et al.* (2017) ont alors estimé que les juvéniles pouvaient se trouver à proximité des fermes pendant trois à huit jours et les adultes pendant deux jours lorsqu'ils traversent la région durant la montaison.

Dans une étude de télémétrie réalisée en 2017, le temps de déplacement médian des saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser (essentiellement du lac Chilko) dans les chenaux Hoskyn et Okisollo (Figure 1) était d'environ 30 heures et le temps de déplacement entre l'est et l'ouest du chenal Okisollo, d'environ 6 heures (Rechisky *et al.*, 2018). Dans la même étude, des récepteurs ont également été déployés dans deux fermes 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. Le temps médian passé par les saumons rouges juvéniles près des différentes fermes d'élevage de saumon était d'environ 4,5 minutes, ce qui laisse supposer une courte durée d'exposition aux fermes en jachère (Rechisky *et al.*, 2018).

3.4.2.3.2 Durée des infections par *Piscirickettsia salmonis* et de la septicémie rickettsienne des salmonidés (SRS) dans les fermes de saumon atlantique de la région des îles Discovery

On n'a pas enregistré d'ESP ou d'épisode de mortalité attribué à la SRS dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery. La plupart des ESP attribués à la SRS et des diagnostics de SRS au niveau de la ferme fondés sur des vérifications en Colombie-Britannique ont concerné la côte ouest de l'île de Vancouver (zone de santé du poisson 2.3) et, compte tenu des conditions environnementales différentes, les observations faites dans cette région sont difficiles à extrapoler à la région des îles Discovery.

3.4.2.4 Estimation de la pression d'infection par *Piscirickettsia salmonis* par les fermes d'élevage de saumon atlantique

Pour pouvoir estimer la concentration potentielle de *P. salmonis* dans l'eau dans une ferme pendant une éclosion de SRS, il faut estimer le nombre de poissons contaminés pendant une éclosion, le taux d'excrétion bactérienne, la durée de l'excrétion et le volume de la ferme.

À ce jour, il n'est pas possible d'estimer cette concentration étant donné qu'aucune étude n'a encore estimé les taux d'excrétion bactérienne des saumons contaminés par *P. salmonis* (Jones, 2019).

3.4.2.5 Mortalité attribuable à *Piscirickettsia salmonis* et à la septicémie rickettsienne des salmonidés (SRS) dans les fermes d'élevage de saumon atlantique

Des différences importantes entre le Chili et la Colombie-Britannique en ce qui concerne la taille des fermes et le mode d'exploitation de l'industrie limitent la mesure dans laquelle le risque peut être extrapolé au contexte de la Colombie-Britannique (Jones, 2019). Le rôle de facteurs environnementaux, y compris les processus au niveau des fermes, qui sont susceptibles d'influer sur l'hétérogénéité apparente de la virulence parmi les isolats de *P. salmonis* dans différentes régions, doit faire l'objet de recherches plus poussées (Jones, 2019). En conséquence, seules les manifestations de la SRS en Colombie-Britannique sont considérées comme étant pertinentes dans le cadre de la présente évaluation des risques.

La première éclosion de SRS bien décrite est survenue chez des saumons atlantiques et des saumons chinooks d'élevage conservés dans des cages séparées à un seul site près de l'île de Vancouver en 1991 (Brocklebank *et al.*, 1992; Brocklebank *et al.*, 1993). Le site comportait deux parcs en filet distants d'environ 100 mètres. Le premier système contenait huit cages de saumons atlantiques (1991-S1²) et quatre cages de saumons chinooks (1991-S1), tandis que le second système contenait huit cages de saumons chinooks (1991-S0³). Toutes les cages étaient identiques. L'éclosion a eu lieu à l'automne 1991, environ six semaines après un bloom phytoplanctonique qui a été observé en septembre. Le taux de mortalité quotidien a augmenté régulièrement au cours du mois d'octobre, passant de 0,01 % à 0,06 % dans deux des huit parcs de saumons atlantiques (Brocklebank *et al.*, 1993). Chaque parc contenait 8 500 poissons d'un poids de 400 à 500 g. Des saumons atlantiques moribonds prélevés en novembre affichaient des signes cliniques correspondant à une septicémie. Du milieu à la fin du mois de janvier, approximativement, les poissons ont été traités avec de l'oxytétracycline ajoutée aux aliments. Une semaine après le dernier jour de traitement, la mortalité quotidienne du saumon atlantique est passée de 0,66 % à 0,015 % (Brocklebank *et al.*, 1993). La mortalité cumulée a atteint 8 % sur le site touché pour le saumon atlantique, tandis que la mortalité du saumon chinook est restée négligeable malgré les signes cliniques internes observés en décembre (Brocklebank *et al.*, 1993).

Enfin, bien qu'on ait détecté la présence de *P. salmonis* et diagnostiqué la SRS au niveau de la ferme durant deux vérifications consécutives menées dans la baie Barnes (avec un intervalle de trois mois) et durant une vérification menée à Okisollo en 2016, on n'a signalé aucun ESP attribué à la SRS dans des fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery, ce qui semble indiquer une propagation limitée de la SRS entre les saumons

² Un «S1» est un saumoneau ou un jeune saumon qui a terminé le processus physiologique de smoltification un an après avoir éclos de l'œuf (Brocklebank *et al.*, 1993).

³ Un «S0» devient un saumoneau dans l'année qui suit l'éclosion de l'œuf (Brocklebank *et al.*, 1993).

atlantiques d'élevage, malgré une exposition prolongée et une proximité étroite dans les parcs en filet.

3.4.3 Hypothèses

- Les saumons rouges du fleuve Fraser entrant dans la zone des îles Discovery sont novices à *P. salmonis*.
- Des saumons rouges du fleuve Fraser ont été exposés à *P. salmonis* disséminée à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery.

3.4.4 Probabilité d'infection

Le Tableau 13 présente les principaux facteurs contributifs et limitatifs de la probabilité qu'un saumon rouge du fleuve Fraser soit contaminé par la bactérie *P. salmonis* rejetée par les fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery. Ces facteurs ont été utilisés pour déterminer les cotes de probabilité et d'incertitude selon les définitions des Tableau 2, Tableau 5 et Tableau 6.

Tableau 13. Facteurs contributifs et limitatifs de la probabilité que des saumons rouges du fleuve Fraser soient contaminés par la bactérie *Piscirickettsia salmonis* disséminée à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique contaminées de la région des îles Discovery, compte tenu des pratiques actuelles de gestion de la santé des poissons. ESP : événements liés à la santé des poissons; SRS : septicémie rickettsienne des salmonidés.

Facteurs contributifs	Facteurs limitatifs
<ul style="list-style-type: none"> • Les souches de <i>P. salmonis</i> de la Colombie-Britannique ont provoqué des maladies chez les saumons atlantiques et les saumons chinooks d'élevage (Brocklebank <i>et al.</i>, 1993), et il existe des signalements anecdotiques de septicémie rickettsienne chez des saumons roses, cohos et chinooks d'élevage (Brocklebank <i>et al.</i>, 1992). • La sensibilité du saumon rouge à l'infection par <i>P. salmonis</i> et à la SRS reste à déterminer; toutefois, le vaste éventail d'hôtes de <i>P. salmonis</i> indique une forte probabilité que le saumon rouge soit sensible, malgré l'absence de preuves directes d'infection chez cette espèce (Jones, 2019). • Les saumons rouges juvéniles peuvent passer de trois à huit jours à proximité des fermes d'élevage de saumon atlantique et les adultes, deux jours, pendant leur migration dans la région des îles Discovery. • Il n'y a pas de vaccin commercial permettant de lutter contre la SRS. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aucun ESP ou épisode de mortalité n'a été attribué à la SRS dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery (2002-2017). • D'après les résultats d'une étude de suivi télémétrique, les saumons rouges juvéniles passent peu de temps (quelques minutes) à proximité des fermes en jachère (Rechisky <i>et al.</i>, 2018). • La mortalité lors d'une éclosion de SRS dans une ferme d'élevage de saumon atlantique et de saumons chinooks en Colombie-Britannique en 1991 s'est limitée à deux des huit parcs en filet contenant du saumon atlantique et est restée négligeable dans les quatre parcs de saumons chinooks du même système (Brocklebank <i>et al.</i>, 1993), ce qui donne à penser que la dissémination de la maladie entre les parcs en filet serait limitée.

La probabilité d'infection a été examinée séparément pour les deux groupes d'exposition et la conclusion a été la même.

La conclusion a été qu'il est **très improbable** que des saumons rouges juvéniles et adultes du fleuve Fraser soient contaminés par *P. salmonis* provenant de fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery selon les pratiques actuelles en matière de gestion de la santé du poisson, comme il y a eu peu de signalements de cas de mortalité pendant une éclosion de SRS, ce qui donne à penser que la dissémination de l'infection est limitée. Cette conclusion s'assortit d'une **incertitude élevée** étant donné l'absence de données permettant d'estimer la pression d'infection à partir d'une ferme de saumon atlantique contaminée et d'autres lacunes importantes dans les connaissances, comme sur la survie de *P. salmonis* en milieu marin, sur la sensibilité relative des salmonidés à *P. salmonis*, et sur les doses infectieuses et létales minimales.

3.5 ÉVALUATION DE LA PROBABILITÉ GLOBALE

Les probabilités estimées ont été combinées selon les règles de combinaison décrites dans la section sur la méthodologie. 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. Les incertitudes n'ont pas été combinées.

Le Tableau 14 résume l'évaluation de la probabilité. La conclusion a été qu'il est **très improbable** qu'au moins un saumon rouge du fleuve Fraser, juvénile ou adulte, soit contaminé par la bactérie *P. salmonis* disséminée à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery.

Tableau 14. Sommaire des cotes de probabilité et d'incertitude pour l'évaluation de la probabilité dans le cadre de l'évaluation du risque que pose *Piscirickettsia salmonis*. Les résultats sont indiqués dans les cellules blanches et les résultats combinés concernant la probabilité sont présentés dans les cellules ombrées de la colonne « Classement ».

Étape		Classement	
Évaluation de l'infection à la ferme	Probabilité d'infection à une ferme	Improbable (certitude raisonnable)	
Évaluation de la dissémination	Voies de dissémination	Saumon atlantique d'élevage	Vecteurs mécaniques et vecteurs passifs
	Probabilité de dissémination	Extrêmement probable (certitude raisonnable)	Improbable (certitude raisonnable)
	Probabilités combinées de dissémination	Extrêmement probable	
Évaluations de l'exposition et de l'infection	Groupes d'exposition	Saumon rouge juvénile du fleuve Fraser	Saumon rouge adulte du fleuve Fraser
	Probabilité d'exposition	Improbable (certitude raisonnable)	Très probable (certitude raisonnable)
	Probabilité d'infection	Très improbable (incertitude élevée)	Très improbable (incertitude élevée)
Probabilités combinées d'exposition et d'infection pour chaque groupe d'exposition		Très improbable	Très improbable
Probabilités combinées (infection à la ferme, dissémination, exposition et infection) pour chaque groupe d'exposition		Très improbable	Très improbable

4 ÉVALUATION DES CONSÉQUENCES

L'évaluation des conséquences cherche à déterminer l'ampleur potentielle des effets de l'infection par *P. salmonis* provenant 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.

