



# AVIS TIRÉ DE L'ÉVALUATION DU RISQUE POUR LE SAUMON ROUGE DU FLEUVE FRASER QUE REPRÉSENTE LE TRANSFERT DU VIRUS DE LA NÉCROSE HÉMATOPOÏÉTIQUE INFECTIEUSE À PARTIR DES FERMES DE SAUMON ATLANTIQUE SITUÉES DANS LA RÉGION DES ÎLES DISCOVERY (COLOMBIE-BRITANNIQUE)



Parc en filet le long de la côte de la Colombie-Britannique (mention de la source des photos : MPO).

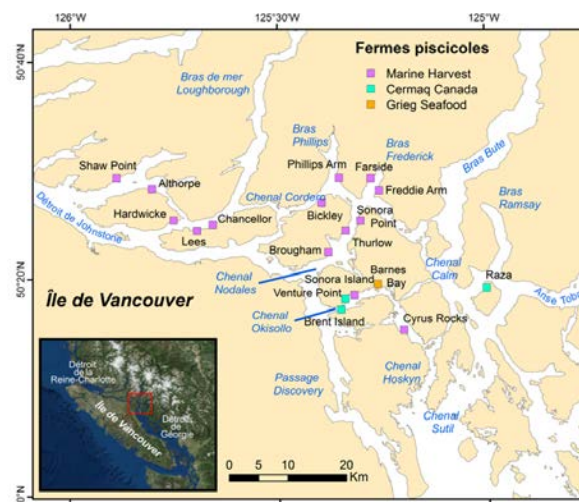


Figure 1. Fermes de saumon atlantique dans les îles Discovery, Colombie-Britannique.

## Contexte :

Pêches et Océans Canada (MPO), conformément au Programme d'aquaculture durable, s'engage à mener des évaluations du risque environnemental pour appuyer un processus décisionnel fondé sur la science relativement aux activités aquacoles. L'Initiative d'évaluation du risque environnemental des Sciences de l'aquaculture a été mise en œuvre pour évaluer le risque des activités aquacoles pour le poisson sauvage et l'environnement. Les risques liés à chaque agent de stress environnemental validés dans l'Avis scientifique sur les séquences d'effets liés à l'aquaculture des poissons, des mollusques et des crustacés (MPO, 2010) seront évalués conformément au Cadre d'évaluation des risques environnementaux dans le domaine de l'aquaculture, afin de garantir un processus systématique, cohérent et transparent.

La Direction générale de la gestion de l'aquaculture du MPO a demandé un avis scientifique du Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS) sur le risque pour le saumon rouge du fleuve Fraser que représente le transfert d'agents pathogènes à partir des fermes de saumon atlantique situées dans les îles Discovery, en Colombie-Britannique. Cette demande soutient le rôle du MPO sur le plan de la gestion de l'aquaculture en Colombie-Britannique et elle s'inscrit dans le cadre des recommandations figurant dans le rapport définitif de la Commission d'enquête sur le déclin des populations de saumon rouge du fleuve Fraser, notamment les recommandations 18 et 19 sur les

*risques pour les populations de poissons sauvages liés au transfert d'agents pathogènes à partir des fermes aquacoles (Cohen, 2012).*

*L'avis sera présenté par l'intermédiaire d'une série d'évaluations des risques liés au transfert d'agents pathogènes, la première étant axée sur le virus de la nécrose hématopoiétique infectieuse (VNHI). Cet agent pathogène bien caractérisé est connu pour avoir provoqué des maladies dans les fermes de saumon atlantique des îles Discovery (St-Hilaire et al., 2002; Saksida, 2006). Les risques liés aux autres agents pathogènes ayant également causé des maladies dans les fermes de saumon atlantique des îles Discovery feront l'objet d'une évaluation dans le cadre de processus subséquents.*

*Le présent avis scientifique découle de la réunion de consultation nationale du 5 au 8 décembre 2016 concernant l'évaluation du risque pour le saumon rouge du fleuve Fraser que représente le transfert du virus de la nécrose hématopoiétique infectieuse à partir des fermes de saumon atlantique situées dans les îles Discovery (Colombie-Britannique). Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, dans le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada](#).*

## SOMMAIRE

### Évaluation du risque de transfert du virus de la nécrose hématopoiétique infectieuse

- L'évaluation a permis de conclure que le risque pour l'abondance et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser posé par l'infection au virus de la nécrose hématopoiétique infectieuse (VNHI) attribuable aux fermes de saumon atlantique des îles Discovery est **minime** dans le cadre des pratiques actuelles de gestion de la santé des poissons.
- Deux principaux facteurs ont contribué à évaluer ce risque comme minime :
  - la probabilité d'une épidémie de nécrose hématopoiétique infectieuse (NHI) dans les fermes de saumon atlantique des îles Discovery est considérée comme **très faible** à un degré de **certitude raisonnable**, compte tenu des pratiques actuelles de gestion de la santé, notamment la vaccination contre la NHI;
  - la probabilité que les saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser soient contaminés et deviennent malades à cause du VNHI provenant des fermes de saumon atlantique est considérée comme **extrêmement faible** à un degré d'**incertitude raisonnable**, compte tenu des pratiques actuelles de gestion de la santé (p. ex. vaccination, surveillance aux fins de détection précoce et abattage sanitaire) qui limitent la quantité de VNHI potentiellement excrétée dans l'environnement à partir des fermes infectées.
- L'évaluation de la probabilité globale, incluant les évaluations distinctes relatives à la maladie, à la dissémination, à l'exposition et à l'infection, ont été appuyées par les renseignements clés suivants :
  - les exigences réglementaires et les pratiques à l'échelle des fermes (p. ex. vaccins, détection rapide et abattage sanitaire dès la confirmation du VNHI);
  - les saumons rouges juvéniles et adultes passent par les îles Discovery lors de leur migration;
  - une fois que le saumon atlantique développe la NHI, le virus est excrété dans l'environnement;
  - les processus océanographiques peuvent éloigner l'eau des fermes;
  - le stade biologique du saumon rouge le plus propice à la contraction du VNHI est l'état juvénile;

- toutes les concentrations maximales estimées du VNHI dans l'eau des parcs en filet et dans les panaches de dispersion étaient inférieures aux estimations fondées sur des rapports de laboratoire de la dose minimale létale de VNHI pour le saumon rouge juvénile.
- L'incertitude évoquée dans la présente évaluation est motivée par un manque de connaissances des éléments suivants :
  - la durée précise de séjour du saumon rouge juvénile et adulte dans les îles Discovery, leurs trajectoires migratoires locales et leur présence autour des fermes de saumon atlantique (p. ex. quelle proportion de saumons rouges en migration est exposée aux fermes, à quelle distance les poissons se trouvent-ils des fermes et pendant combien de temps restent-ils dans les environs);
  - les taux de mortalité liés au VNHI des postsaumonneaux rouges;
  - les autres impacts potentiels de l'exposition du saumon rouge au VNHI à différents stades biologiques en milieu marin (p. ex. effets sublétaux et cumulatifs).
- Aux fins de la présente évaluation, un certain nombre d'hypothèses clés ont été faites, y compris les suivantes :
  - les pratiques de gestion actuelles sont suivies et seront maintenues, y compris la vaccination contre la NHI de tous les saumons atlantiques d'élevage, la surveillance aux fins de détection naïfs et l'abattage sanitaire des poissons contaminés dans les 14 jours suivant la confirmation des échantillons positifs;
  - le vaccin APEX-INH<sup>MD</sup> a une efficacité de 95 % chez le saumon atlantique d'élevage;
  - l'exposition à une concentration minimale de  $10^8$  UFP (unités formant plaque)/m<sup>3</sup> pendant une heure ou plus est nécessaire pour infecter le saumon rouge juvénile et le rendre malade;
  - le saumon rouge juvénile n'avait pas développé d'immunité au VNHI (c.-à-d. qu'ils sont novices) au moment de son exposition au VNHI rejeté par les fermes de saumon atlantique;
  - toutes les infections au VNHI des saumons rouges vulnérables provoquent la maladie, puis la mortalité directe.
- Le cadre d'évaluation des risques et le modèle conceptuel utilisés pour évaluer le risque de transfert d'agents pathogènes ont été acceptés et des suggestions ont été faites afin d'améliorer les futures évaluations des risques.

L'évaluation des risques s'appuie sur quatre documents de base dont les éléments les plus pertinents sont résumés ci-dessous.

### Conditions océanographiques et environnementales des îles Discovery

- L'océanographie physique des îles Discovery se caractérise par de forts courants de marée, par un débit d'eau douce important dû à la fonte des neiges et au ruissellement, et par des courants de surface dus à des vents à la vitesse et la direction variables, en raison de la topographie escarpée propre aux régions des fjords.
- Les conditions océanographiques dans la région des îles Discovery varient en fonction de la saison et du lieu. La plage de températures moyennes mensuelles varie entre 6 et 14 °C (mesures minimale et maximale de 3 et 24 °C), la plage de salinité moyenne mensuelle varie entre 23 et 31 (mesures minimale et maximale de près de 0 et de 32) et les niveaux moyens mensuels d'oxygène dissous varient entre 170 et 340 mmol/m<sup>3</sup> (mesures minimale

et maximale de 50 et 550 mmol/m<sup>3</sup>). Les eaux du centre des îles Discovery (à proximité des fermes aquacoles) sont généralement bien mélangées en raison des forts courants de marée.

- Le rayonnement ultraviolet varie selon la saison et est limité en périodes de nébulosité. Lorsque les rayons UV pénètrent dans l'eau, leur intensité est réduite de façon exponentielle à moins d'un pour cent de leur valeur de surface à moins de 10 m de profondeur.
- Les courants de marée d'au moins 1 m/s sont fréquents et peuvent transporter l'eau sur 14 km dans une direction jusqu'au changement de marée.
- Les débits fluviaux dans l'ensemble de la région sont à l'origine de courants de surface qui se dirigent généralement vers la mer.
- Le vent peut provoquer des courants de surface saisonniers et à des échelles temporelles plus courtes.
- Un modèle hydrodynamique de la région des îles Discovery a été élaboré afin de simuler la circulation due aux champs de forçage décrits ci-dessus.
- Un modèle couplé de suivi des particules a également été élaboré afin de simuler la dispersion des particules. Les échelles temporelles et spatiales de dispersion varient selon les marées, les débits fluviaux et les vents.