L'évaluation de l'infection à la ferme a permis de déterminer qu'il est improbable que des saumons atlantiques contaminés par *P. salmonis* soient présents dans au moins une ferme de la région des îles Discovery. Les années où il n'y a pas eu d'infection par *P. salmonis* dans les fermes, aucune conséquence sur l'abondance et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser ne serait attribuable à la bactérie dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery. Les années où l'infection par *P. salmonis* a été attestée dans les fermes, l'évaluation de l'exposition a permis de déterminer que les poissons contaminés étaient présents dans une ferme au maximum au cours d'un mois donné, et dans trois fermes au maximum entre les mois de mai et d'octobre (voir le Tableau 11). L'évaluation de la probabilité globale a conclu qu'il est très improbable que des saumons rouges du fleuve Fraser soient contaminés par la bactérie *P. salmonis* attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique

de la région des îles Discovery, selon les pratiques actuelles de gestion de la santé des poissons.

Nonobstant cette conclusion et en supposant qu'au moins un saumon rouge du fleuve Fraser aurait été contaminé par *P. salmonis* provenant de ces fermes, l'évaluation des conséquences explore l'ampleur potentielle des effets sur le nombre d'adultes en montaison et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser.

4.1 QUESTION

En supposant qu'au moins un saumon rouge du fleuve Fraser a été contaminé par la bactérie *P. salmonis* disséminée à partir de saumons atlantiques contaminés, quelle est l'ampleur potentielle des effets sur le nombre d'adultes en montaison et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser?

4.2 CONSIDÉRATIONS

Les éléments à prendre en considération comprennent la dynamique de l'infection, la prévalence et les effets sur les populations de poissons sauvages, les infections subcliniques, les cas de mortalité chez des populations d'élevage contaminées, les estimations de la densité du saumon rouge du fleuve Fraser, la proportion de ces poissons qui est potentiellement exposée aux fermes où l'infection est présente, et l'exposition sur deux générations.

4.2.1 Dynamique de l'infection par *Piscirickettsia salmonis*

Pour qu'une éclosion de la maladie se déclare, il faut une combinaison de conditions qui sont défavorables pour l'hôte (p. ex. environnementales et physiologiques) et favorables pour l'agent pathogène (c.-à-d. présence d'hôtes sensibles, survie de l'agent pathogène). Au Chili, la probabilité de présence de la SRS dans une ferme d'élevage de salmonidés a été positivement associée à la température, au temps passé par les poissons d'élevage en eau salée, et au nombre de voisins atteints de la SRS (Rees *et al.*, 2014).

La bactérie *P. salmonis* se transmet à la fois horizontalement et verticalement [résumé dans Jones (2019)]. Après la transmission de la bactérie, la période d'incubation, qui dépend des conditions environnementales, de la dose et de la souche de *P. salmonis*, ainsi que de l'état de l'espèce hôte sensible, varie de 10 à 20 jours, les périodes d'incubation chez le saumon atlantique étant de 15 à 20 jours (Rozas et Enriquez, 2014; Rozas-Serri *et al.*, 2017).

4.2.2 Prévalence et effets chez les populations de poissons sauvages

Une récente étude reposant sur des techniques moléculaires a permis de prouver la présence d'ADN génomique de *P. salmonis* chez moins de 1 % des saumons rouges du fleuve Fraser remontant pour frayer (Miller *et al.*, 2014). Deux autres études ont utilisé des techniques similaires pour détecter des agents infectieux et ont fait état de résultats positifs lorsqu'ils étaient détectés à une prévalence supérieure à 1 % chez une espèce (Miller *et al.*, 2017; Tucker *et al.*, 2018). La présence de *P. salmonis* n'a pas été signalée chez des saumons chinooks du fleuve Fraser capturés en mer (Tucker *et al.*, 2018), ni chez le saumon chinook ou le saumon rouge de plusieurs origines (Miller *et al.*, 2017) À ce jour, nous ne disposons pas de données sur la morbidité ou la mortalité associée à une infection par *P. salmonis* chez des poissons sauvages (Jones, 2019).

4.2.3 Infections subcliniques par *Piscirickettsia salmonis*

On reconnaît que les effets d'une exposition à un agent pathogène peuvent être à la fois sublétaux et cumulatifs, et il n'y a pas de raisons de penser que cet état de fait est différent en ce qui concerne l'exposition à *P. salmonis*. Cependant, l'état actuel de nos connaissances ne nous permet pas de quantifier les effets sublétaux d'une infection par *P. salmonis*. En outre, on ne sait pas si l'exposition sublétales à *P. salmonis* de saumons rouges en phase marine pourrait se traduire par une résistance élevée à une réinfection par *P. salmonis* ou d'autres bactéries, ou par une sensibilité élevée à d'autres agents pathogènes. En conséquence, l'effet au niveau de la population résultant d'une exposition à une concentration inférieure à la dose létale minimale est inconnu.

4.2.4 Mortalité chez des saumons d'élevage contaminés par *Piscirickettsia salmonis* en Colombie-Britannique

Comme on manque d'information sur les effets d'une infection par *P. salmonis* et de la SRS chez les populations de saumons sauvages (Jones, 2019), les taux de mortalité dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la Colombie-Britannique ont été utilisés comme données de substitution dans le cadre de la présente évaluation des risques. En reconnaissant que le saumon rouge du fleuve Fraser sauvage doit migrer, éviter les prédateurs et lutter pour les ressources, mais sachant également que les espèces sauvages sensibles devraient être exposées à *P. salmonis* provenant de fermes pendant une période plus courte et à une concentration moindre que pour le saumon d'élevage, on présume que les populations sauvages sensibles pourraient, tout au plus, tomber malade et mourir à un taux semblable à celui des saumons d'élevage.

L'éclosion de SRS de 1991 dans une ferme d'élevage de saumon atlantique et de saumons chinook (Brocklebank *et al.*, 1992; Brocklebank *et al.*, 1993) est la seule éclosion de SRS en Colombie-Britannique pour laquelle la mortalité quotidienne est documentée. Au cours de cette éclosion, les taux de mortalité quotidiens sont demeurés négligeables chez le saumon chinook mais, chez le saumon atlantique, la mortalité est passée de 0,01 % en octobre à un maximum de 0,66 % avant traitement au mois de janvier. La mortalité cumulative chez le saumon atlantique pendant cette éclosion était de 8 % (Brocklebank *et al.*, 1992; Brocklebank *et al.*, 1993). D'après les données soumises par l'industrie pour étayer la présente évaluation des risques, la mortalité quotidienne en pourcentage attribuée à la SRS dans les fermes où l'on a effectué des diagnostics de la SRS dans le cadre d'une vérification est demeurée moindre que celle mentionnée dans Brocklebank *et al.* (1993).

4.2.5 Estimation de la densité du saumon rouge du fleuve Fraser

Après une infection par un agent pathogène, la propagation dans une population dépend, entre autres paramètres, de la densité de la population. Comme la présente évaluation du risque concerne la propagation potentielle d'une infection acquise à partir de fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery, il n'est pas pertinent d'estimer la densité des juvéniles dans les rivières. Les densités dans la région des îles Discovery et en haute mer sont les plus pertinentes pour la présente évaluation.

4.2.5.1 Durant la dévalaison des juvéniles

Nous avons estimé les densités approximatives des saumons rouges juvéniles dans le détroit de Georgia à partir des données recueillies à la senne coulissante en mai et juin entre 2010 et 2012 (Neville *et al.*, 2013; Freshwater *et al.*, 2017). Ces études reposaient sur l'utilisation d'une senne coulissante longue de 280 m et profonde de 9 m (soit un volume cylindrique d'environ

56 000 m³). Les captures par unité d'effort (CPUE) moyennes les plus élevées déclarées des saumons rouges du fleuve Fraser s'établissaient à 1 534 et ont été enregistrées dans la région des îles Discovery en juin 2012 (Neville *et al.*, 2013). Les CPUE moyennes enregistrées dans le détroit de Georgia en mai et en juin étaient inférieures d'au moins un ordre de grandeur (Neville *et al.*, 2013). En utilisant le même ensemble de données, Freshwater *et al.* (2017) ont indiqué des CPUE combinées pour les mois de mai et de juin de 49 ± 239 et 323 ± 780 (moyenne \pm ET) pour 2011 et 2012, respectivement.

D'après les CPUE moyennes les plus élevées (1 534) et en présumant que le volume d'eau échantillonné pour chaque ensemble était de 56 000 m³, la densité moyenne estimée la plus élevée des saumons rouges juvéniles dans ce secteur devrait se situer à environ 0,03 poisson/m³. Il convient de noter que ces estimations reposent sur l'hypothèse que les poissons sont uniformément répartis dans la zone échantillonnée par le filet, et que tous les poissons présents dans la zone échantillonnée sont capturés (c.-à-d. qu'il n'y a pas de comportement d'évitement du filet ou de poissons qui s'en échappent). Ces estimations devront être révisées au fur et à mesure que les résultats des études en cours seront disponibles.

4.2.5.2 En haute mer

Il n'existe pas de données sur l'abondance ou la densité des saumons rouges en haute mer; c'est pourquoi, dans la présente évaluation du risque, nous avons utilisé des données de substitution.

À l'aide de méthodes hydroacoustiques, Nero et Huster (1996) ont estimé la densité moyenne des saumons (spp.) à 114 saumons/km² dans le golfe d'Alaska (ce qui, selon eux, est comparable aux estimations historiques de 160 saumons/km²). Comme les saumons se trouvaient au maximum à 40 m sous la surface de la mer pendant la journée (Nero et Huster, 1996), leur densité moyenne est donc estimée à environ $2,9 \times 10^{-6}$ poissons/m³. Si l'on présume que les saumons demeurent principalement dans les dix premiers mètres de la colonne d'eau, c'est là que devrait se trouver la plus grande concentration [Ware et McFarlane (1989); Groot et Margolis (1991) cités dans Nero et Huster (1996)] et leur densité devrait être d'environ $1,1 \times 10^5$ poisson/m³. Il convient de noter que Nero et Huster (1996) n'ont précisé ni les espèces de saumons, ni les tailles des poissons.

Comme la disposition spatiale des saumons donne à penser qu'à de petites échelles spatiales (2-200 m), les saumons sont uniformément répartis, tandis qu'à des échelles spatiales plus élevées (400-2 000 m), ils se regroupent (Nero et Huster, 1996), la densité aux petites échelles pourrait être supérieure aux estimations moyennes susmentionnées. Cependant, bien que les données soient limitées, il est raisonnable de prévoir que la densité du saumon rouge du fleuve Fraser devrait être moins importante en mer que durant la migration dans les chenaux de la région des îles Discovery.

4.2.6 Estimation de la proportion potentiellement exposée à des fermes contaminées

La présente section explore la proportion de la population de saumon rouge du fleuve Fraser qui se trouve dans la région des îles Discovery pendant la même période que celle où les infections par *P. salmonis* ou la SRS ont été signalées dans des fermes d'élevage de saumon atlantique.

Comme il existe des voies de migration dans la région des îles Discovery où il n'y a pas de ferme d'élevage de saumon atlantique, et que l'emplacement et le nombre des fermes contaminées simultanément seront des aspects critiques pour évaluer l'exposition réelle aux fermes contaminées, l'analyse suivante fournit une surestimation de la proportion de la

population exposée à des fermes contaminées dans la zone des îles Discovery pendant les périodes où des infections à *P. salmonis* ou la SRS ont été détectées dans une ou plusieurs fermes.

Il s'agit de la première étape pour déterminer la proportion de la population qui pourrait être exposée à *P. salmonis* attribuable à une ferme d'élevage de saumon atlantique contaminée dans la région des îles Discovery, sachant que le chevauchement simultané n'entraîne pas nécessairement une exposition et que l'exposition n'entraîne pas nécessairement une infection. Ces estimations sont fondées sur la période de la migration du saumon rouge du fleuve Fraser et sur les preuves d'infection dans les fermes de la région.

4.2.6.1 Juvéniles

Des millions de saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser traversent chaque année la région des îles Discovery pendant leur migration [examen dans Grant *et al.* (2018)]. Les connaissances sur les voies de dévalaison en mer empruntées par les juvéniles dans la région des îles Discovery et les interactions de ceux-ci avec les fermes d'élevage de saumon atlantique sont limitées. Par conséquent, il n'est pas possible d'estimer, à partir des voies de migration, la proportion de la population qui pourrait nager à proximité d'une ferme d'élevage de saumon atlantique contaminé. On a donc supposé que tous les saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser en dévalaison pourraient être exposés à *P. salmonis* provenant des fermes contaminées pendant leur migration dans la région des îles Discovery. Cette hypothèse devra être revue à mesure que nous connaissons mieux les voies migratoires du saumon rouge du fleuve Fraser.

Toutefois, comme il n'y a pas de fermes d'élevage de saumon atlantique dans tous les chenaux et qu'elles n'occupent pas un grand volume de la région des îles Discovery (voir la Figure 1 et la section 3.3.2.2), il est raisonnable de présumer que tous les poissons ne se trouveront pas dans les environs d'une ferme contaminée ou ne seront pas exposés aux agents pathogènes dispersés à partir de ces fermes. En outre, ces estimations doivent tenir compte de la présence du saumon rouge du fleuve Fraser dans la région par rapport au moment de ces infections. Les saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser du type lacustre traversent la région des îles Discovery chaque année de la mi-mai à la mi-juillet durant leur dévalaison (Grant *et al.*, 2018). La dévalaison n'est toutefois pas répartie uniformément sur les trois mois (Neville *et al.*, 2016; Freshwater *et al.*, 2019). D'après les données sur les prises de Freshwater *et al.* (2019), 30 %, 62 % et 8 % des juvéniles ont été capturés en mai, juin et juillet, respectivement.

Compte tenu de la distribution temporelle du saumon rouge du fleuve Fraser dans la région des îles Discovery et en considérant uniquement les années avec infection, de 8 à 62 % (médiane = 35 % et moyenne = 35 %) des juvéniles auraient eu la possibilité d'être exposés à *P. salmonis* attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery durant leur dévalaison (annexe C). Ces estimations supposent également que les poissons migrateurs rencontreront une ou des fermes contaminées, c'est-à-dire que les poissons emprunteront les voies sur lesquelles ces fermes se trouvent.

4.2.6.2 Adultes

Le saumon rouge remonte dans le fleuve Fraser soit par la route nord (détroit de Johnstone), soit par la route sud (détroit de Juan de Fuca) [examen dans Grant *et al.* (2018)]. Les taux de détournement vers le nord sont très variables, allant de 10 à 96 % par an entre 1980 et 2017 [Grant *et al.* (2018) et Pacific Salmon Commission (2017, 2018)]. En supposant que tous les saumons rouges en montaison qui empruntent la voie du nord traversent la région des îles

Discovery, entre 10 et 96 % des adultes du fleuve Fraser en montaison pourraient être exposés à une ferme d'élevage de saumon atlantique pendant leur migration.

Les saumons rouges du fleuve Fraser en montaison traversent la région des îles Discovery entre la fin du mois de juin et le début du mois d'octobre [examen dans Grant *et al.* (2018)]. La montaison n'est toutefois pas répartie uniformément sur les cinq mois. D'après les données sur les captures en aval de Mission fournies par la Commission du saumon du Pacifique (voir l'annexe C), 0,3 %, 12,2 %, 79,7 %, 7,7 % et 0,1 % des adultes qui passent par la voie du nord pour la montaison devraient être présents dans la région des îles Discovery en juin, juillet, août, septembre et octobre, respectivement.

Compte tenu de la distribution temporelle et du détournement vers le nord des adultes en montaison et en considérant uniquement les années avec infection, de 5 à 44 % (médiane = 14 % et moyenne = 19 %) des adultes auraient eu la possibilité d'être exposés à *P. salmonis* attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery durant leur montaison (annexe C). Ces estimations supposent également que les poissons migrateurs rencontreront une ou des fermes contaminées, c'est-à-dire que les poissons emprunteront les voies sur lesquelles ces fermes se trouvent.

4.2.7 Estimations de l'exposition sur deux générations

Nous avons estimé l'exposition potentielle des populations de saumon rouge du fleuve Fraser à des fermes d'élevage de saumon atlantique contaminées par *P. salmonis* sur deux générations (huit ans pour le saumon rouge du fleuve Fraser) pour explorer les possibles effets sur la diversité.

Étant donné les deux résultats possibles de l'exposition au cours d'une année donnée pour le saumon rouge du fleuve Fraser en migration, c'est-à-dire que le saumon en migration peut être exposé compte tenu des preuves d'infection dans les fermes de la région (résultat de réussite) ou que le saumon en migration ne peut pas être exposé compte tenu du manque de preuves d'infection dans les fermes de la région (résultat d'échec), le nombre de réussites (s) sur un nombre donné d'essais (n) peut être estimé à l'aide du processus binomial (annexe F).

En moyenne, sur deux générations, les saumons rouges du fleuve Fraser juvéniles et adultes peuvent rencontrer des fermes d'élevage de saumon atlantique contaminées par *P. salmonis* situées dans la région des îles Discovery au cours d'une et de deux des huit années, respectivement. Cela suppose que lorsqu'une ferme est contaminée, le saumon rouge choisit les voies qui passent par les fermes contaminées. La probabilité qu'une exposition, mais pas nécessairement une infection, se produise pendant au moins quatre années consécutives sur deux générations est de 0,08 % et de 1,6 % pour les saumons rouges juvéniles et adultes du fleuve Fraser, respectivement (voir l'annexe D).

Malgré l'exposition potentielle durant des années consécutives, l'évaluation de la probabilité a conclu qu'il était très improbable que le saumon rouge du fleuve Fraser soit contaminé par la bactérie *P. salmonis* rejetée à partir de fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery, compte tenu des pratiques de gestion actuelles.

4.3 HYPOTHÈSES

- Il n'y a pas de corrélation entre la mortalité due à la SRS et la mortalité marine due à d'autres sources chez le saumon rouge, c'est-à-dire que le taux de mortalité marine est le même chez les poissons contaminés et non contaminés.
- Lorsqu'une ferme est contaminée, le saumon rouge utilise les voies qui passent par les fermes contaminées.

4.4 AMPLEUR DES CONSÉQUENCES

La Figure 5 illustre les résultats potentiels de la propagation et de l'établissement résultant d'au moins un saumon rouge du fleuve Fraser contaminé par la bactérie *P. salmonis* disséminée par des saumons atlantiques contaminés d'une ferme de la région des îles Discovery.

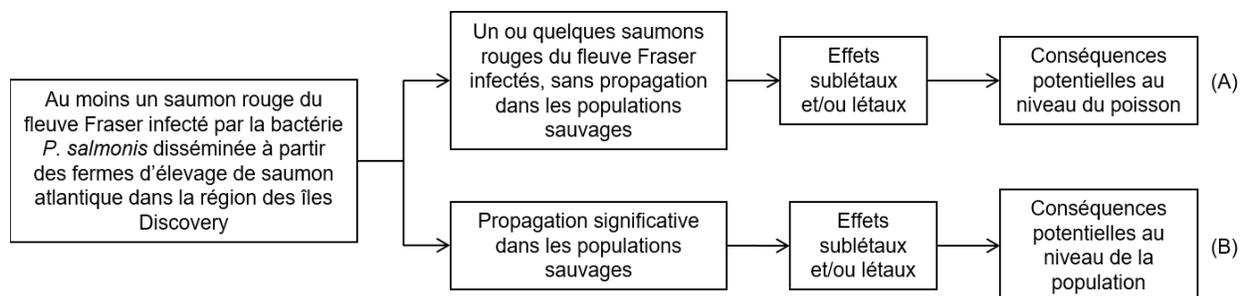


Figure 5. Résultats potentiels de l'infection d'au moins un poisson saumon rouge du Fleuve Fraser par la bactérie *Piscirickettsia salmonis* disséminée à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery.

L'évaluation de l'infection a permis de conclure qu'il est très improbable qu'un saumon rouge du fleuve Fraser exposé à des concentrations de *P. salmonis* provenant de saumons atlantiques contaminés dans une ferme de la région des îles Discovery devienne contaminé.

L'ampleur des conséquences potentielles sur l'abondance et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser résultant de l'exposition et de la contamination de saumons rouges du fleuve Fraser juvéniles et adultes a été déterminé séparément. Les cotes ont été déterminées en fonction des définitions des conséquences sur l'abondance (Tableau 3), des conséquences sur la diversité (Tableau 4) et de l'incertitude (Tableau 5).

4.4.1 Saumon rouge juvénile du fleuve Fraser

Les saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser devraient se trouver dans les environs des fermes de saumon atlantique infectées par *P. salmonis* situées dans la région des îles Discovery au cours de leur dévalaison dans une année sur huit; la probabilité qu'une telle exposition se produise pendant quatre années consécutives est presque nulle (section 4.2.7). Les années avec infection, si l'on se fonde sur les données recueillies entre 2002 et 2017 (Tableau 11), des juvéniles pourraient avoir été exposés à une ferme contaminée par *P. salmonis* durant leur migration dans la région des îles Discovery.

Après avoir été exposés à une ferme d'élevage de saumon atlantique contaminée par *P. salmonis* située dans la région des îles Discovery, les saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser continuent leur migration par le détroit de Johnstone, le détroit de la Reine-Charlotte et en haute mer. Il convient de noter que malgré l'exposition potentielle, l'évaluation de la probabilité a conclu qu'il était très improbable que le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser soit contaminé par la bactérie *P. salmonis* rejetée à partir de fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery, compte tenu des pratiques de gestion actuelles. Néanmoins, la possibilité qu'une infection théoriquement acquise dans la région des îles Discovery se propage à d'autres saumons rouges du fleuve Fraser juvéniles pendant la migration en mer a été examinée (Figure 5, résultat A).

La période de migration estimée entre la région des îles Discovery jusqu'au détroit de la Reine-Charlotte est d'environ 5 à 15 jours, d'après la vitesse de nage des juvéniles (10 à 30 km/jour), telle que résumée dans Grant *et al.* (2018). La période d'incubation de *P. salmonis* varie de 10 à 20 jours en fonction des conditions environnementales, de la dose, de la souche de la

bactérie et de l'espèce hôte (Rozas et Enriquez, 2014; Rozas-Serri *et al.*, 2017). Ainsi, un saumon rouge du fleuve Fraser juvénile contaminé par *P. salmonis* provenant d'une ferme contaminée de la région des îles Discovery devrait montrer des signes d'infection durant sa migration par le détroit de la Reine-Charlotte et en haute mer.

La propagation de l'infection dans la population, de même que le taux et l'ampleur de la propagation, dépendent de la probabilité qu'un individu sensible réussisse à entrer en contact (menant à la transmission de l'infection) avec un individu infectieux de la même population. Cette probabilité dépend, entre autres paramètres, de la densité de la population.