### **Pratiques en matière de gestion de la santé du saumon atlantique d'élevage en Colombie-Britannique**

- En Colombie-Britannique, il existe un ensemble d'exigences réglementaires de gestion de la santé du poisson dans les fermes piscicoles qui a une incidence sur l'apparition et la transmission des agents pathogènes. De plus, les fermes piscicoles mettent en œuvre d'autres pratiques de gestion de la santé du poisson qui font partie de pratiques exemplaires et qui leur permettent parfois d'obtenir et de conserver des certifications tierces.
- Il existe des pratiques de gestion exemplaires et des procédures opérationnelles normalisées pour prévenir, gérer et surveiller les agents pathogènes et les maladies (p. ex. vaccination volontaire, présence de professionnels de la santé des poissons sur les fermes piscicoles, protocoles de nettoyage et de désinfection, mesures de contrôle des déplacements des personnes et de l'équipement, collecte et analyse de renseignements syndromiques, etc.).
- Il existe des pratiques conçues pour limiter la propagation d'un agent pathogène à partir d'une ferme piscicole une fois que la maladie a été détectée sur un site (p. ex. options de traitement et de gestion, abattage sanitaire précoce, plan de gestion virale avec renforcement des mesures de contrôle des déplacements, communication entre les entreprises et avec les organismes de réglementation, etc.).
- Actuellement, toutes les entreprises vaccinent volontairement les saumoneaux contre le VNHI.
- Le *Règlement du Pacifique sur l'aquaculture de la Colombie-Britannique* est fondé sur les résultats et est décrit dans les plans de gestion de la santé des poissons. Les entreprises doivent justifier qu'elles respectent les exigences requises de gestion de la santé des poissons dans le cadre des conditions de permis. Cette conformité fait l'objet d'une vérification par le MPO.

- Les augmentations de la mortalité doivent être signalées au MPO : il s'agit en effet d'une condition de permis. Tout soupçon ou détection d'une maladie ou d'une infection à déclaration obligatoire doit être signalé au MPO et à l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA).

### Caractérisation du virus de la nécrose hématopoïétique infectieuse

- En Colombie-Britannique, le VNHI est endémique. Il peut parfois causer des maladies chez le saumon rouge juvénile, et occasionnellement, chez la truite arc-en-ciel, le saumon arc-en-ciel, le saumon kéta et le saumon quinnat.
- Au fur et à mesure qu'il grandit et qu'il atteint des stades biologiques avancés, le saumon rouge devient moins vulnérable à la NHI, mais demeure vulnérable à l'infection. Les saumons rouges adultes sont réfractaires à la NHI, mais peuvent être infectés.
- Les saumoneaux atlantiques sont très vulnérables à la NHI. Ils sont sensibles à une dose létale minimale qui est de 10 à 100 fois inférieure à celle des saumoneaux rouges.
- En Colombie-Britannique, les épidémies de NHI ne sont apparues que chez le saumon atlantique d'élevage non vacciné. Le saumon atlantique ayant développé la NHI excrète d'importantes quantités du virus au cours des phases terminales de la maladie.
- La vaccination du saumon atlantique contre la NHI à l'aide du très efficace vaccin APEX-IHN<sup>MD</sup> réduit la NHI ainsi que l'excrétion et la transmission du virus.
- D'après les expériences effectuées en laboratoire, la concentration du VNHI dans l'eau de mer diminue au fil du temps en raison de processus physiques (p. ex. lumière du soleil, UV) et de processus biologiques (p. ex. communauté microbienne).

### Caractéristiques, biologie et écologie des stocks de saumon rouge du fleuve Fraser

- À l'exception de la population de la rivière Harrison, la majorité des saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser migrent vers le Nord en passant par les îles Discovery, habituellement de la mi-mai à la mi-juillet, avec le point culminant de la migration se produisant en juin.
- La durée de séjour des saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser dans la région des îles Discovery est estimée entre 5 et 14 jours. Des spécimens ont été observés à proximité des fermes de saumon atlantique; toutefois, la proportion de la population totale qui longe les fermes lors de leur migration est inconnue.
- La proportion de saumons rouges adultes du fleuve Fraser qui migrent en passant par l'entrée Nord du détroit de Georgie (« taux de déviation ») varie selon les années (moyenne : 52 %; plage de 10 % à 96 %) et augmente durant la période migratoire.
- Les saumons rouges adultes du fleuve Fraser prennent environ trois jours pour migrer vers le Sud en passant par les îles Discovery (entre la fin juin et le début octobre) et ont été observés dans les environs des fermes salmonicoles; toutefois, la proportion de la montaison totale qui longe les fermes est inconnue.
- En vertu de la *Politique concernant le saumon sauvage*, il existe 24 unités de conservation (UC) du saumon rouge du fleuve Fraser, dont 11 suscitent des préoccupations quant à leur conservation.

- L'abondance du saumon rouge du fleuve Fraser est variable. Ces dernières années, elle a varié entre environ 1,5 million et 28,2 millions d'adultes en montaison.
- Certaines unités de conservation présentent des schémas cycliques d'abondance des montaisons de quatre ans (une année dominante et trois années à l'abondance plus faible), tandis que d'autres ne présentent pas de schéma cycliques d'abondance (abondance semblable d'une année sur l'autre).

## INTRODUCTION

Cette évaluation du risque a été menée dans le cadre de l'Initiative des sciences de l'aquaculture pour l'évaluation des risques environnementaux du MPO, mise en œuvre en tant qu'approche structurée pour fournir des avis scientifiques axés sur les risques et ainsi mieux appuyer le développement durable de l'aquaculture au Canada. Les évaluations des risques menées dans le cadre de cette initiative respectent le Cadre d'évaluation des risques environnementaux dans le domaine de l'aquaculture, qui est lui-même conforme aux cadres internationaux et nationaux d'évaluation des risques (GESAMP, 2008; ISO, 2009). Des renseignements détaillés au sujet de l'initiative et du cadre sont disponibles sur la page Web de l'Initiative des sciences de l'aquaculture pour l'évaluation des risques environnementaux du MPO. Toutes les évaluations des risques menées dans le cadre de l'Initiative sont fondées sur la science et ne prennent pas en compte les facteurs socio-économiques.

Le présent avis scientifique est l'avis consensuel formulé pendant la réunion de consultation scientifique par des pairs du Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS) qui a eu lieu du 5 au 8 décembre 2016 et qui a réuni des experts scientifiques nationaux et internationaux. Les renseignements et les connaissances scientifiques actuelles nécessaires pour fonder l'avis proviennent de documents de recherche du SCCS relatifs aux éléments suivants :

- les caractéristiques océanographiques des îles Discovery, incluant les prédictions du déplacement des particules à partir des sites existants des fermes dans la région;
- les pratiques en matière de gestion de la santé du poisson adoptées par les fermes de saumon atlantique ayant une incidence sur la transmission des agents pathogènes entre le saumon atlantique d'élevage et les populations de poissons sauvages en milieu marin;
- les caractéristiques de l'infection au VNHI et de la maladie, la vulnérabilité de l'hôte et la prévalence du VNHI ainsi que la dynamique de l'infection en Colombie-Britannique;
- les caractéristiques des stocks de saumon rouge du fleuve Fraser ainsi que les facteurs écologiques et biologiques pertinents pour l'évaluation du risque.

Les documents de recherche du SCCS ci-dessus ont été examinés et utilisés pour atteindre les autres objectifs de la réunion, à savoir :

- procéder à l'examen de l'évaluation qualitative du risque pour l'abondance et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser dû au transfert du VNHI à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique situées dans les îles Discovery;
- passer en revue les incertitudes liées à l'estimation du risque pour l'abondance et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser;
- si les résultats de l'évaluation du risque le justifient, présenter un avis sur les mesures additionnelles qui permettraient de réduire le risque pour l'abondance et la diversité du

saumon rouge du fleuve Fraser en raison du transfert du VNHI à partir des fermes de saumon atlantique situées dans les îles Discovery.

## **ANALYSE**

### **Conditions océanographiques et environnementales des îles Discovery**

Chandler et al. (2017) passent en revue les conditions océanographiques et environnementales pertinentes aux évaluations des risques de transfert d'agents pathogènes dans les îles Discovery. Les constatations principales (et les incertitudes qui y ont trait) étayant les évaluations du risque environnemental de transfert d'agents pathogènes dans la zone sont résumées ci-dessous.

La région des îles Discovery est un réseau complexe d'îles, de chenaux étroits et des fjords profonds (Figure 1 and Figure 2) caractérisée par d'importantes variations saisonnières et spatiales des conditions océanographiques. Les connaissances actuelles relatives à la circulation océanique dans les îles Discovery découlent principalement de l'amarrage de profileurs de courant à effet Doppler déployés de 2009 à 2015 et des simulations de modèles datant d'avril à octobre 2010.

Les températures maximales près de la surface (de 0 à 30 m) sont habituellement observées de juin à août. Les températures maximales près de la surface au printemps et en été dans les chenaux de l'Est sont plus chaudes ( $> 20\text{ °C}$ ) que celles des chenaux de l'Ouest ( $< 15\text{ °C}$ ); toutefois, les températures de l'eau les plus basses observées sont semblables dans toutes les îles Discovery. Les données climatologiques historiques saisonnières présentent une variation de  $2,5\text{ °C}$ , les températures les plus basses étant enregistrées à l'extrémité amont des fjords (Figure 3). Se reporter à Chandler et al. (2017) pour plus de détails.



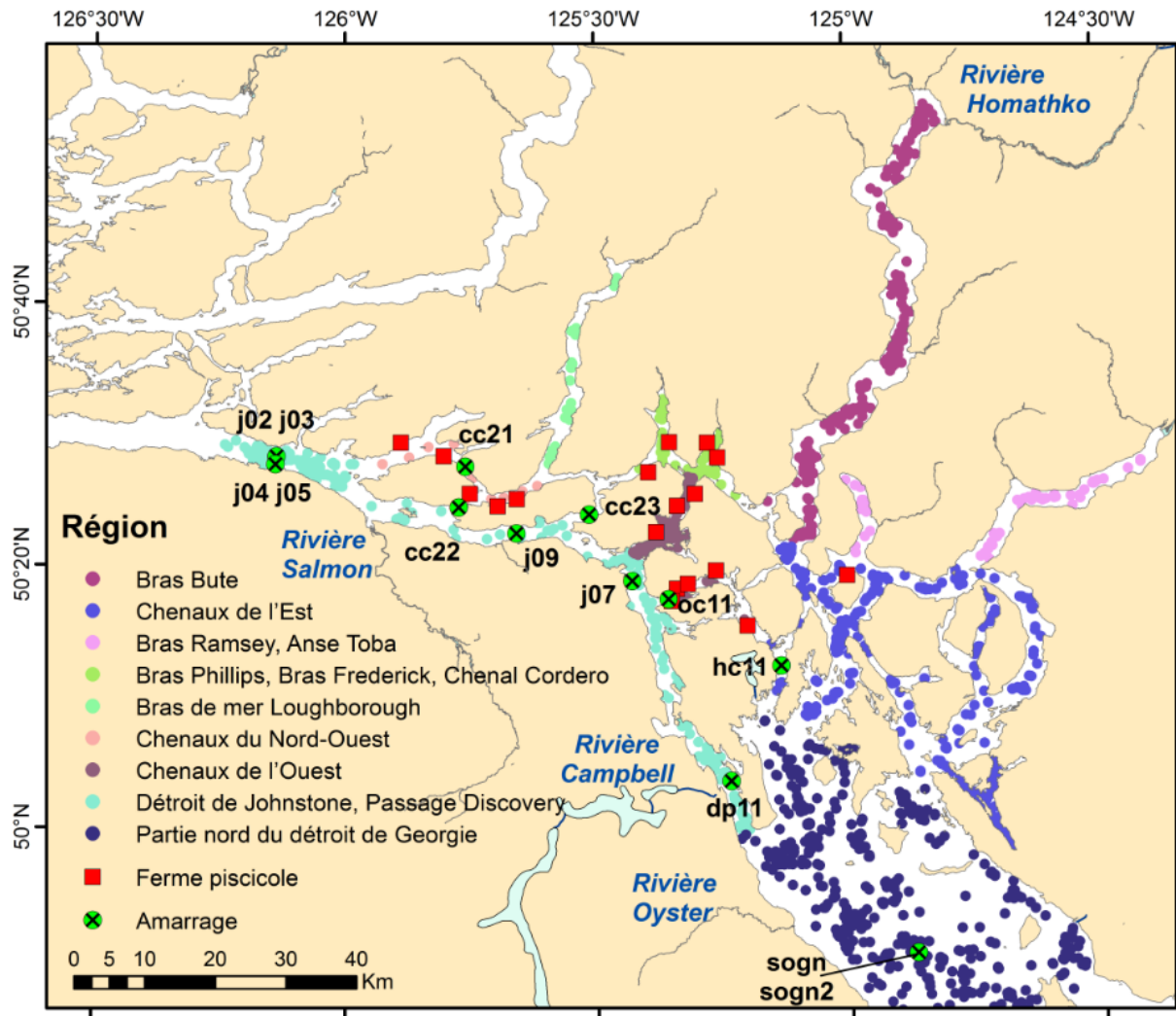


Figure 2. Carte des îles Discovery montrant les régions en fonction de leur géographie et des propriétés de l'eau (salinité, température et oxygène). Données tirées des archives océanographiques du MPO (1932-2015). Les points représentent l'emplacement des profils océanographiques et les croix encadrées représentent l'emplacement des températures et salinités mesurées à l'aide d'instruments amarrés. Les codes alphanumériques correspondent aux codes d'amarrage (voir Chandler et al. (2017) pour plus de renseignements).

La salinité à la surface varie dans l'espace dans l'ensemble des îles Discovery. Elle est plus faible dans les fjords et plus élevée dans les régions à fort mixage maréal (p. ex. passage Discovery Sud) (Figure 3). La salinité varie également en fonction de la profondeur. La salinité est plus faible près de la surface et plus élevée en profondeur. Les profils de salinité verticale varient également entre les régions. Le débit d'eau douce provenant des cours d'eau a une incidence sur les niveaux de salinité. Par exemple, l'eau de la rivière Campbell affecte les niveaux de salinité des deux à trois mètres d'eau supérieurs près de l'embouchure de la rivière, mais la stratification disparaît à mesure que l'on s'éloigne de l'embouchure de la rivière.



L'inlet Bute a un niveau de salinité généralement moins élevé que d'autres inlets, en raison du ruissellement uniforme tout au long de l'été. Le niveau de salinité est donc inférieur à 15 de mai à octobre. Les régions du bras Ramsay et de l'inlet Toba sont à la deuxième place en matière de quantité d'eau douce, avec des taux de salinité minimaux, qui atteignent généralement leur niveau le plus bas en juillet. Les chenaux de l'Est peuvent être relativement peu salés (salinité < 20), probablement en raison du brassage des eaux de l'inlet Bute, du bras Ramsay et de l'inlet Toba. La région des chenaux de l'Ouest, à laquelle est relié l'inlet Loughborough, a une salinité qui ne descend pas sous la barre des 27 unités. La salinité du détroit de Johnstone et du passage Discovery est au plus bas à une période légèrement antérieure (de début à fin de juin) au Nord du détroit de Georgie (fin juin).

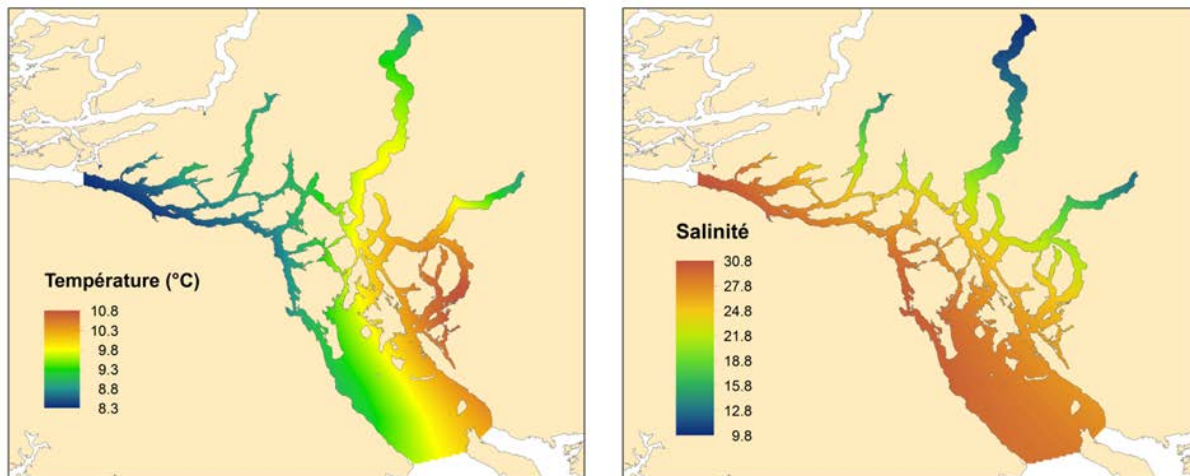


Figure 3. Plages de température de surface et de salinité utilisées pour l'initialisation du modèle FVCOM en fonction des données de CTP recueillies pendant plusieurs années au printemps dans les îles Discovery. Adapté de Foreman et al. (2012).

Des concentrations d'oxygène dissous entre 50 et 550 mmol/m<sup>3</sup> ont été observées dans les îles Discovery, avec des valeurs moyennes mensuelles allant de 170 à 340 mmol/m<sup>3</sup>. Les concentrations d'oxygène dissous les plus élevées ont été relevées près de la surface, comme le démontrent les observations faites dans le Nord du détroit de Georgie et le chenal Est. Les valeurs d'oxygène dissous en profondeur (de 30 à 60 m) sont semblables dans l'ensemble de la région.

On constate une décroissance exponentielle du rayonnement ultraviolet à mesure qu'il descend dans la colonne d'eau depuis la surface. Les mesures sur le terrain du rayonnement ultraviolet dans le chenal Nodales et l'inlet Toba effectuées début septembre 2010 sont présentées dans la Figure 4.

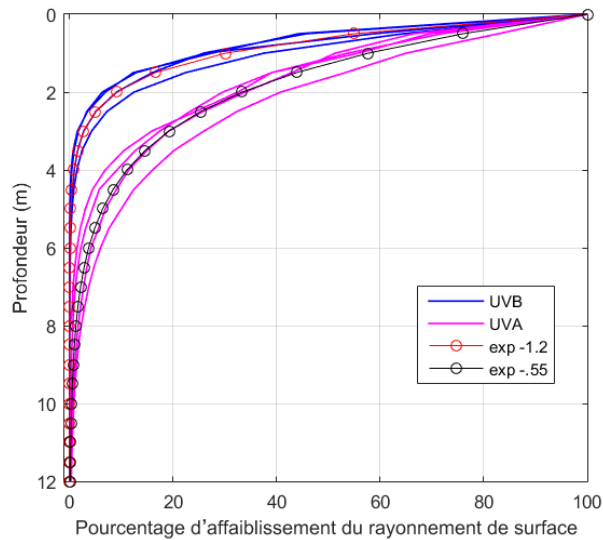


Figure 4. L'atténuation du rayonnement solaire en profondeur mesurée dans le chenal Nodales et à l'entrée de l'inlet Toba dans les îles Discovery en septembre 2010. La mesure des rayons UV-A et UV-B mise en correspondance avec leur dégradation exponentielle à des coefficients respectifs de -0,55 et -1,2 est présentée.

Le rayonnement solaire varie en fonction de la saison, de la topographie (zone ombragée) et de la couverture nuageuse. La Figure 5 illustre les données relatives au rayonnement solaire de Cinque, un site exposé à la lumière du soleil provenant de toutes les directions pendant la journée.

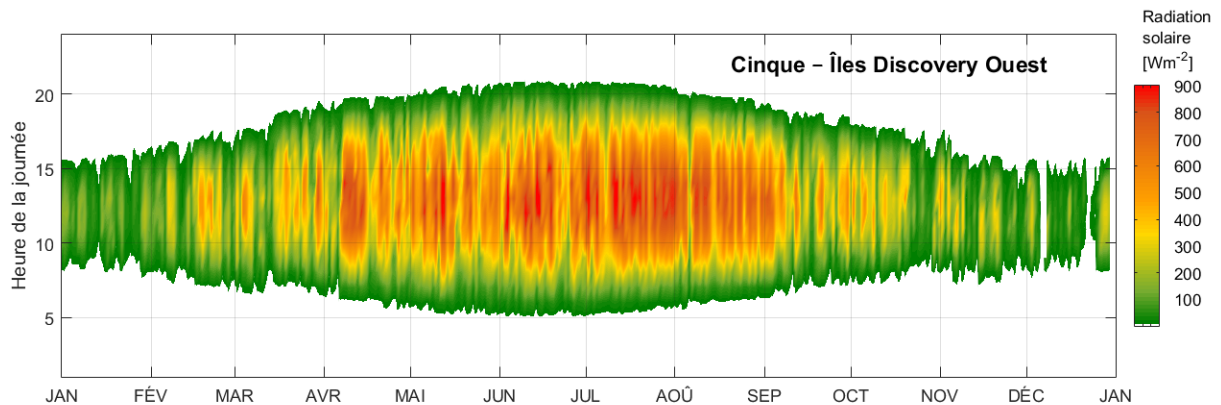


Figure 5. Le rayonnement solaire mesuré en 2010 et en 2011 dans une station météorologique du MPO sur l'île Cinque (îles Discovery) montrant les variations saisonnières et quotidiennes, ainsi que les épisodes de grand rayonnement solaire.