À l'heure actuelle, nous ne disposons pas de références documentant la prévalence et la mortalité attribuables à la SRS chez les populations de salmonidés sauvages. L'éclosion de SRS dans une ferme d'élevage de saumon atlantique et de saumons chinooks décrite par Brocklebank *et al.* (1992) et Brocklebank *et al.* (1993) nous donne des renseignements sur le développement et la propagation de la SRS en fonction de la densité dans les fermes. Dans le cadre de la présente évaluation des risques, on peut utiliser ces renseignements comme données de substitution, car il n'existe pas de vaccin contre la SRS au Canada. L'éclosion observée en 1991 a duré quatre mois, avant l'introduction d'un traitement, et a donné lieu à une mortalité cumulative de 8 %. La densité des poissons d'élevage durant l'éclosion de 1991 était de 1,9 saumon/m³, ce qui est supérieur de plusieurs ordres de grandeur à la densité estimée des saumons en haute mer (voir la section 4.2.5). Ainsi, on a conclu que la densité critique de la population hôte requise pour une transmission efficace de *P. salmonis* et une progression vers l'établissement de la maladie ne devrait pas être atteinte en ce qui concerne le saumon rouge du fleuve Fraser juvénile.

En conséquence, nous avons conclu qu'il n'est pas plausible qu'un saumon rouge du fleuve Fraser juvénile exposé à *P. salmonis* rejetée à partir d'une ferme d'élevage de saumon atlantique contaminée contracte une infection qui serait susceptible de se propager et de s'établir au sein d'une population. Nous avons donc conclu que l'ampleur potentielle des conséquences sur l'abondance ou la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser serait **négligeable**. Cette conclusion s'assortit d'une **incertitude raisonnable**, car elle repose principalement sur des données de substitution recueillies durant une épidémie à une ferme et sur des estimations de la densité de saumons rouges du fleuve Fraser en haute mer.

4.4.2 Saumon rouge adulte du fleuve Fraser

Les saumons rouges du fleuve Fraser adultes peuvent être exposés à des saumons atlantiques contaminés d'un nombre maximal de trois fermes durant leur montaison par la région des îles Discovery jusqu'au fleuve Fraser. Il existe une probabilité d'environ 2 % que l'exposition aux fermes contaminées puisse se produire pendant au moins quatre années consécutives sur deux générations (voir la section 9.4.1.2). Nous avons pris en considération la possibilité qu'une infection théoriquement acquise dans la région des îles Discovery se propage à d'autres saumons rouges adultes du fleuve Fraser durant leur migration en eau douce ou dans les frayères (avant la réussite du frai).

Grant *et al.* (2018) ont estimé que les saumons rouges du fleuve Fraser en montaison peuvent franchir la distance entre la limite sud-est de la région des îles Discovery et Mission en trois à quatre jours environ. La distance entre les frayères du saumon rouge du fleuve Fraser et l'océan varie considérablement, allant de 40 km pour la population de Widgeon Slough à 1 200 km pour la population de la Stuart à montaison précoce (Cohen, 2012b). Dans une étude sur la santé du poisson, il a fallu environ un mois aux saumons rouges de la Stuart à montaison précoce pour atteindre les frayères (Stoddard, 1993). Avec une période d'incubation aussi brève que dix jours, il est plausible que les saumons rouges du fleuve Fraser en montaison

exposés à *P. salmonis* provenant d'une ferme d'élevage de saumon atlantique contaminée dans la région des îles Discovery deviennent contaminés et développent des signes de la SRS pendant la phase de montaison en eau douce.

Il existe des lacunes importantes dans nos connaissances concernant la dynamique de l'infection par *P. salmonis*, notamment sur la souche trouvée en Colombie-Britannique. Cependant, comme il faudra environ un mois pour que les saumons rouges du fleuve Fraser adultes exposés à des fermes d'élevage de saumon atlantique contaminées par *P. salmonis* situées dans la région des îles Discovery passent du moment de l'exposition au moment du frai, il faudra utiliser un taux de reproduction de base (R_0) élevé et irréaliste, semblable à celui qui a été modélisé pour *A. salmonicida* (Mimeault *et al.*, 2020), pour obtenir une propagation à 1 % de la population en montaison pendant cette période. Comme il a donc été conclu qu'il ne s'agit pas d'un résultat plausible, l'ampleur des conséquences potentielles sur l'abondance ou la diversité des saumons rouges du fleuve Fraser adultes devrait être **négligeable**. Cette conclusion s'assortit d'une **incertitude élevée** en raison du manque de données sur la dynamique de l'infection par *P. salmonis* et l'utilisation de données de substitution provenant des fermes et d'avis d'experts.

5 ESTIMATION DU RISQUE

5.1 ABONDANCE

Le risque posé pour l'abondance du saumon rouge du fleuve Fraser par les infections par la bactérie *P. salmonis* attribuable aux fermes de saumon atlantique dans la région des îles Discovery (Tableau 15) a été estimé selon la matrice combinant les résultats de l'évaluation de la probabilité et ceux de l'évaluation des conséquences pour l'abondance (Figure 3).

Tableau 15. Estimation du risque pour l'abondance du saumon rouge du fleuve Fraser résultant de la présence de la bactérie *Piscirickettsia salmonis* provenant des fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery, selon les pratiques 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	Très improbable	Négligeables	Minime
Saumon rouge adulte du fleuve Fraser	Très improbable	Négligeables	Minime

La conclusion a été que selon les pratiques d'élevage actuelles, le risque pour l'abondance du saumon rouge du fleuve Fraser à la suite d'une infection par la bactérie *P. salmonis* attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery est **minime**.

5.2 DIVERSITÉ

Le risque posé pour la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser par les infections à la bactérie *P. salmonis* attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery (Tableau 16) a été estimé selon la matrice de risque combinant les résultats de l'évaluation de la probabilité et ceux de l'évaluation des conséquences pour la diversité (Figure 4).

Tableau 16. Estimation du risque pour la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser résultant de la présence de la bactérie *Piscirickettsia salmonis* provenant des fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery, selon les pratiques 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	Très improbable	Négligeables	Minime
Saumon rouge adulte du fleuve Fraser	Très improbable	Négligeables	Minime

La conclusion a été que selon les pratiques d'élevage actuelles, le risque pour la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser à la suite d'une infection par la bactérie *P. salmonis* attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery est **minime**.

6 SOURCES D'INCERTITUDE

Des incertitudes entourent les évaluations de la probabilité et des conséquences. 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).

6.1 ÉVALUATION DE LA PROBABILITÉ

Les principales incertitudes liées à l'évaluation de la probabilité sont attribuables aux facteurs suivants :

- L'absence de confirmation de la sensibilité et de la pathogénèse de *P. salmonis* chez le saumon rouge.
- Le manque d'information sur les taux d'excrétion chez les saumons sains et malades contaminés par *P. salmonis*.
- Le manque d'information sur la survie de *P. salmonis* en milieu marin en Colombie-Britannique.
- Le manque d'information sur les doses infectieuses et létales minimales de *P. salmonis* chez les espèces sensibles.
- La variabilité et les lacunes dans les connaissances sur les voies de migration précises du saumon rouge juvénile du fleuve Fraser dans la région des îles Discovery.
- Le manque de données pour estimer précisément la proportion de la population qui serait exposée et infectée par *P. salmonis* disséminée à partir d'une ferme d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery en cas d'infection par la SRS.

6.2 ÉVALUATION DES CONSÉQUENCES

Les principales incertitudes dans les évaluations des conséquences sur l'abondance et la diversité résultaient des éléments suivants :

- L'absence de données sur la mortalité due à la SRS chez le saumon rouge sauvage et d'autres poissons sauvages sensibles, et la conséquence qui en résulte, à savoir qu'on utilise les taux de mortalité observés dans les fermes comme données de substitution pour évaluer les taux de mortalité chez les populations sauvages.

-
- Le manque de connaissances sur les répercussions au niveau de l'individu et de la population d'une infection subclinique par *P. salmonis*.

7 CONCLUSIONS

L'évaluation a permis de conclure que la bactérie *P. salmonis* 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 compte tenu des pratiques actuelles de gestion de la santé du poisson.

Deux facteurs principaux ont influencé l'attribution d'un risque minime. Tout d'abord, on a déterminé qu'il est très improbable que le saumon rouge du fleuve Fraser soit contaminé par la bactérie *P. salmonis* disséminée à partir d'une ferme d'élevage de saumon atlantique située dans la région des îles Discovery. Ensuite, même dans le cas très improbable où un saumon rouge du fleuve Fraser serait contaminé par la bactérie *P. salmonis* disséminée à partir d'une ferme d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery, l'infection ne devrait pas se propager dans la population sauvage, ce qui fait que l'ampleur des conséquences sur l'abondance et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser serait négligeable.

Il existe des sources considérables d'incertitude associées à la détermination du risque pour le saumon rouge du fleuve Fraser posé par le transfert de *P. salmonis* à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique dans les îles Discovery. Les principales incertitudes entourent : 1) l'évaluation de la probabilité d'infection de poissons sauvages, pour lesquelles on manque d'information sur les taux d'excrétion chez les saumons sains et malades contaminés par *P. salmonis*; la survie de *P. salmonis* dans le milieu marin; et la dose infectieuse et létale minimale de *P. salmonis* chez les espèces sensibles; 2) l'évaluation des répercussions, pour laquelle il n'existe pas de données sur la mortalité due à la SRS chez le saumon rouge du fleuve Fraser; et les répercussions d'une infection subclinique par *P. salmonis* au niveau de l'individu et de la population. Il conviendrait de revoir la présente évaluation du risque à mesure que les résultats de nouvelles recherches viendront combler les lacunes dans les connaissances.

8 RÉFÉRENCES CITÉES

- Almendras, F. E., Fuentealba, I. C., Jones, S. R. M., Markham, F. and Spangler, E. 1997. Experimental infection and horizontal transmission of *Piscirickettsia salmonis* in freshwater-raised Atlantic salmon, *Salmo salar* L. J. Fish Dis. 20(6): 409-418.
- Beacham, T. D., Beamish, R. J., Candy, J. R., Wallace, C., Tucker, S., Moss, J. H. and Trudel, M. 2014. Stock-specific migration pathways of juvenile sockeye salmon in British Columbia waters and in the Gulf of Alaska. Trans. Am. Fish. Soc. 143(6): 1386-1403.
- Birkbeck, T. H., Rennie, S., Hunter, D., Laidler, L. A. and Wadsworth, S. 2004. Infectivity of a Scottish isolate of *Piscirickettsia salmonis* for Atlantic salmon *Salmo salar* and immune response of salmon to this agent. Dis. Aquat. Org. 60(2): 97-103.
- Brocklebank, J. R., Evelyn, T. P., Speare, D. J. and Armstrong, R. D. 1993. Rickettsial septicemia in farmed Atlantic and Chinook salmon in British Columbia: clinical presentation and experimental transmission. Can. Vet. J. 34(12): 745-748.
- Brocklebank, J. R., Speare, D. J., Armstrong, R. D. and Evelyn, T. 1992. Septicemia suspected to be caused by a rickettsia-like agent in farmed Atlantic salmon. Can. Vet. J. 33: 407-408.