Dans les îles Discovery, les courants sont généralement une combinaison de trois éléments : les courants de marée (qui varient en fonction de l'heure ou de la journée), les courants de flottabilité (principalement dus aux apports en eau douce, qui sont souvent appelés débits estuariens) et les courants éoliens (forçage près de la surface et brassage résultant des vents forts) (Chandler et al., 2017). Certains des courants de marée les plus forts au monde, jusqu'à

7,8 m/s dans le passage Discovery (dont il est fait état par Lin et al. (2011)), ont été enregistrés dans les îles Discovery. Les courants de marée peuvent déplacer les particules dans un mouvement de va-et-vient dans une zone donnée en raison de l'inversion de la direction des courants de flux et de reflux toutes les six heures. La distance de ces excursions dépend de la vitesse du courant. Par exemple, un courant de marée de 12,4 heures à 1 m/s peut transporter l'eau sur 14 km dans une direction jusqu'à ce que les marées changent. Toutefois, lorsque les gradients des courants de marée sont forts, comme c'est le cas dans de nombreuses zones des îles Discovery, les courants de marée peuvent également contribuer au transport net des particules sur plusieurs dizaines de kilomètres.

Dans le passage Discovery, les débits estuariens poussent généralement la couche de surface vers le Nord et le reflux en profondeur (Thomson, 1981). Les débits estuariens ont une influence particulièrement importante sur la circulation de l'eau dans la colonne d'eau pendant les crues printanières : le ruissellement dû à la fonte des neiges apporte un volume important d'eau douce, notamment dans les inlets, où les débits fluviaux sont importants, comme dans l'inlet Bute ou l'inlet Toba.

Les débits d'eau douce varient considérablement d'une rivière et d'une saison à l'autre. Le débit hydrique annuel moyen des rivières Homathko, Salmon et Oyster sont, respectivement de  $259 \pm 226 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $61 \pm 26 \text{ m}^3/\text{s}$  et  $13 \pm 6 \text{ m}^3/\text{s}$  (Chandler et al., 2017). Dans les îles Discovery, le débit des rivières situées sur la côte centrale de la Colombie-Britannique est généralement à son maximum au milieu de l'été, principalement en raison de la fonte des neiges et des glaciers, tandis que le débit des rivières situées sur l'île de Vancouver est généralement à son maximum à l'automne et en hiver, et est alimenté par les eaux de pluie (Foreman et al., 2015a).

Lorsque le forçage des marées ou le forçage de flottabilité est réduit, le vent joue un rôle important dans la détermination de la vitesse des courants de surface. Leur direction est généralement déterminée par l'orientation du chenal. L'analyse de l'observation horaire des vents de 2010-2011 révèle que les vents les plus forts, qui sont les plus susceptibles d'influer sur les courants de surface, sont ceux du détroit de Johnstone, du passage Discovery et des eaux libres du Nord du détroit de Georgie (Chandler et al., 2017). Les vents dominants, aussi bien en matière d'intensité que de fréquence, proviennent du Sud-ouest et du Sud-est.

Des modèles hydrodynamiques sont utilisés pour simuler la circulation océanique en fonction des données observées et des solutions d'équations mathématiques qui estiment les forces physiques qui la régissent. Foreman et al. (2012, 2015a) ont intégré les données d'observation disponibles sur la température, la salinité, les marées, les vents et les apports en eau douce afin d'élaborer et d'évaluer une simulation de modèle FVCOM (modèle des volumes finis d'océanologie côtière) de la circulation de l'eau dans les îles Discovery d'avril à octobre 2010. Les résultats du modèle laissent entendre que les débits moyens d'avril étaient dus à l'apport en eau douce des rivières et des marées, mais que la contribution du vent était minime à cette période de l'année. Des variations de la vitesse, de la direction et de la présence de remous ont également été observées. Une correspondance généralement bonne a été observée entre le modèle et les composants actuels observés au mois d'avril et au mois de juillet. Chandler et al. (2017) proposent également une comparaison de la salinité et des températures du modèle et des mesures observées (dans les fermes).

La simulation faite entre avril et octobre 2010 montre une importante variabilité saisonnière des courants proches de la surface sans marée. Bien que certains changements puissent être attribués au caractère saisonnier des vents, comme il est décrit ci-dessus, la plupart sont dus à des variations du débit d'eau douce et des débits estuariens près de la surface qui en

découlent. En accord avec les débits fluviaux mesurés, l'exécution du modèle FVCOM montre des débits estuariens de surface généralement plus importants en juillet que les six autres mois. Les marées y contribuent grandement, particulièrement dans des régions comme le Sud du passage Discovery et les rapides Arran, où la vitesse maximale peut dépasser 7 m/s. Toutefois, sauf dans les régions avec de forts gradients de courants de marée, les courants de marée déplacent généralement les particules dans un mouvement de va-et-vient avec peu de transport net; les principales composantes des courants qui déplacent les agents pathogènes et d'autres matières particulaires sur des distances considérables sont les débits estuariens et les courants éoliens.

À l'aide des résultats du modèle de courants océaniques et de modèles de suivi des particules, Foreman et al. (2015b) ont simulé la dispersion des particules dans les îles Discovery d'avril à octobre 2010. Ces simulations sont désignées sous le nom de suivi des particules passives lorsque les particules n'ont pas de caractéristiques biologiques, chimiques ou comportementales qui pourraient influencer sur la décomposition, la dispersion ou la virulence des particules. Les résultats des modèles de suivi des particules passives simulent uniquement la dispersion due aux processus océanographiques inclus dans le modèle.

La Figure 6 illustre la dispersion des nuages à l'aide d'une simulation menée dans les conditions d'avril à octobre 2010, où des particules passives ont été rejetées à la surface à partir de 32 fermes situées dans les îles Discovery et ont été suivies pendant dix jours. En fonction du débit estuarien de surface prédominant dans la zone et allant du Nord à l'Ouest, la simulation a indiqué que les particules pourraient atteindre le détroit de Johnstone en deux jours et demi (Foreman et al., 2015b). La simulation a également indiqué qu'un faible pourcentage de particules avait pris la direction du sud-est et avait atteint le détroit de Georgie en cinq jours. D'après d'autres simulations des particules passives, la dispersion devrait également varier en fonction des saisons; de plus, si elles ont été rejetées aux mêmes endroits, les particules pourraient avoir voyagé 10 % plus loin et s'être dispersées 31 % plus largement au mois de juillet qu'au mois d'avril 2010 (Foreman et al., 2015a).

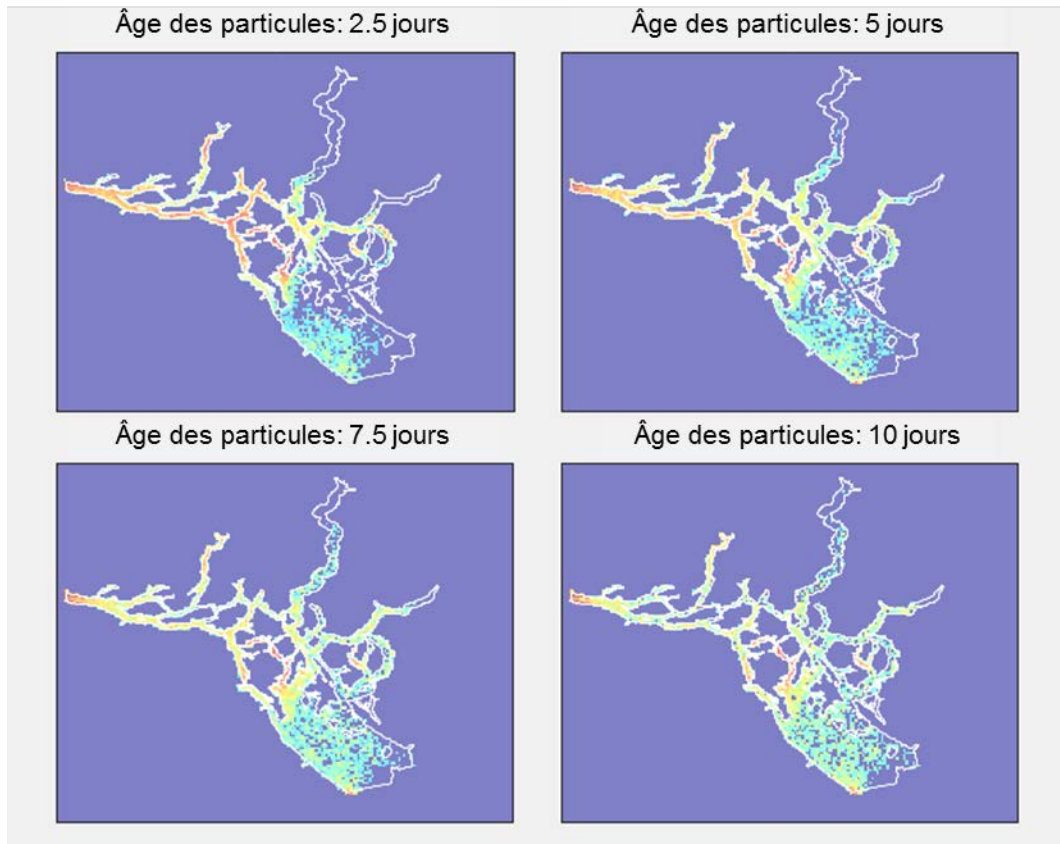


Figure 6. Dispersion des nuages 2.5, 5, 7.5 et 10 jours après le rejet horaire de particules passives au cours du mois d'avril 2010 à partir de 32 fermes situées dans la région des îles Discovery (y compris les fermes prises en considération dans l'évaluation du risque). Les couleurs rouge et turquoise, respectivement, représentent les concentrations les plus élevées et les plus basses. Adapté de Foreman et al. (2015b).

La portée et la précision de la simulation ci-dessus sont des facteurs importants à prendre en compte dans les évaluations du risque environnemental. Lorsque les trajectoires de dispersion de la simulation ont été comparées aux trajectoires réelles des dériveurs munis d'un GPS jetés à la mer dans l'inlet Knight, au Nord des îles Discovery, on a constaté que leur direction était similaire. Cependant, après six heures, les dériveurs n'avaient pas parcouru une distance aussi importante que la plupart des particules modélisées (Foreman et al., 2015b). Cette incohérence initiale n'a pas été observée 24 heures après la mise à l'eau, ce qui laisse entendre que le modèle de suivi des particules passives a fourni des simulations réalistes des trajectoires prévues et des distances parcourues sur une durée supérieure à six heures.

### Pratiques en matière de gestion de la santé du saumon atlantique d'élevage en Colombie-Britannique

Wade (2017) fournit un examen des conditions de permis et des pratiques volontaires en matière de gestion de la santé des poissons (y compris le plan de gestion virale) mises en œuvre dans les fermes de saumon atlantique de Colombie-Britannique et qui sont pertinentes pour les évaluations du risque de transfert d'agents pathogènes. Les éléments les plus pertinents pour justifier l'évaluation du risque de transfert du VNHI sont résumés ici.

Le MPO est responsable de l'octroi des permis d'aquaculture pour toutes les activités de pisciculture en milieu marin, les activités de conchyliculture ainsi que les activités en eau douce ou à terre en Colombie-Britannique. Les permis sont délivrés en vertu de la *Loi sur les pêches* et sont assujettis aux dispositions de la *Loi sur les pêches* et ses règlements, y compris le *Règlement du Pacifique sur l'aquaculture* et le *Règlement sur les activités d'aquaculture*. De plus, l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) est chargée, en vertu de la *Loi sur la santé des animaux*, de délivrer des permis d'importation et de contrôle des déplacements, et de gérer les interventions à l'échelle fédérale en cas de maladies, notamment en cas de maladies à déclaration obligatoire, immédiate et annuelle énoncées dans le *Règlement sur les maladies déclarables*. Outre les mesures relatives aux maladies énoncées dans le Règlement, des mesures peuvent être prises en tout temps pour gérer d'autres maladies, si besoin.

Conformément au *Règlement du Pacifique sur l'aquaculture*, à titre de condition de son permis, chaque entreprise doit disposer d'un Plan de gestion de la santé des salmonidés et de procédures opérationnelles normalisées (PON) exclusives et connexes. Ces PON et d'autres conditions de permis fournissent des preuves des mesures de biosécurité en place pour atténuer les cas de maladie et réduire au minimum la propagation d'agents pathogènes à l'intérieur et à l'extérieur d'une ferme au besoin. Les autres conditions de permis qui contribuent à la protection de la santé des poissons sont les plans de production, les exigences en matière de transfert des poissons et la tenue de registres sur la santé des poissons.

Les mesures de biosécurité requises dans le cadre du plan de gestion de la santé des salmonidés comprennent des procédures limitant l'introduction d'agents pathogènes sur un site d'élevage au moyen de mesures telles que le contrôle des visiteurs, les exigences de désinfection sur site ou les protocoles de transport. En outre, il existe des procédures opérationnelles normalisées permettant de limiter la transmission des agents pathogènes, notamment des protocoles relatifs au transport et à la manipulation des spécimens morts, au nettoyage et à la désinfection, et à l'isolement et au contrôle des voies de transport, afin de limiter les risques de contamination croisée. L'augmentation de la mortalité doit être signalée au MPO à titre de condition de permis, et les suspicions ou la détection de maladies ou d'infections à déclaration obligatoire doivent être signalées au MPO et à l'ACIA.

Les éléments de ces procédures opérationnelles normalisées et les autres conditions de permis sont vérifiés régulièrement par le MPO. Les fermes sont informées de toute lacune et des mesures correctives doivent être prises. De 2011 à 2015, 465 vérifications ont eu lieu dans les fermes de saumon atlantique de Colombie-Britannique. De nombreuses vérifications ne révèlent aucune lacune. Le plus grand nombre de lacunes a été détecté en 2012 (83) et le plus faible en 2013 (52). Le nombre moyen de lacunes par vérification sur cinq ans était de  $0,77 \pm 0,34$ . La moyenne annuelle variait de 0,51 en 2012 à 1,43 en 2011. Dans le cadre du programme de vérification, des échantillons de tissus sont prélevés afin d'effectuer un dépistage de routine des agents pathogènes dans des laboratoires accrédités. Les résultats sont ensuite comparés aux résultats des rapports soumis par chaque entreprise à titre de condition de permis.

En plus de respecter les exigences réglementaires, les fermes de saumon atlantique mettent en œuvre des pratiques de gestion exemplaires sur site. Il peut s'agir d'une combinaison de pratiques internes, de pratiques propres à l'industrie piscicole de Colombie-Britannique (p. ex. plan de gestion virale) et de pratiques exigées par des programmes de certification par une tierce partie.

Les autres pratiques de gestion de la santé des poissons mises en place par les trois entreprises comprennent la collecte et l'analyse de renseignements syndromiques, notamment des données environnementales, sur l'alimentation et sur les comportements anormaux, ainsi que le dépistage des agents pathogènes des spécimens morts. Bien que certains de ces renseignements soient requis en vertu des conditions de permis, les renseignements détaillés requis pour la gestion du site dépassent souvent les exigences de permis. Par exemple, en plus des échantillons prélevés lors d'une vérification effectuée aux fins de dépistage des maladies, les entreprises prélèvent également régulièrement des échantillons sur les spécimens morts récemment afin de mener leurs propres activités de dépistage des maladies. Habituellement, rien que sur les sites marins d'élevage en cage, Marine Harvest Canada prélève des échantillons de plus de 4 800 poissons par an aux fins d'histologie et d'environ 900 poissons aux fins de virologie; Grieg Seafood réalise des essais sur plus de 1 000 poissons par an à des fins de virologie; Cermaq Canada mène des essais sur plus de 3 000 poissons par an afin de détecter différents agents pathogènes. Ces estimations ne concernent pas les essais effectués sur les stocks de géniteurs ou lors du pré-transfert des saumoneaux.

La vaccination des saumons atlantiques n'est pas une exigence de permis; toutefois, toutes les entreprises vaccinent volontairement leurs poissons contre différents agents pathogènes, y compris le VNHI. L'entente concernant la vaccination des poissons et l'effort coordonné en vue d'atténuer les maladies et d'intervenir en cas d'épidémie est officialisée dans le plan de gestion virale, initialement ratifié en 2011. Le plan de gestion virale est un protocole d'entente entre les trois entreprises, en collaboration avec la BC Salmon Farmers Association. Depuis 2015, le plan de gestion virale oblige toutes les entreprises à vacciner tous les saumoneaux contre le VNHI avant leur entrée dans l'eau de mer. La vaccination est également une exigence de la certification de pratiques exemplaires d'aquaculture (BAP) et de l'Aquaculture Stewardship Council (ASC), tout comme d'autres exigences en matière de surveillance de la biosécurité et de la surveillance de la santé des poissons. Toutes les fermes des îles Discovery sont certifiées BAP et certaines sont également en voie d'être certifiées par l'ASC. Se reporter à Wade (2017) pour en savoir plus sur le plan de gestion virale.

Outre les exigences de vaccination et de biosécurité améliorée requises dans le cadre des activités habituelles, le plan de gestion virale énonce les procédures normalisées suivies en cas d'une épidémie virale, offrant ainsi un cadre de mesures structurées et contrôlées en cas d'épidémie. Ce plan est mis en œuvre en cas de constatation préoccupante, notamment en cas de hausse inattendue de la mortalité dans une ou plusieurs cages d'un site ou en cas de hausse importante et préoccupante du nombre de poissons moribonds. Cela peut également comprendre les signes cliniques laissant suspecter une infection virale préoccupante chez des poissons moribonds ou morts récemment, ou la confirmation préliminaire par un laboratoire de la présence d'un virus préoccupant. Dans le cas des maladies à déclaration obligatoire, l'ACIA et le Programme national sur la santé des animaux aquatiques du MPO assurent la supervision de l'échantillonnage, de la mise à l'essai et de la confirmation du diagnostic. Les sites sont isolés et les autres entreprises sont informées. Le plan de gestion virale comprend également des mesures spécifiques concernant la gestion des sites repères, la gestion continue des zones où de nombreux résultats positifs sont détectés, l'abattage sanitaire rapide et l'élimination sécuritaire des poissons après réception de l'approbation de l'ACIA, et des périodes de jachère minimales avant le repeuplement (trois mois plus tard ou un mois après la levée de la quarantaine, selon la période la plus longue).



## Caractérisation du virus de la nécrose hématopoïétique infectieuse

Garver and Wade (2017) fournissent un examen des caractéristiques du VNHI pertinentes pour l'évaluation du risque de transfert du VNHI. Les éléments les plus pertinents sont résumés ici.

Le virus de la nécrose hématopoïétique infectieuse (VNHI) est un virus pouvant provoquer une maladie systémique aiguë appelée nécrose hématopoïétique infectieuse (NHI), qui est à l'origine d'un taux de mortalité élevé aussi bien chez les populations de saumon et de truite sauvages que d'élevage (Bootland and Leong, 1999). En raison de sa nature contagieuse et de sa capacité à causer la mort de nombreux poissons, la nécrose hématopoïétique infectieuse fait partie des maladies à déclaration obligatoire à l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE) (Dixon et al., 2016).

### Caractérisation du virus

Le principal mode de transmission du VNHI est horizontal au sein et entre les populations de saumon sauvage. Des études en laboratoire exposant les poissons au VNHI par immersion dans de l'eau contaminée ou par cohabitation avec des poissons infectés par le VNHI ont démontré que le VNHI se transmet et se propage par l'exposition dans l'eau (Garver et al., 2013). Toutefois, la transmission du virus peut également se produire de façon verticale lorsque des particules du virus à la surface des œufs infectent l'embryon en voie de développement (Garver and Wade, 2017).

La salinité, la température, la charge organique, le contenu microbien de l'eau et l'exposition aux rayons ultraviolets ont une influence sur la stabilité environnementale du VNHI. Les concentrations élevées de VNHI sont inactivées en quelques jours dans les eaux des rivières naturelles et des océans, ou en quelques minutes en cas d'exposition aux rayons du soleil (Garver et al., 2013). Par conséquent, le VNHI peut atteindre ses concentrations les plus élevées dans l'eau pendant les mois d'hiver, lorsque la température de l'eau et la lumière du soleil sont considérablement moins élevées qu'au printemps et en été.

### Interaction entre la maladie et les hôtes

Des preuves provenant d'infections naturelles et d'études d'exposition contrôlée en laboratoire indiquent que le VNHI possède un large éventail d'hôtes. Bien qu'il soit surtout détecté chez les salmonidés, le VNHI a également été trouvé dans des hôtes non-salmonidés et des invertébrés. L'infection peut provoquer des maladies chez certains hôtes et être transitoire chez d'autres.

En Colombie-Britannique, le VNHI est le plus souvent détecté dans les populations de saumon rouge (*Oncorhynchus nerka*), et moins fréquemment, chez la truite arc-en-ciel (*O. mykiss*), le saumon arc-en-ciel (*O. mykiss*), le saumon kéta (*O. keta*) et le saumon quinnat (*O. tshawytscha*). En Colombie-Britannique, la surveillance à long terme des stocks de saumon rouge des bassins hydrographiques de la rivière Skeena, du fleuve Fraser et du fleuve Columbia a révélé que la prévalence du VNHI chez les adultes reproducteurs était très variable dans et entre les stocks. Des études en laboratoire confirment la persistance du VNHI chez les saumoneaux rouges survivants (Müller et al., 2015), ce qui laisse entendre que les infections détectées chez des poissons juvéniles asymptomatiques provenant du milieu marin sont vraisemblablement le signe qu'il existe des survivants à une exposition naturelle au VNHI.