-
- Brown, T. J., Kask, B. A., McAllister, C. D., Macdonald, J. S. and Levings, C. D. 1984. Salmonid catch-data from Campbell River and Discovery Passage, 1984. Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci. 497. iii + 79 p.
- CFIA. 2018. [Federally Reportable Aquatic Animal Diseases in Canada - 2018](#).
- 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. 2012a. 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.
- Cohen, B. I. 2012b. The sockeye fishery. The Uncertain Future of Fraser River Sockeye. Vol. 1. Minister of Public Works and Government Services Canada, Publishing and Depository Services, Ottawa, ON. 687 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.
- Cvitanich, J. D., Garate, O. N. and Smith, C. E. 1991. The isolation of a rickettsia-like organism causing disease and mortality in Chilean salmonids and its confirmation by Koch's postulate. J. Fish Dis. 14: 121-145.
- FAO. 2008. Understanding and applying risk analysis in aquaculture. *In* FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 519. Rome, Italy. 304 p.
- 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.
- 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.
- Freshwater, C., Trudel, M., Beacham, T. D., Grant, S. C. H., Johnson, S. C., Neville, C. E. M., Tucker, S. and Juanes, F. 2017. Effects of density during freshwater and early marine rearing on juvenile sockeye salmon size, growth, and migration. Mar. Ecol. Prog. Ser. 579: 97-110.
- 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.
- Garces, L. H., Larenas, J. J., Smith, P. A., Sandino, S., Lannan, C. N. and Fryer, J. L. 1991. Infectivity of a rickettsia isolated from coho salmon *Oncorhynchus kisutch*. Dis. Aquat. Org. 11(2): 93-97.
- 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.
- Groot, C. and Cooke, K. 1987. Are the migrations of juvenile and adult Fraser River sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in near-shore waters related? Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 96: 53-60.
- Groot, C. and Margolis, L. 1991. Pacific salmon life histories. University of British Columbia Press, Vancouver, B. C. 564 p.
- 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.
- Johnson, B. 2016. Development and evaluation of a new method for assessing migration timing of juvenile Fraser River sockeye salmon in their early marine phase. Undergraduate Thesis. University of Northern British Columbia. 33 p.
- Jones, S. 2019. [Caractérisation de la bactérie *Piscirickettsia salmonis* et de la septicémie rickettsienne des salmonidés pour informer les évaluations des risques de transfert d'agents pathogènes en Colombie-Britannique](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2019/020. v + 22 p.
- Lannan, C. N. and Fryer, J. L. 1994. Extracellular survival of *Piscirickettsia salmonis*. *J. Fish Dis.* 17: 545-548.
- Laurin, E., Jaramillo, D., Vanderstichel, R., Ferguson, H., Kaukinen, K., Schulze, A. D., Keith, I., Gardner, I. and Miller, K. M. 2019. Histopathological and novel high-throughput molecular monitoring data from farmed salmon (*Salmo salar* and *Oncorhynchus* spp.) in British Columbia, Canada, from 2011-2013. *Aquaculture* 499: 220-234.
- Levings, C. D. and Kotyk, M. 1983. Results of two boat trawling for juvenile salmonids in Discovery Passage and nearby channels, Northern Strait of Georgia. *Can. Man. Rep. Fish. Aquat. Sci. No.* 1730. 55 p.
- 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.
- Marshall, S. H., Gomez, F. A., Ramirez, R., Nilo, L. and Henriquez, V. 2012. Biofilm generation by *Piscirickettsia salmonis* under growth stress conditions: a putative *in vivo* survival/persistence strategy in marine environments. *Res. Microbiol.* 163(8): 557-566.
- Miller, K. M., Li, S., Ming, T., Kaukinen, K., Ginther, N., Patterson, D. A. and Trudel, M. 2017. Survey of infectious agents detected in juvenile Chinook and sockeye salmon from British Columbia and Washington. *NPAFC Doc.* 1718. 16 p.
- Miller, K. M., Teffer, A., Tucker, S., Li, S. R., Schulze, A. D., Trudel, M., Juanes, F., Tabata, A., Kaukinen, K. H., Ginther, N. G., Ming, T. J., Cooke, S. J., Hipfner, J. M., Patterson, D. A. and Hinch, S. G. 2014. Infectious disease, shifting climates, and opportunistic predators: cumulative factors potentially impacting wild salmon declines. *Evol. Appl.* 7(7): 812-855.

-
- Mimeault, C., Aubry, P., Wan, D., Wade, J., Boily, F., Jones, S.R.M., Johnson, S., Foreman, M.G.G., Chandler, P. C., Garver, K.A., Holt, C., Burgetz, I.J. et Parsons, G.J. 2020. [Évaluation du risque pour le saumon rouge du fleuve Fraser attribuable au transfert de la bactérie *Aeromonas salmonicida* 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. 2019/017. xi + 73 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.
- MPO. 2015. [Permis d'aquaculture de poissons marins en vertu de la Loi sur les pêches](#). Division de la gestion de l'aquaculture.
- MPO. 2018a. [Épisodes de mortalité dans des sites de piscicultures marine de la Colombie-Britannique 2011 et en cours](#). Pêches et Océans Canada.
- MPO. 2018b. [Événements liés à la santé du poisson signalés sur des sites de pisciculture marine de la Colombie-Britannique 2016 et en cours](#). Pêches et Océans Canada.
- MPO. 2018c. [Résultats des vérifications de la santé du poisson effectuées par le MPO pour chaque installation des sites d'aquaculture de poissons marins de la Colombie-Britannique](#). Pêches et Océans Canada.
- Nero, R. W. and Huster, M. 1996. Low frequency acoustic imaging of Pacific salmon on the high seas. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53: 2513-2523.
- 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.
- Neville, C. M., Trudel, M., Beamish, R. J. and Johnson, S. C. 2013. The early marine distribution of juvenile sockeye salmon produced from the extreme low return in 2009 and the extreme high return in 2010. *North Pacific Anadromous Fish Commission* 9: 65-68.
- 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.
- Pacific Salmon Commission. 2017. Report of the Fraser River Panel to the Pacific Salmon Commission on the 2016 Fraser River Sockeye Salmon fishing season. *In Annual Reports of the Fraser River Panel to Pacific Salmon Commission*. Vancouver, BC. 1-61 p.
- Pacific Salmon Commission. 2018. Report of the Fraser River Panel to the Pacific Salmon Commission on the 2017 Fraser River Sockeye and Pink Salmon fishing season. *In Annual Reports of the Fraser River Panel to the Pacific Salmon Commission*. Vancouver, BC. 1-79 p.
- Price, D., Ibarra, R., Sanchez, J. and St-Hilaire, S. 2017. A retrospective assessment of the effect of fallowing on piscirickettsiosis in Chile. *Aquaculture* 473: 400-406.

-
- 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.
- Rees, E. E., Ibarra, R., Medina, M., Sanchez, J., Jakob, E., Vanderstichel, R. and St-Hilaire, S. 2014. Transmission of *Piscirickettsia salmonis* among salt water salmonid farms in Chile. *Aquaculture* 428-429: 189-194.
- Rozas-Serri, M., Ildefonso, R., Pena, A., Enriquez, R., Barrientos, S. and Maldonado, L. 2017. Comparative pathogenesis of piscirickettsiosis in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) post-smolt experimentally challenged with LF-89-like and EM-90-like *Piscirickettsia salmonis* isolates. *J. Fish Dis.* 40(10): 1451-1472.
- Rozas, M. and Enriquez, R. 2014. Piscirickettsiosis and *Piscirickettsia salmonis* in fish: a review. *J. Fish Dis.* 37(3): 163-188.
- Smith, P. A., Contreras, J. R., Rojas, M. E., Guajardo, A., Diaz, S. and Carbonero, A. 2015. Infectivity of *Piscirickettsia salmonis* in immersion-bath exposed rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) fry. *J. Fish Dis.* 38(8): 765-770.
- Stoddard, E. M. 1993. Fraser River sockeye health study 1993 field collection, and bacteriological, virological and histological analysis of data collected: final report. EMS Aquatic Services, Vancouver, B.C. 23 p.
- 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.
- Tucker, S., Li, S., Kaukinen, K. H., Patterson, D. A. and Miller, K. M. 2018. Distinct seasonal infectious agent profiles in life-history variants of juvenile Fraser River Chinook salmon: An application of high-throughput genomic screening. *PLoS One* 13(4): e0195472.
- 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.
- Ware, D. M. and McFarlane, G. A. 1989. Fisheries production domains in the northeast Pacific ocean. *In* Effects of ocean variability on recruitment and an evaluation of parameters used in stock assessment models. Beamish, R. J. and McFarlane, G. A. (eds.). Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 108: pp 359-379.

9 ANNEXES

9.1 ANNEXE A : PROGRAMME DE VÉRIFICATION ET DE SURVEILLANCE DE LA SANTÉ DU POISSON

9.1.1 Détection de *Piscirickettsia salmonis* lors de vérifications et diagnostics de la septicémie rickettsienne des salmonidés (SRS)

La présente section résume les diagnostics de la SRS au niveau de la ferme, basés sur les vérifications, dans les fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery, ce qui comprend toutes les fermes de la zone de surveillance de la santé des poissons 3-2 et trois de la zone 3-3 (Hardwicke, Althorpe, Shaw Point).

Entre 2004 et 2016, 14 fermes ont été empoissonnées en moyenne par an, allant de 8 en 2013 à 18 en 2009 (Tableau 17). Entre 2002 et 2016, 245 vérifications ont été réalisées. De 2004 à 2011, entre 25 et 88 % des fermes ont fait l'objet d'une vérification annuelle. De 2012 à 2016, la plupart des fermes actives ont fait l'objet d'une vérification chaque année (80 à 100 %).

Entre 2002 et 2016, un total de trois diagnostics de la SRC au niveau de la ferme fondés sur des vérifications ont été signalés pour deux fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery, tous en 2016.

Tableau 17. Sommaire des fermes d'élevage de saumon atlantique actives, du nombre de vérifications effectuées et de diagnostics de la septicémie rickettsienne des salmonidés (SRS) au niveau de la ferme, dans les fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery (zone de la santé des poissons 3-2 et trois fermes à proximité dans la zone de la santé des poissons 3-3), entre 2002 et 2016. Le nombre de fermes est le nombre total de fermes de saumon atlantique ayant des poissons sur place à un moment quelconque de l'année. Sources : MPO (2018c), données fournies par la Division de la gestion de l'aquaculture du Pêches et Océans Canada (MPO) et la BC Salmon Farmers Association. S. O. : données non disponibles.

Année	Nombre de fermes	Nombre de vérifications	Nombre de fermes ayant fait l'objet d'une vérification	Pourcentage de fermes ayant fait l'objet d'une vérification	Nombre de vérifications ayant donné lieu à des diagnostics de la SRS au niveau de la ferme	Nombre de fermes ayant fait l'objet d'une vérification et dans lesquelles on a enregistré des diagnostics de la SRS au niveau de la ferme
2002	S. O.	3	3	S. O.	0	0
2003	S. O.	10	4	S. O.	0	0
2004	14	13	9	64	0	0
2005	15	18	11	73	0	0
2006	16	19	12	75	0	0
2007	16	24	13	81	0	0
2008	17	28	15	88	0	0
2009	18	23	14	78	0	0
2010	16	4	4	25	0	0
2011	17	13	8	47	0	0
2012	13	23	12	93	0	0
2013	8	12	7	88	0	0
2014	10	16	8	80	0	0
2015	10	18	9	90	0	0
2016	11	21	11	100	3	2
Total	---	245	---	---	3	2

La détection de *P. salmonis* ou d'organismes de type *Rickettsia*, en l'absence d'autres preuves de l'existence de la maladie, n'est pas suffisante pour donner lieu à un diagnostic de la SRS au niveau de la ferme. Par conséquent, outre les diagnostics au niveau de la ferme, de faibles niveaux de *P. salmonis* peuvent être présents dans les populations d'élevage et ceux-ci ne sont détectables qu'à l'aide de méthodes de diagnostic sensibles. On connaît mal les facteurs qui déclenchent la SRS clinique, mais on pense qu'ils sont liés à des agents de stress environnementaux ou associés à la production.

Les données de la province de la Colombie-Britannique et du PVSSP du MPO concernant les fermes de saumon atlantique dans la région des îles Discovery entre 2002 et 2016, qui documentent les résultats indiquant une infection par *P. salmonis*, sont résumées dans le Tableau 18. Depuis 2002, on a effectué deux diagnostics de la SRS au niveau de la ferme dans deux fermes, tous deux en 2016. L'un des diagnostics a été effectué dans la baie Barnes durant deux des trois vérifications (août et novembre), et l'autre a été effectué à Sonora/Okisollo durant

l'une des trois vérifications (novembre). En outre, la vérification a permis de confirmer l'infection par *P. salmonis* dans une ferme en 2009 (Cyrus Rocks, en novembre) et en 2012 (Cyrus Rocks, en août et en octobre) et dans trois fermes en 2016 (Barnes Bay en avril, Brent Island en novembre, Sonora/Okisollo en août). Les vérifications ont donné lieu à trois diagnostics de présomption de la présence de *P. salmonis*, lesquels ont tous été enregistrés à la pointe Venture : un en 2015 (en septembre) et deux en 2016 (en août et en novembre). La vérification n'a pas permis de détecter la bactérie entre 2002 et 2008, ni en 2010, 2011, 2013 et 2014. Il est à noter que les fermes pour lesquelles les vérifications ont donné lieu à des diagnostics confirmés ou présumés de la présence de *P. salmonis* étaient toutes situées dans le chenal Okisollo.

Tableau 18. Résultats du programme vérifications de la santé des poissons (PVSSP) effectuées par la province (2002-2010) et le Pêches et Océans Canada (MPO) [2011-2016] dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery où *Piscirickettsia salmonis* ou la septicémie rickettsienne des salmonidés (SRS) a été détectée. Des tests de détection de *P. salmonis* par réaction en chaîne par polymérase (PCR) [dans des bassins contenant jusqu'à cinq poissons] et par histopathologie ont été effectués sur toutes les carcasses recueillies dans le cadre du programme de vérification du MPO (2011-2016). Source : Division de la gestion de l'aquaculture du MPO pour le PVSSP (2002-2010) et MPO (2018c) pour les vérifications du MPO de la santé du poisson (2011-2016). * Les résultats obtenus par la province ne mentionnaient que la présence de la SRS ou de lésions causées par *P. salmonis*, alors que les résultats histologiques ont permis de déceler la présence de la SRS et de bactéries de type *Piscirickettsia*.

Année	Nom de la ferme	Nombre de vérifications de la santé du poisson	Nombre de carcasses évaluées	Nombre de résultats positifs lors de la détection de <i>P. salmonis</i> à l'aide de la PCR	Nombre de poissons ayant fait l'objet d'un diagnostic histologique de la SRS due à des bactéries de type <i>Piscirickettsia</i>	Diagnostics vétérinaires au niveau de la ferme
2009	Cyrus Rocks	3	16	1	Signes de la SRS chez un poisson*	Première vérification : Ouvert – Aucune cause connue/aucune lésion importante Deuxième vérification : Autre Troisième vérification : Ouvert – Aucune cause connue/aucune lésion importante
2012	Cyrus Rocks	3	15	2	2	Aucune maladie significative au niveau de la population
2015	Venture Pointe	2	11	1	0	Aucune maladie significative au niveau de la population
2016	Barnes Bay	3	25	3	13	Première vérification : Aucune maladie significative au niveau de la population Deuxième vérification : SRS Troisième vérification : SRS
	Brent Island	2	17	1	1	Première vérification : Aucune maladie significative au niveau de la population Deuxième vérification : Mortalité de bas niveau associée aux conditions environnementales
	Okisollo	3	18	2	9	Première vérification : Aucune maladie significative au niveau de la population Deuxième vérification : Aucune mortalité significative au niveau de la population Troisième vérification : SRS
	Venture Pointe	3	28	2	0	Première vérification : Aucune maladie significative au niveau de la population Deuxième vérification : Ouvert – Mortalité de bas niveau associée aux conditions environnementales Troisième vérification : Ouvert – Ampleur limitée de la maladie infectieuse; aucune lésion importante

9.1.2 Saisonnalité observée durant les vérifications des fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery

Entre 2002 et 2016, 245 vérifications ont été menées dans des fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery. Le Tableau 19 présente le nombre total de vérifications réalisées par mois sur une période de 15 ans, allant de 8 en mars à 34 en janvier.

Tableau 19. Nombre total et nombre moyen mensuel de vérifications (gouvernement de la Colombie-Britannique [2002-2010] et Division de la gestion de l'aquaculture du MPO [2011-2016]) réalisées dans les fermes de saumon atlantique dans la région des îles Discovery.

Mois	Nombre total de vérifications	Nombre moyen de vérifications (fourchette)
Janvier	34	2 (0-6)
Février	16	1 (0-3)
Mars	8	1 (0-2)
Juin	33	2 (0-6)
Juillet	11	1 (0-4)
Juin	13	1 (0-3)
Juillet	25	2 (0-5)
Août	21	1 (0-5)
Septembre	17	1 (0-4)
Octobre	31	2 (0-6)
Novembre	23	2 (0-6)
Décembre	13	1 (0-4)
Total	245	-

Pour établir si le nombre de vérifications était réparti de façon égale sur tous les mois de l'année, on a comparé le nombre total observé de vérifications pour chaque mois (Tableau 19) avec le décompte attendu (1/12 de 245 vérifications par mois) en utilisant un test d'ajustement du chi carré. Les résultats ont montré que le nombre de vérifications n'était pas réparti de façon égale sur tous les mois (valeur de $p < 0,001$) et que le nombre de vérifications était supérieur au décompte attendu en janvier, avril, juillet, août, octobre et novembre.

Les efforts consentis pour comprendre la saisonnalité des détections d'agents pathogènes lors de vérifications ou de diagnostics de la maladie au niveau de la ferme doivent être interprétés à la lumière de la répartition significativement inégale du nombre de vérifications réalisées par mois dans la région.

9.2 ANNEXE B : SURVEILLANCE ET DÉTECTIONS PAR L'INDUSTRIE

Tableau 20 résume le dépistage et les détections de *P. salmonis* par l'industrie dans les échantillons prélevés durant des contrôles sanitaires de routine, le dépistage chez les géniteurs dans les parcs en filet marins, des enquêtes sur la mortalité élevée et des projets de recherche menés dans des fermes de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery.

Les tests diagnostiques concernant la SRS menés par l'industrie reposent sur une combinaison de l'histologie, de l'analyse d'empreintes tissulaires et de la PCR et visent à confirmer la présence de *P. salmonis*. L'échantillonnage des poissons variait selon les années et les entreprises. Le nombre exact de poissons échantillonnés et le nombre de tests individuels à l'aide de la PCR ne sont pas disponibles, car les tests à l'aide de la PCR ont été réalisés soit en utilisant des échantillons regroupés, soit en utilisant des poissons individuels, ou les deux. Toutes les entreprises ont échantillonné des poissons fraîchement morts (comportant ou non des lésions visibles) et des poissons moribonds.

Entre 2011 et 2017, *P. salmonis* a été détecté par l'industrie lors de 22 des 110 visites de fermes (Tableau 20) dans sept fermes différentes. Sur les 22 détections positives de *P. salmonis*, 20 ont été enregistrées grâce à la PCR. Quinze de ces vingt-deux résultats positifs concernaient cinq fermes en 2016. L'une de ces cinq fermes affichait des cas positifs en janvier, février, août, septembre et octobre. Une autre ferme présentait trois cas positifs confirmés par la PCR entre septembre et novembre, une ferme présentait deux résultats positifs confirmés en juin et en novembre, et deux fermes présentaient un cas positif confirmé par la PCR, une en novembre et une en décembre. En 2017, l'industrie a enregistré cinq détections confirmées par la PCR dans trois fermes; des échantillons positifs ont été trouvés en juillet (une ferme), en septembre (une ferme) et en octobre (deux fois dans une ferme, et une fois dans une autre ferme).

Tableau 20. Résumé des résultats du dépistage par l'industrie de *Piscirickettsia salmonis* entre 2011 et 2017 dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery.

Année	Nombre de visites de sites avec		Nombre de fermes avec	
	au moins un échantillon positif pour <i>P. salmonis</i>	tests de détection de <i>P. salmonis</i>	au moins un échantillon positif pour <i>P. salmonis</i>	tests de détection de <i>P. salmonis</i>
2011	0	2	0	1
2012	Pas de tests	Pas de tests	Pas de tests	Pas de tests
2013	0	4	0	3
2014	0	3	0	2
2015	2	5	2	3
2016	15	52	5	10
2017	5	44	3	10

9.3 ANNEXE C : PROPORTION DE LA POPULATION POTENTIELLEMENT EXPOSÉE

La présente annexe détaille l'estimation de la proportion de la population de saumon rouge du fleuve Fraser, juvéniles et adultes, qui pourrait se trouver dans la région des îles Discovery pendant la même période que celle où les infections par *P. salmonis* ou les cas de SRS ont été signalés dans des fermes d'élevage de saumon atlantique.

Ces estimations supposent que les poissons migrateurs rencontreront une ou des fermes contaminées, c'est-à-dire que les poissons emprunteront les voies sur lesquelles celles-ci se trouvent. Toutefois, comme il existe des voies de migration dans la région des îles Discovery où il n'y a pas de ferme d'élevage de saumon atlantique, et que l'emplacement et le nombre des fermes contaminées simultanément seront des aspects critiques pour évaluer l'exposition réelle aux fermes contaminées, l'analyse suivante fournit une surestimation de la proportion de la population exposée à des fermes contaminées dans la zone des îles Discovery pendant les périodes où des infections à *P. salmonis* ou la SRS ont été détectées dans une ou plusieurs fermes.

9.3.1 Juvéniles

La proportion de saumons rouges juvéniles qui pourraient être exposés à des fermes contaminées par *P. salmonis* dans la région des îles Discovery pendant leur migration a été estimée en fonction des éléments suivants :

- La période de la dévalaison des saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser.
- Le nombre pondéré de mois pour lesquels on dispose de preuves de l'infection par *P. salmonis* et pendant lesquels les juvéniles pourraient se trouver dans les environs des fermes contaminées, chaque année, entre 2002 et 2017.

Les saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser de type lacustre ont tendance à migrer par les îles Discovery de la mi-mai à la mi-juillet, avec un pic de prises entre le début et le milieu du mois de juin (Grant *et al.*, 2018). Nous avons utilisé les données brutes d'une étude sur trois ans (2014-2016) de la dévalaison du saumon rouge du fleuve Fraser, menée par Freshwater *et al.* (2019) de la mi-mai à la mi-juillet, pour calculer la distribution temporelle des juvéniles capturés autour de la région des îles Discovery. Selon cet ensemble de données, 30 %, 62 % et 8 % des juvéniles ont été capturés en mai, juin et juillet, respectivement, ce qui concorde avec d'autres études indiquant que le pic de migration du saumon rouge du fleuve Fraser se produit en juin dans la région des îles Discovery (Neville *et al.*, 2016; Grant *et al.*, 2018).