Les résultats préliminaires indiquent que la prévalence du VNHI est très variable d'une année sur l'autre chez les saumons rouges juvéniles capturés dans le détroit de Georgie et les îles

Discovery. Elle est comprise entre 0 % (2012, 2013 et 2015) et 10,5 % (2014) dans l'ensemble des stocks (Garver and Wade, 2017).

La NHI a été décelée dans des fermes de Colombie-Britannique dont le saumon atlantique n'avait pas été vacciné en 1992, 2001 et 2012. Les pratiques de gestion de la maladie et les mesures de biosécurité en place pendant les deux premières épizooties de NHI étaient bien moindres (Garver and Wade, 2017). De plus, il n'y a pas eu d'abattage sanitaire dans les fermes renfermant des spécimens malades : par conséquent, les épizooties de 1992 et 2001 ont duré de trois à cinq ans. La présence du VNHI a aussi été confirmée dans trois fermes de saumon atlantique en 2012 : au large de la côte Ouest de l'île de Vancouver dans deux cas et sur la Sunshine Coast dans un autre cas. Les poissons des fermes infectées ont été abattus dans un délai maximum de 12 jours après la confirmation des cas, et l'événement n'a pas donné lieu à une épizootie. Dans tous les cas, les poissons des fermes où la présence du VNHI a été confirmée n'avaient pas été vaccinés contre le VNHI.

Le saumon atlantique est l'une des espèces les plus vulnérables à la NHI. D'après des études effectuées en laboratoire, la concentration la plus faible du VNHI nécessaire pour causer la mort du saumon atlantique exposé dans l'eau de mer est de  $10^7$  UFP /m<sup>3</sup> pendant une heure (Garver et al., 2013). Le saumon rouge, la truite et le saumon arc-en-ciel et le saumon quinnat sont également considérés comme très vulnérables à la NHI. Chez les spécimens naifs de saumon rouge juvénile, la dose létale minimale est estimée entre  $10^8$  et  $10^9$  UFP/m<sup>3</sup> pendant une heure d'exposition (soit de 10 à 100 fois supérieure à celle nécessaire pour causer la mort du saumon atlantique) (Long et al., 2017). Le saumon coho (*O. kisutch*) et le saumon rose (*O. gorbuscha*) peuvent être infectés par le VNHI, mais sont considérés comme les espèces les moins vulnérables à la NHI, en raison de l'absence de signalements d'épidémies naturelles et de la mortalité faible à nulle lors des études expérimentales. Les autres espèces de salmonidés pour lesquelles l'infection au VNHI a été signalée comprennent le saumon kéta, l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*), la truite brune (*S. trutta*) et le touladi (*S. namaycush*) (se reporter à Garver and Wade (2017) ).

Outre les différences de vulnérabilité à la NHI entre les espèces, une variabilité de la vulnérabilité pourrait également exister au niveau du stock et pourrait dépendre du stade biologique auquel l'exposition se produit; le saumon du Pacifique à l'état d'alevins ou au stade juvénile est plus vulnérable à la NHI que les adultes.

Une fois infecté par le virus, le saumon atlantique excrète des quantités de plus en plus élevées du virus, à mesure que la maladie progresse. Les pics d'excrétion du virus peuvent atteindre en moyenne  $3,2 \times 10^7$  UFP/poisson/heure un ou deux jours avant la mort (Garver et al., 2013). Le virus excrété n'est détecté que chez les spécimens qui contractent la maladie, ce qui laisse penser que le saumon atlantique ne présentant aucun symptôme de la maladie n'est pas une source importante de propagation du virus (Garver et al., 2013). L'apparition et la progression de la NHI sont fortement tributaires de la dose d'exposition et par conséquent, sont susceptibles d'être très variables entre les épidémies (Garver et al., 2013).

### Vaccination

Un vaccin commercial homologué contre le VNHI à base d'ADN (APEX-IHN<sup>MD</sup>) est disponible au Canada depuis juillet 2005. Deux études en laboratoire ont démontré son efficacité pour protéger le saumon atlantique contre la NHI. Au cours de la première étude, 17 mois après l'inoculation du vaccin APEX-IHN<sup>MD</sup>, la mortalité parmi les saumons atlantiques vaccinés a atteint 27 %, comparée à environ 76 % dans le groupe témoin (Salonius et al., 2007). Au cours

de la seconde étude, cinq mois après la vaccination, la mortalité parmi les saumons atlantiques vaccinés a atteint 2,7 %, comparée à 96,7 % dans le groupe témoin non vacciné (Long et al., 2017). De plus, la transmission de la maladie aux saumons rouges novices n'a pas eu lieu dans le groupe de saumon atlantique vacciné et infecté par le VNHI et la propagation du virus aux saumons atlantiques novices cohabitant avec eux a diminué. Combinés, ces résultats montrent que la vaccination réduit considérablement la charge infectieuse et la possibilité de transmission du VNHI.

### **Caractéristiques, biologie et écologie des stocks de saumon rouge du fleuve Fraser**

Grant et al. (in review) fournissent une analyse de l'écologie et de la biologie du saumon rouge du fleuve Fraser pertinente pour caractériser ses interactions avec les fermes de saumon atlantique. Les éléments les plus pertinents pour justifier l'évaluation du risque de transfert du VNHI sont résumés ici.

Le saumon rouge du fleuve Fraser peut présenter deux types de cycles biologiques : le type lac et le type rivière. Le saumon rouge de type lac se développe dans un lac d'alevinage pendant au moins un an avant de migrer vers l'océan, habituellement avant d'entreprendre son avalaison vers le détroit de Georgie entre la mi-avril et la fin mai, avec un pic au début du mois de mai. Le saumon rouge de type rivière migre vers le détroit de Georgie peu après son émergence du gravier. Dans le cas des saumoneaux rouges de la rivière Harrison, cet événement se produit habituellement entre début de juin et fin juillet, avec un pic à la mi-juillet.

Une fois dans le détroit de Georgie, les saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser de type rivière ont tendance à migrer en passant par le détroit de Georgie et à en sortir par le Nord, en passant par les îles Discovery. En 2014, des saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser ont été capturés dans les îles Discovery entre la mi-mai et la mi-juillet, avec un pic de prises entre début juin et la mi-juin (Neville et al., 2016). D'après des études par marquage, la vitesse de nage et la distance parcourue, la durée de séjour des saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser dans les îles Discovery est estimée entre 5 et 14 jours (Grant et al., in review).

Le saumon rouge de la rivière Harrison (de type rivière) migre hors du détroit de Georgie à la fin de l'automne et au début de l'hiver, soit par le Nord, soit par le Sud. Il n'existe aucune estimation de la durée de séjour des saumons rouges juvéniles de la rivière Harrison dans les îles Discovery.

Les schémas migratoires du saumon rouge juvénile du fleuve Fraser dans les îles Discovery ne sont pas bien décrits. Les relevés au chalut menés dans le détroit de Georgie ont capturé des saumons rouges juvéniles dans la couche supérieure de 45 m de la colonne d'eau (Beamish et al., 2016). La plupart des spécimens ont été capturés dans la couche supérieure de 15 m de la colonne d'eau, ce qui laisse entendre que le saumon rouge juvénile migre à la même profondeur que là où se trouvent les fermes salmonicoles. La proportion de la population qui migre en passant par les fermes salmonicoles des îles Discovery est inconnue. Des saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser ont été observés dans les environs des fermes salmonicoles de cette région.

Le saumon rouge adulte retourne dans le fleuve Fraser en passant soit par le Nord, soit par le Sud. Une partie d'entre eux (entre 10 et 96 %) passe par le détroit de Johnstone (Grant et al., in review). Les données en cours de saison issues des pêches d'essai indiquent que le saumon rouge est présent dans les îles Discovery au moins de la mi-juillet à début septembre. En se fondant sur les dates d'arrivée à Mission, sur la vitesse de nage moyenne et sur la distance, et

en supposant une durée de séjour nulle dans le détroit de Georgie, on estime que le saumon rouge adulte pourrait se retrouver dans les îles Discovery entre la fin du mois de juin et le début du mois d'octobre. En fonction de ces estimations, le saumon rouge adulte du fleuve Fraser pourrait passer environ trois jours de nage dans les îles Discovery.

L'abondance des montaisons du saumon rouge adulte du fleuve Fraser est très variable et a oscillé entre 1,5 et 28,2 millions entre 1980 et 2014 (Grant et al., in review). Les facteurs contribuant à cette variabilité élevée comprennent la nature cyclique de certains stocks, dont la montaison est importante une fois tous les quatre ans, la variabilité de l'abondance des reproducteurs au cours de l'année d'éclosion et la survie entre le stade de l'œuf et le stade de la montaison à l'âge adulte. Pour la plupart des stocks de saumon rouge du fleuve Fraser, aucune donnée relative à la survie en milieu marin n'est disponible; cependant, des données sont disponibles de 1951 à 2013 pour le saumon rouge du lac Chilko. Le taux moyen de survie en milieu marin du saumon rouge du lac Chilko, de la décharge à la montaison des adultes dans l'ensemble de la série chronologique est de 6,9 %. Cependant, il a diminué au cours des dernières années à 4,3 % (années d'entrée dans l'océan de 1992 à 2013) (Grant et al., in review).

La diversité du saumon du Pacifique a été définie à l'aide d'unités de conservation fondées sur le cycle biologique, l'écologie et la génétique des populations. Les unités de conservation sont considérées comme l'unité fondamentale de biodiversité en vertu de la *Politique concernant le saumon sauvage* du MPO, qui définit la notion d'unité de conservation comme « un groupe de saumon sauvage suffisamment isolé des autres groupes pour que, s'il venait à disparaître, il soit très peu probable qu'il puisse se rétablir naturellement dans un délai acceptable, p. ex. la durée de vie d'un être humain ou un nombre précis de générations de saumon » (MPO, 2005). Il existe actuellement 24 unités de conservation du saumon rouge du fleuve Fraser, dont 22 sont de type lac et deux sont de type rivière. Sur ces 24 unités de conservation, 11 suscitent des préoccupations.

### Évaluation du risque de transfert du virus de la nécrose hématoïétique infectieuse

Mimeault et al. (2017) fournissent l'avis complet sur le risque pour le saumon rouge du fleuve Fraser que représente le transfert du VNHI à partir des fermes de saumon atlantique situées dans les îles Discovery (en Colombie-Britannique). Les éléments les plus pertinents pour justifier l'évaluation du risque de transfert du VNHI sont résumés ici.

Les risques pour l'abondance et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser dus au transfert du VNHI à partir des fermes de saumon atlantique des îles Discovery ont été évalués en tenant compte des pratiques actuelles de gestion de la santé des poissons.

#### Modèle conceptuel

L'évaluation du risque a suivi les trois principales étapes décrites à la Figure 7. Il s'agissait de l'évaluation de la probabilité, de l'évaluation des conséquences et de l'estimation du risque.

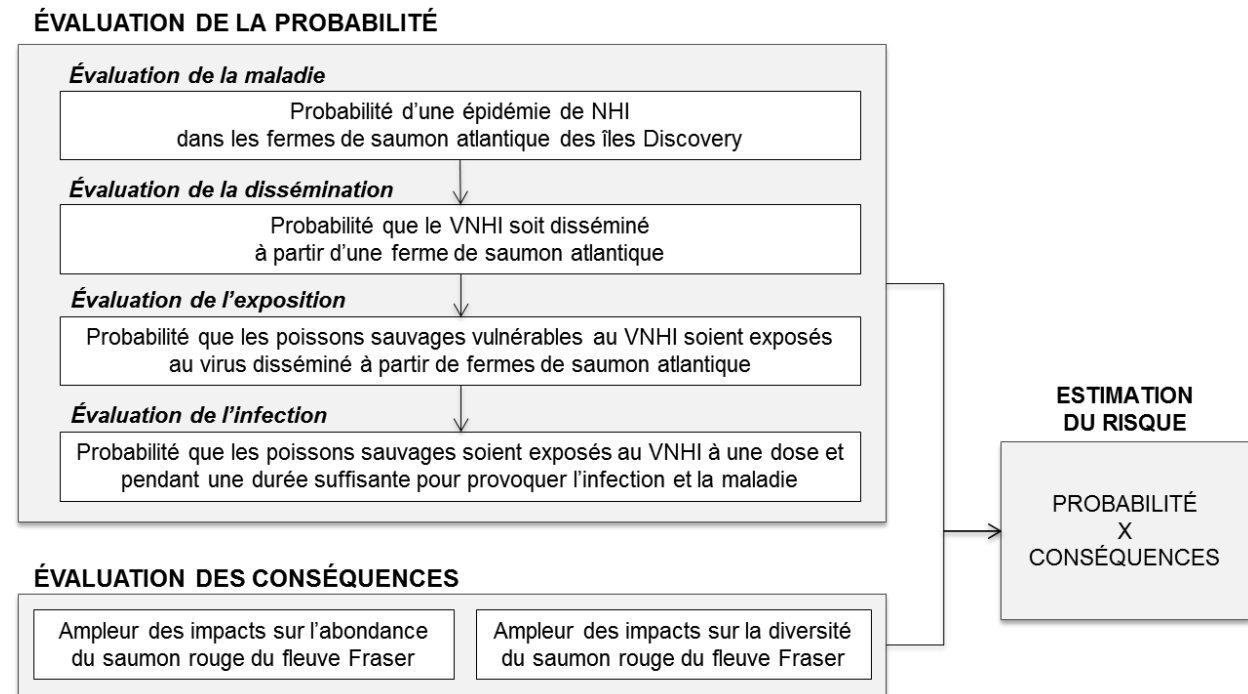


Figure 7. Modèle conceptuel pour l'évaluation du risque posé par le VNHI attribuable aux fermes de saumon atlantique des îles Discovery (Colombie-Britannique).

### Évaluation de la probabilité

Cette section visait à déterminer la probabilité que les populations de poissons sauvages soient infectées et tombent malades à la suite de la dissémination du VNHI à partir des fermes de saumon atlantique des îles Discovery, malgré les pratiques actuelles de gestion de la santé des poissons. L'évaluation de la probabilité a été réalisée au moyen de quatre évaluations séquentielles : l'évaluation de la maladie, de la dissémination, de l'exposition et de l'infection. Les principaux éléments pris en compte et les principales conclusions sont présentés ici.

#### *Évaluation de la maladie*

Bien que le VNHI soit endémique à la Colombie-Britannique et que les fermes de saumon atlantique des îles Discovery aient déjà fait l'objet d'épizooties et d'épidémies isolées chez les poissons non vaccinés, les pratiques actuelles de gestion de la santé des poissons comprennent à la fois des pratiques réglementaires de biosécurité et de gestion de la santé des poissons, et d'autres pratiques volontaires telles que la vaccination contre la NHI. Dans l'ensemble, il a été conclu avec un degré de **certitude raisonnable** que la probabilité qu'une épidémie de NHI ait lieu dans les fermes de saumon atlantique des îles Discovery est **très faible**, compte tenu des pratiques actuelles de gestion de la santé des poissons.

#### *Évaluation de la dissémination*

Nonobstant la probabilité de l'évaluation de la maladie, l'évaluation de la dissémination déterminait la probabilité que le VNHI soit disséminé à partir d'une ferme de saumon atlantique des îles Discovery touchée par la maladie dans un environnement accessible aux populations

sauvages de saumon rouge du fleuve Fraser ou d'autres poissons vulnérables. Trois voies de dissémination potentielles étaient envisagées : le saumon atlantique d'élevage, les vecteurs mécaniques (p. ex. les membres du personnel, les visiteurs, la faune) et les vecteurs passifs (p. ex. l'équipement et les navires de la ferme).

Étant donné que les saumons atlantiques montrant des signes cliniques de la maladie excrètent le VNHI dans le milieu environnant et étant donné que le saumon atlantique est élevé dans des parcs en filet, il a été conclu avec un degré de **certitude élevé** que la probabilité de dissémination dans l'environnement à partir des saumons atlantiques infectés était **extrêmement haute**.

Compte tenu des protocoles pour la manipulation et l'entreposage des poissons morts et pour l'étiquetage, le nettoyage, la désinfection et l'entreposage des engins de pêche, des exigences en matière de biosécurité imposées aux visiteurs et des restrictions relatives aux déplacements du personnel et des navires dans l'éventualité d'un cas confirmé de NHI, la probabilité de dissémination par vecteurs mécaniques ou vecteurs passifs n'est pas considérée comme importante.

#### *Évaluation de l'exposition*

L'évaluation de l'exposition consistait à déterminer la probabilité qu'un poisson vulnérable soit exposé au VNHI disséminé à partir des fermes de saumon atlantique des îles Discovery. L'exposition était définie comme la rencontre entre un poisson et une seule particule virale disséminée par une ferme de saumon atlantique des îles Discovery.

Trois groupes d'exposition potentiels ont été examinés : les saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser, les saumons rouges adultes du fleuve Fraser et d'autres espèces vulnérables au NHI présentes dans les îles Discovery (pour répondre aux conséquences écologiques potentielles sur les interactions avec les proies, les prédateurs ou les concurrents). Pour chaque groupe d'exposition, deux voies d'exposition potentielles ont été envisagées : dans les parcs en filet et dans les panaches de dispersion à partir des fermes de saumon atlantique.

L'évaluation de l'exposition consistait à comparer l'occurrence spatiale et temporelle du VNHI disséminé par les fermes de saumon atlantique et les groupes d'exposition dans les îles Discovery.

Les cas index suspectés dans les épidémies de NHI dans les îles Discovery ont eu lieu en juillet (épizootie de 1992 à 1997) et août (épizootie de 2001 à 2003). Chaque année, des millions de saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser migrent en passant par les îles Discovery, de la mi-mai à la mi-juillet environ. Par conséquent, un chevauchement temporel potentiel entre le VNHI disséminé par les fermes de saumon atlantique infectées et le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser est possible dans les îles Discovery.

Au cours des précédentes épizooties et épidémies de NHI, à tout moment, la maladie était présente uniquement dans un sous-ensemble de fermes en activité. Les fermes de saumon atlantique des îles Discovery occupent une très petite zone de l'ensemble de la région et une superficie relativement petite, même dans le plus petit chenal des îles Discovery dans lequel des fermes de saumon atlantique sont en activité. Les facteurs ci-dessus limitent la probabilité qu'un poisson sauvage se rende dans une ferme infectée. Toutefois, même s'il est rapidement inactivé par la lumière du soleil et le biote, le VNHI peut survivre dans l'eau de mer. Le VNHI introduit dans le milieu marin peut être transporté horizontalement et brassé verticalement en raison des courants de la région. Il a été suggéré que la dispersion dans l'eau du VNHI jouait un rôle dans la propagation de la maladie entre les fermes aquacoles. Cette supposition a été

corroborée par la modélisation hydrodynamique des îles Discovery. La modélisation de la dispersion du VNHI à la surface de la colonne d'eau laisse entendre que le VNHI se propage au-delà des limites des fermes et se propage même sur toute la largeur des chenaux. Par conséquent, un chevauchement spatial potentiel entre le VNHI disséminé par les fermes de saumon atlantique infectées et le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser est possible dans les îles Discovery.

Il a donc été conclu avec un degré d'**incertitude raisonnable** que la probabilité qu'au moins un saumon rouge juvénile du fleuve Fraser soit exposé à au moins une particule du VNHI dans les parcs en filet d'une ferme de saumon atlantique des îles Discovery était **probable**. Il a également été conclu avec un degré de **certitude raisonnable** que la probabilité que les saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser soient exposés au VNHI par le biais d'un panache de dispersion à partir d'une ferme de saumon atlantique des îles Discovery était **très probable**.

La présence spatiale et temporelle de saumons rouges adultes du fleuve Fraser et d'autres espèces de poissons vulnérables à la NHI (le saumon quinnat et le saumon kéta) a également été prise en compte et est indiquée dans le Tableau 1.

#### *Évaluation de l'infection*

L'évaluation de l'infection déterminait la probabilité que des poissons sauvages vulnérables soient exposés au VNHI à une dose et pendant une durée suffisantes pour provoquer l'infection et la maladie. L'évaluation de l'infection supposait que des poissons vulnérables avaient été exposés au VNHI disséminé à partir d'une ferme.

La pression potentielle maximale d'infection dans les parcs à filet de saumons atlantiques lors d'une épidémie de NHI a été estimée au moyen d'un modèle épidémiologique comportemental de type Vulnérabilité, Exposition, Infection, Rétablissement (se reporter à Mimeault et al. (2017) pour en savoir plus). La simulation supposait que tous les saumons atlantiques d'élevage étaient vaccinés contre le VNHI, et que le vaccin avait une efficacité de 95 %. Les résultats laissent entendre qu'il n'y aurait pas de la propagation de l'infection au sein des fermes dans ces conditions. Par conséquent, aucune épidémie de NHI n'est attendue dans les fermes dont les saumons atlantiques sont vaccinés contre la NHI avec un vaccin de 95 % d'efficacité. Le nombre maximal de saumons atlantiques infectés devrait donc être le même que le nombre de saumons infectés au départ.

En s'appuyant sur les pratiques actuelles de gestion de la santé des poissons et sur les taux d'excrétion du VNHI estimés en laboratoire pour le saumon atlantique ( $3,2 \times 10^7$  UFP par poisson et par heure) (Garver et al., 2013), la concentration maximale du VNHI dans les parcs en filet a été estimée à  $1,4 \times 10^4$  UFP/m<sup>3</sup>, soit un taux environ 7 000 fois inférieur à la dose létale minimale d'une heure, qui est de  $10^8$  à  $10^9$  UFP/m<sup>3</sup> pour le saumon rouge juvénile. Se reporter à Mimeault et al. (2017) pour en savoir plus sur ces estimations des concentrations du VNHI.