Ces trois pourcentages ont ensuite été appliqués comme pondérations de la fréquence (c'est-à-dire multipliés par) à chaque état d'infection mensuel correspondant au cours d'une année donnée, entre 2002 et 2017 (Tableau 21). Par exemple, en 2016, comme des fermes étaient contaminées en juin, la pondération respective était de 62 %, mais il n'y a pas eu d'infection en mai et en juillet (zéro). La somme des trois mois pondérés a donc donné une estimation de 62 % de la proportion de juvéniles qui auraient pu se trouver dans la région des îles Discovery au moment d'une infection cette année-là.

Tableau 21. Estimation de la proportion de saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser de type lacustre qui auraient pu être exposés à une ou plusieurs fermes d'élevage de saumon atlantique contaminées par *Piscirickettsia salmonis* lors de leur migration à travers la région des îles Discovery entre 2002 et 2017. La présence (1) ou l'absence (0) d'infection dans les fermes sont la représentation binaire des données tirées du Tableau 11. La présence/absence pondérée est la présence/absence multipliée par la distribution temporelle estimée des juvéniles dans la zone des îles Discovery (30 % pour mai, 62 % pour juin et 8 % pour juillet). La proportion de juvéniles potentiellement exposés est la somme des présences/absences pondérées (de mai à juillet).

Année	Présence (1)/absence (0)			Présence/absence pondérée			Proportion de juvéniles potentiellement exposés
	Mai	Juin	Juillet	Mai	Juin	Juillet	
2002	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
2003	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
2004	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
2005	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
2006	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
2007	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
2008	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
2009	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
2010	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
2011	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
2012	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
2013	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
2014	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
2016	0	1	0	0,00	0,62	0,00	0,62
2017	0	0	1	0,00	0,00	0,08	0,08

Compte tenu des preuves de la présence de la bactérie *P. salmonis* dans des fermes d'élevage de saumon atlantique de la région des îles Discovery et de la distribution de fréquence pondérée fondée sur la période de la migration, la proportion de saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser qui auraient pu se trouver dans la région lorsque la bactérie *P. salmonis* était disséminée à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique entre 2002 et 2017 (16 ans) variait entre 0 et 62 % (médiane = 0 % et moyenne = 4 %).

Toutefois, dans l'évaluation des conséquences, il faut omettre les années sans preuve de l'infection (14 ans au total) étant donné l'hypothèse selon laquelle au moins un poisson migrateur a été contaminé par la bactérie *P. salmonis* disséminée à partir d'une ou plusieurs fermes contaminées. Lorsqu'on ne tient compte que des années pour lesquelles on dispose de preuves de la présence de l'infection au moment où les juvéniles traversent la région durant leur migration entre 2002 et 2017 (deux ans), la proportion de saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser qui auraient pu se trouver dans la région lorsque la bactérie *P. salmonis* était disséminée à partir des fermes de saumon atlantique variait entre 8 et 62 % (médiane = 35 % et moyenne = 35 %). Ces estimations sont fondées sur les preuves de la présence de la bactérie *P. salmonis* résumées dans le Tableau 11.

9.3.2 Adultes

La proportion de saumons rouges adultes qui pourraient être exposés à des fermes contaminées par *P. salmonis* dans la région des îles Discovery durant leur montaison dans le fleuve Fraser a été estimée (Tableau 22) d'après les éléments suivants :

-
- Les taux de détournement vers le nord des saumons rouges adultes du fleuve Fraser en montaison, compris entre 10 et 96 % entre 2002 et 2017 [données de la Commission du saumon du Pacifique présentées dans Grant *et al.* (2018) et rapports de 2016 et 2017 du groupe d'experts sur le fleuve Fraser présentés à la Commission du saumon du Pacifique (Pacific Salmon Commission, 2017, 2018)].
 - Le nombre pondéré de mois pour lesquels on dispose de preuves de l'infection par *P. salmonis* entre les mois de juin et d'octobre (lorsque les adultes se trouvent dans la région des îles Discovery) entre 2002 et 2017.

Les saumons rouges du fleuve Fraser en montaison traversent généralement la région des îles Discovery entre la fin du mois de juin et le début du mois d'octobre (Grant *et al.*, 2018). Les estimations de la distribution temporelle des adultes en montaison qui traversent la région des îles Discovery sont fondées sur des données fournies par la Commission du saumon du Pacifique. D'après cet ensemble de données, 0,3 %, 12,2 %, 79,7 %, 7,7 % et 0,1 % des adultes en montaison devraient être présents dans la région des îles Discovery en juin, juillet, août, septembre et octobre, respectivement. Voir Mimeault *et al.* (2020) pour obtenir plus de détails.

Ces cinq pourcentages ont ensuite été appliqués comme pondérations de la fréquence (c'est-à-dire multipliés) à chaque état d'infection mensuel correspondant au cours d'une année donnée entre 2002 et 2017 (Tableau 11). Par exemple, en 2016, des fermes étaient contaminées en juin, août, septembre et octobre, ce qui donne la pondération respective de ces mois de 0,3 %, 79,7 %, 7,7 %, et 0,1 % mais il n'y a pas eu de contamination en juillet (pondération de zéro). Ainsi, la somme des cinq mois pondérés (87,8 %) multipliée par le taux de détournement vers le nord pour l'année correspondante (50 %) a donné lieu à une estimation de la proportion d'adultes qui peuvent avoir été exposés durant cette année de 44 % (Tableau 22).

Tableau 22. Estimation de la proportion de saumons rouges adultes du fleuve Fraser qui auraient pu être exposés à une ou plusieurs fermes d'élevage de saumon atlantique contaminées par *Piscirickettsia salmonis* lors de leur migration à travers la région des îles Discovery entre 2002 et 2017. Les taux de détournement vers le nord proviennent de données résumées dans Grant et al. (2018) et Pacific Salmon Commission (2017, 2018). La présence (1) ou l'absence (0) d'infection dans les fermes sont la représentation binaire des données tirées du Tableau 11. La présence/absence pondérée est la présence/absence multipliée par la distribution temporelle des adultes en montaison qui traversent la région des îles Discovery (0,3 %, 12,2 %, 79,7 %, 7,7 % et 0,1 % de juin à octobre d'après toutes les prises effectuées en aval de Mission, compensée pour tenir compte du décalage temporel de la migration à partir de la région des îles Discovery). La proportion des adultes potentiellement exposés est la somme de la présence/absence pondérée (de juin à octobre) multipliée par le taux de détournement vers le nord.

Année	Présence (1)/absence (0)					Présence/absence pondérée					Somme de la présence/absence pondérée	Taux de détournement vers le nord	Proportion d'adultes potentiellement exposés
	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.			
2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,51	0
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,69	0
2004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,64	0
2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,74	0
2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,65	0
2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,44	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,10	0
2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,47	0
2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,73	0
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,62	0
2012	0	0	1	0	1	0	0	0,797	0	0,001	0,798	0,18	0,14
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,71	0
2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,96	0
2015	0	0	0	1	0	0	0	0	0,077	0	0,077	0,69	0,05
2016	1	0	1	1	1	0,003	0	0,797	0,077	0,001	0,878	0,50	0,44
2017	0	1	0	1	1	0	0,122	0	0,077	0,001	0,2	0,71	0,14

La proportion de saumons rouges du fleuve Fraser adultes en montaison qui auraient pu être présents dans la région des îles Discovery au moment où *P. salmonis* a été disséminée à partir de fermes de saumon atlantique entre 2002 et 2017 (16 ans) variait entre 0 et 44 % (médiane = 0 % et moyenne = 5 %).

Lorsqu'on ne tient compte que des quatre années pour lesquelles on dispose de preuves de la présence d'une infection dans une ferme au moment où les adultes migrent dans la région entre 2002 et 2017, la proportion de saumons rouges du fleuve Fraser adultes en montaison qui auraient pu se trouver dans la région des îles Discovery au moment où *P. salmonis* était rejetée à partir de fermes d'élevage de saumon atlantique s'échelonnait entre 5 et 44 % (médiane = 14 % et moyenne = 19 %). Ces estimations sont fondées sur les preuves de la présence de *P. salmonis*, y compris les détections au niveau du poisson qui sont résumées dans le Tableau 11.

9.4 ANNEXE D : EXPOSITION SUR DEUX GÉNÉRATIONS

Nous avons estimé l'exposition potentielle des populations de saumon rouge du fleuve Fraser à des fermes d'élevage de saumon atlantique contaminées par *P. salmonis* sur deux générations (huit ans pour le saumon rouge du fleuve Fraser) pour explorer les possibles effets sur la diversité.

9.4.1 Approche du processus binomial

Il y a deux résultats d'exposition possibles au cours d'une année donnée pour le saumon rouge du fleuve Fraser pendant sa migration : le saumon migrateur peut être exposé (résultat de réussite) ou non (résultat d'échec). Compte tenu de ces deux résultats possibles, le nombre de réussites (s) sur un nombre donné d'essais (n) peut être estimé à l'aide du processus binomial.

L'évaluation de l'exposition a permis de déterminer que, entre 2002 et 2017, des preuves de la présence de *P. salmonis* ou de SRS durant les mois où, respectivement, des saumons rouges du fleuve Fraser juvéniles et adultes devraient être présents dans la région des îles Discovery ont été recueillies pour deux et quatre années (Tableau 11). En d'autres termes, pour une année donnée, la probabilité que des juvéniles se trouvent dans les îles Discovery en même temps qu'une ferme est contaminée par *P. salmonis* est, en moyenne, de 13 % (2/16). De même, pour une année donnée, la probabilité que des adultes se trouvent dans la région des îles Discovery en même temps qu'une ferme est contaminée par *P. salmonis* est, en moyenne, de 25 % (4/16).

En supposant que (i) la probabilité d'exposition chaque année est indépendante de la précédente et (ii) que la probabilité d'exposition est constante chaque année, une distribution binomiale a été calculée dans R avec les paramètres d'entrée suivants :

- Probabilité de réussite (P) = 0,125 pour les juvéniles et 0,25 pour les adultes.
- Nombre d'essais (n) = 8 ans, représentant deux générations de saumon rouge du fleuve Fraser.

9.4.1.1 Juvéniles

La possibilité que des juvéniles se trouvent dans la région des îles Discovery en même temps qu'une infection par *P. salmonis* se produise dans une ferme d'élevage de saumon atlantique, d'après le processus binomial expliqué ci-dessus, est la suivante :

- En moyenne, une année sur les huit années [moyenne = $n \times P = 8 \times (2/16) = 1$, avec ET = $\sqrt{n \times p \times (1 - p)} = 0,93$]

- La Figure 6 indique la distribution de probabilité binomiale cumulative complémentaire, à partir de laquelle la probabilité d'exposition au cours d'un nombre minimal d'années est illustrée. Par exemple, la probabilité que des juvéniles soient exposés au moins deux ans sur huit est de 26 %, alors que la probabilité qu'ils soient exposés au moins cinq ans sur huit est de 1 %, etc.
- Sur une génération (quatre ans), la probabilité d'exposition pendant quatre années consécutives est de 0,02 % ($P^4 = 0,125^4 = 0.0002$).
- Sur deux générations, la probabilité d'exposition pendant au moins quatre années consécutives sur huit est déterminée par la somme des produits des probabilités d'exposition sur au moins quatre ans et des probabilités que ces années soient consécutives. Ainsi, la probabilité que des juvéniles soient exposés à la bactérie *P. salmonis* disséminée à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique contaminées dans la région des îles Discovery pendant au moins quatre années consécutives sur deux générations est de 0,08 % (voir le Tableau 23).

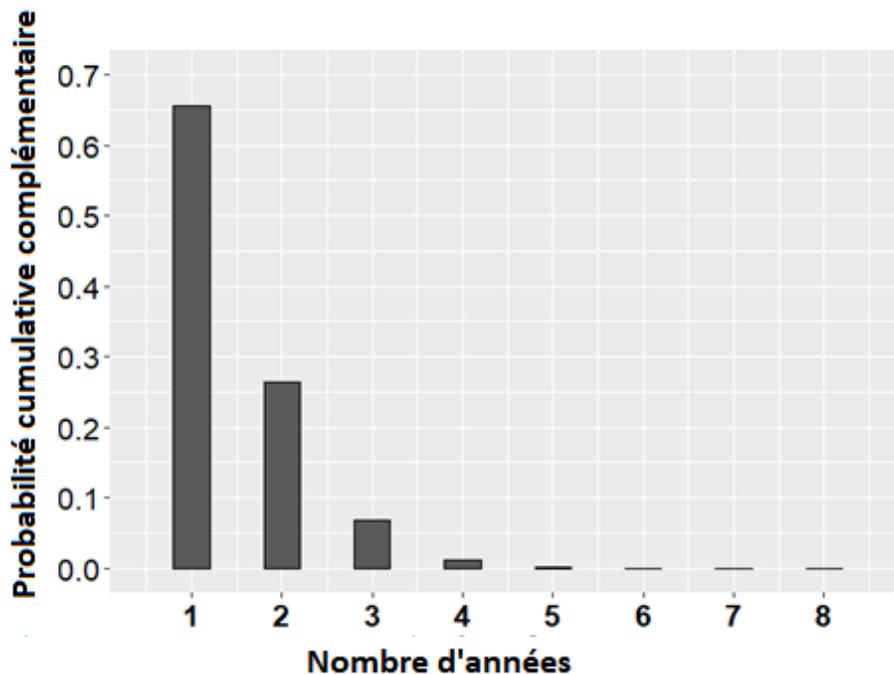


Figure 6. Distribution de probabilité cumulative complémentaire de l'exposition potentielle des saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser à des fermes d'élevage de saumon atlantique contaminées par *Piscirickettsia salmonis* dans la région des îles Discovery sur une période de huit ans. La probabilité d'exposition repose sur un processus binomial qui suppose une probabilité de réussite (p) de 0,125 et un nombre d'essais (n) de huit ans.

Tableau 23. Probabilité d'exposition des saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser à la bactérie *Piscirickettsia salmonis* attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery pendant au moins quatre années consécutives sur une période représentant deux générations (huit ans). La probabilité d'exposition repose sur un processus binomial qui suppose que la probabilité de réussite (P) d'un essai individuel (année) est de 0,125 et que le nombre d'essais (n) est de huit.

(a) Nombre de réussites (x) : nombre d'années avec exposition	(b) Nombre d'essais (n) : nombre d'années pour deux générations	(c) Probabilité binomiale : $P(X = x)$ (exactement x réussites dans n essais)	(d) Nombre de combinaisons consécutives de x dans n *	(e) Nombre de combinaisons distinctes de x dans n **	(f) Probabilité d'avoir exactement x années consécutives en n années ($c \times d / e$)
4	8	0,0100	5	70	0,0007
5	8	0,0011	4	56	$8,2 \times 10^{-5}$
6	8	$8,2 \times 10^{-5}$	3	28	$8,8 \times 10^{-6}$
7	8	$3,3 \times 10^{-6}$	2	8	$8,3 \times 10^{-7}$
8	8	$6,0 \times 10^{-8}$	1	1	$6,0 \times 10^{-8}$
Probabilité d'au moins quatre années consécutives en deux générations (huit ans)					0,0008

* Par exemple, avec $x = 4$ et $n = 8$: 1-2-3-4; 2-3-4-5; 3-4-5-6; 4-5-6-7; et 5-6-7-8.

** Par exemple, avec $x = 4$ et $n = 8$: 1-2-3-4; 1-2-3-5; 2-4-6-7; 4-5-7-8; ...; pour un total de 70 combinaisons.

9.4.1.2 Adultes

La possibilité que des adultes se trouvent dans la région des îles Discovery en même temps qu'une infection par *P. salmonis* se produit dans une ferme de saumon atlantique, d'après le processus binomial expliqué ci-dessus, est la suivante :

- En moyenne, les adultes pourraient être exposés à des adultes contaminés par *P. salmonis* deux années sur huit [moyenne = $n \times P = 8 \times (4/16) = 2$; avec $ET = \sqrt{n \times p \times (1 - p)} = 1,2$].
- La Figure 7 indique la distribution de probabilité binomiale cumulative complémentaire, à partir de laquelle la probabilité d'exposition au cours d'un nombre minimal d'années est illustrée. Par exemple, la probabilité que des adultes soient exposés au moins deux ans sur huit est de 64 %, alors que la probabilité qu'ils soient exposés au moins cinq ans sur huit est de 3 %, etc.
- Sur une génération (quatre ans), la probabilité d'exposition pendant quatre années consécutives est de 0,39 % ($P^4 = 0,25^4 = 0,0039$).
- Sur deux générations, la probabilité d'exposition au moins quatre années consécutives sur huit est déterminée comme ci-dessus pour les juvéniles. Ainsi, la probabilité que des adultes soient exposés à la bactérie *P. salmonis* disséminée à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique contaminées dans la région des îles Discovery pendant au moins quatre années consécutives sur deux générations est de 1,6 % (voir le Tableau 24).

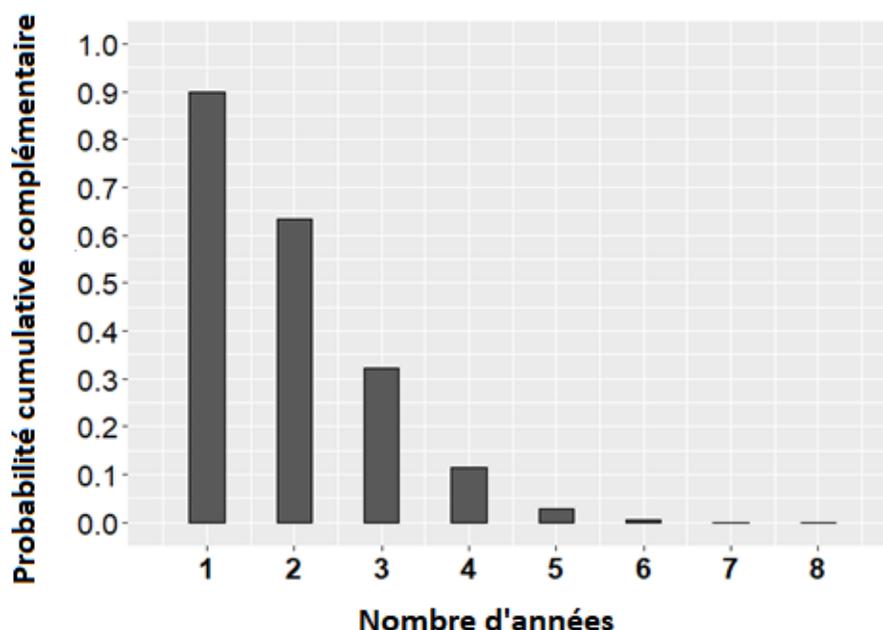


Figure 7. Distribution de probabilité cumulative complémentaire de l'exposition potentielle des saumons rouges adultes du fleuve Fraser à des fermes d'élevage de saumon atlantique contaminées par *Piscirickettsia salmonis* dans la région des îles Discovery sur une période de huit ans. La probabilité d'exposition repose sur un processus binomial qui suppose une probabilité de réussite (p) de 0,25 et un nombre d'essais (n) de huit ans.

Tableau 24. Probabilité d'exposition des saumons rouges adultes du fleuve Fraser à la bactérie *Piscirickettsia salmonis* attribuable aux fermes d'élevage de saumon atlantique dans la région des îles Discovery pendant au moins quatre années consécutives sur une période représentant deux générations (huit ans). La probabilité d'exposition repose sur un processus binomial qui suppose que la probabilité de réussite (P) d'un essai individuel (année) est de 0,3125 et que le nombre d'essais (n) est de huit.

(a) Nombre de réussites (x) : nombre d'années avec exposition	(b) Nombre d'essais (n) : nombre d'années pour deux générations	(c) Probabilité binomiale : $P(X = x)$ (exactement x réussites dans n essais)	(d) Nombre de combinaisons consécutives de x dans n *	(e) Nombre de combinaisons distinctes de x dans n **	(f) Probabilité d'avoir exactement x années consécutives en n années ($c \times d / e$)
4	8	0,1491	5	70	0,0107
5	8	0,0542	4	56	0,0039
6	8	0,0123	3	28	0,0013
7	8	0,0016	2	8	0,0004
8	8	$9,1 \times 10^{-5}$	1	1	$9,1 \times 10^{-5}$
Probabilité d'au moins quatre années consécutives en deux générations (huit ans)					0,0163

* Par exemple, avec $x = 4$ et $n = 8$: 1-2-3-4; 2-3-4-5; 3-4-5-6; 4-5-6-7; et 5-6-7-8.

** Par exemple, avec $x = 4$ et $n = 8$: 1-2-3-4; 1-2-3-5; 2-4-6-7; 4-5-7-8; ...; pour un total de 70 combinaisons.

9.4.2 Méthode de simulation

Pour évaluer de façon plus poussée la fiabilité des estimations de l'exposition reposant sur le processus binomial, nous avons appliqué une méthode de simulation. Pour ce faire, nous avons recouru à une stratégie d'échantillonnage avec la méthode de bootstrap pour sélectionner au hasard huit années sur les 16 années de l'évaluation (0 : année sans infection, 1 : année avec infection) avec 1 000 et 10 000 itérations. Nous avons calculé la somme des années avec infection (par itération) pour estimer le nombre d'années durant lesquelles des juvéniles et des adultes devraient traverser la région des îles Discovery pendant leur migration au moment où au moins une ferme d'élevage de saumon atlantique est contaminée par *P. salmonis* ou présente des signes cliniques de la SRS.

Les distributions de fréquences qui en résultent ont été comparées aux résultats du processus binomial (Tableau 25). Les deux méthodes ont donné des résultats très proches, ce qui appuie leur fiabilité dans l'estimation de l'exposition potentielle des saumons rouges du fleuve Fraser sur huit ans. Au fur et à mesure que le nombre d'itérations augmentait (p. ex. de 1 000 à 10 000), la distribution par la méthode de bootstrap ressemblait à la distribution binomiale (voir Tableau 25 pour des exemples).

Tableau 25. Comparaison des estimations de l'exposition d'après le processus binomial et la stratégie bootstrap (1 000 et 10 000 itérations). Chaque pourcentage représente la probabilité d'exposition de saumons rouges juvéniles ou adultes du fleuve Fraser sur au moins un nombre donné d'années (sur huit).

Années avec infection	Méthode	Juveniles (%)	Adultes (%)
Au moins trois	Processus binomial	~ 8	~ 46
	Bootstrap (1 000)	~ 7	~ 30
	Bootstrap (10 000)	~ 7	~ 32
Au moins six	Processus binomial	~ 0	< 1
	Bootstrap(1 000)	~ 0	< 1
	Bootstrap (10 000)	~ 0	< 1