La concentration maximale du VNHI dans les eaux autour des fermes de saumon atlantique des îles Discovery pendant une épidémie de NHI en avril et en juillet a été simulée en combinant le FVCOM à un modèle de dispersion, d'inactivation et de réinfection du VNHI qui tient compte de la dispersion et de la dégénérescence du virus (Foreman et al., 2015a). Si toutes les fermes de saumon atlantique en activité disséminaient simultanément des particules virales (Figure 8), le modèle estime que la concentration maximale du VNHI dans les panaches disséminé à partir des fermes serait de  $8,7 \times 10^2$  UFP/m<sup>3</sup>, soit un chiffre environ 100 000 fois inférieur à la dose létale minimale d'une heure de  $10^8$  à  $10^9$  UFP/m<sup>3</sup> pour le saumon rouge juvénile.



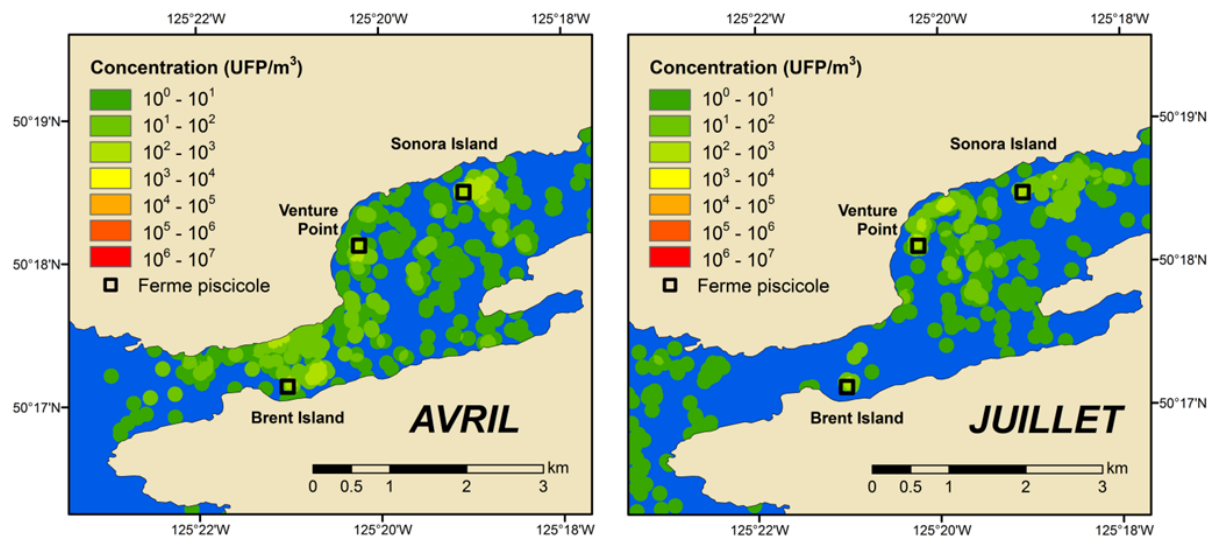


Figure 8. Répartition et concentration maximales modélisées des particules de VNHI disséminées après une excrétion continue de plus de 300 heures à partir des fermes de saumon atlantique infectées en avril (gauche) et en juillet (droite), avec en ligne de mire trois fermes du chenal Okisollo. Le modèle suppose que tous les saumons atlantiques sont vaccinés avec un produit efficace à 95 %. Toutes les concentrations modélisées (5 m supérieurs) sont inférieures à  $10^3$  UFP/m<sup>3</sup>.

Il a donc été conclu avec un degré d'**incertitude raisonnable** que la probabilité que les saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser soient exposés au VNHI disséminé par les fermes de saumon atlantique à une dose suffisante et pendant une période suffisante pour causer l'infection et la maladie était **extrêmement faible**, aussi bien dans les parcs en filet que dans les panaches de dispersion virale.

La probabilité que les saumons rouges adultes du fleuve Fraser, qui sont moins vulnérables au VNHI que les saumons rouges juvéniles et que d'autres espèces de poissons vulnérables à la NHI (le saumon quinnat et le saumon kéta), soient infectées et tombent malades a été évaluée et est résumée dans le tableau 1.

#### Probabilité globale

La probabilité globale que les saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser soient infectés et deviennent malades à cause du VNHI disséminé par les fermes de saumon atlantique des îles Discovery dépendait des probabilités séquentielles de la maladie, de la dissémination, de l'exposition et de l'infection. Elle a donc été déterminée comme **extrêmement faible** avec un degré d'**incertitude raisonnable**. Le manque de connaissance de la durée de séjour précise des saumons rouges juvéniles et de leur présence à proximité des fermes de saumon atlantique, ainsi que des effets de l'exposition au virus à des concentrations plus faibles que la dose létale minimale a contribué à l'attribution de ce degré d'incertitude à l'évaluation globale de la probabilité.

L'évaluation du risque a également pris en compte les spécimens adultes de saumons rouges du fleuve Fraser et d'autres espèces de poissons vulnérables à la NHI (saumons quinnat et kéta). La probabilité qu'ils soient infectés et deviennent malades à cause du VNHI disséminé par les fermes de saumon atlantique des îles Discovery a été déterminée séparément : elle est considérée comme **extrêmement faible** avec un degré de **certitude raisonnable**.

Le Tableau 1 est un résumé des probabilités et des incertitudes estimées de chaque étape de l'évaluation de la probabilité. La probabilité globale que les populations de poissons sauvages soient infectées et deviennent malades en raison du VNHI disséminé par les fermes de saumon atlantique des îles Discovery a été déterminée comme **extrêmement faible** avec un degré de **incertitude raisonnable**. Se reporter à Mimeault et al. (2017) pour en savoir plus sur l'association des cotes de probabilité.

Tableau 1. Résumé des estimations de probabilité et d'incertitude pour chaque étape de l'évaluation de la probabilité. Les estimations sont indiquées dans les cellules blanches et les résultats combinés de probabilité sont indiqués dans les cellules grises. Les probabilités combinées et la probabilité globale ont été déterminées à l'aide de méthodes approuvées d'évaluation quantitative du risque. La valeur la plus basse a été utilisée pour les événements dépendants et la valeur la plus élevée a été utilisée pour les événements indépendants.

Évaluation de la maladie	Probabilité de maladie	Très faible <i>Certitude raisonnable</i>					
Évaluation de la dissémination	Voies de dissémination	Saumon atlantique d'élevage		Vecteurs mécaniques		Vecteurs passifs	
	Probabilité de dissémination	Extrêmement haute <i>Certitude élevée</i>		Très faible <i>Certitude élevée</i>		Très faible <i>Certitude élevée</i>	
	Probabilité combinée de dissémination	Extrêmement haute <i>Certitude élevée</i>					
Évaluations de l'exposition et de l'infection	Groupe d'exposition	Saumon rouge juvénile du fleuve Fraser		Saumon rouge adulte du fleuve Fraser		Autres poissons vulnérables à la NHI	
	Voie d'exposition	Dans les parcs en filets	Dans les panaches	Dans les parcs en filets	Dans les panaches	Dans les parcs en filets	Dans les panaches
	Probabilité d'exposition	Probable <i>Incertitude raisonnable</i>	Très probable <i>Certitude raisonnable</i>	Extrêmement faible <i>Certitude raisonnable</i>	Très probable <i>Certitude raisonnable</i>	Probable <i>Certitude raisonnable</i>	Très probable <i>Certitude raisonnable</i>
	Probabilité d'infection	Extrêmement faible <i>Incertitude raisonnable</i>	Extrêmement faible <i>Incertitude raisonnable</i>	Extrêmement faible <i>Certitude raisonnable</i>	Extrêmement faible <i>Certitude raisonnable</i>	Extrêmement faible <i>Certitude raisonnable</i>	Extrêmement faible <i>Certitude raisonnable</i>
Probabilités combinées pour chaque voie d'exposition dans un groupe d'exposition donné		Extrêmement faible <i>Incertitude raisonnable</i>	Extrêmement faible <i>Incertitude raisonnable</i>	Extrêmement faible <i>Certitude raisonnable</i>	Extrêmement faible <i>Certitude raisonnable</i>	Extrêmement faible <i>Certitude raisonnable</i>	Extrêmement faible <i>Certitude raisonnable</i>
Probabilités combinées pour chaque groupe d'exposition		Extrêmement faible <i>Incertitude raisonnable</i>		Extrêmement faible <i>Certitude raisonnable</i>		Extrêmement faible <i>Certitude raisonnable</i>	
Probabilité globale de maladie, de dissémination, d'exposition et d'infection		Extrêmement faible <i>Incertitude raisonnable</i>					

### Évaluation des conséquences

L'évaluation des conséquences déterminait l'ampleur potentielle des répercussions du VNHI disséminé par les fermes de saumon atlantique sur l'abondance et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser, en supposant que les populations de poissons sauvages avaient été

exposées au VNHI. Les répercussions potentielles de l'exposition du saumon rouge juvénile du fleuve Fraser, du saumon rouge adulte du fleuve Fraser et d'autres espèces vulnérables à la NHI (saumon quinnat et saumon kéta) ont été examinées séparément.

Étant donné qu'il s'agit du groupe d'exposition le plus vulnérable à la NHI, il a été conclu que le saumon rouge juvénile du fleuve Fraser était le seul groupe d'exposition susceptible d'avoir un impact sur l'abondance et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser en cas d'infection au VNHI attribuable aux fermes de saumon atlantique.

Aucun événement de mortalité naturelle due à la NHI n'a été observé dans le milieu marin, ni aux stades biologiques adultes du saumon rouge. Des postsaumoneaux rouges ont été exposés au virus en laboratoire : le taux de mortalité observé se situe entre 0 et 12,5 % (Traxler et al., 1993; Long et al., 2017). Cependant, on estime que le taux de mortalité des saumoneaux dû aux épizooties naturelles de HNI en eau douce reflète plus fidèlement les conditions sur le terrain que les essais en laboratoire.

Des épizooties de NHI ont touché des saumoneaux rouges de un an et demi en Alaska deux années consécutives, en 1980 et 1981. Le taux de mortalité estimatif fondé sur les poissons moribonds et morts observés variait entre 2,5 et 8,0 % (Burke and Grischkowsky, 1984) dans la dernière proportion de saumoneaux en dévalaison. Ces mortalités déclarées ont été utilisées comme données de substitution pour estimer le taux de mortalité des saumons rouges juvéniles attribuable à l'exposition à la NHI dans l'eau de mer.

#### *Abondance*

Les catégories des conséquences potentielles sur l'abondance des saumons rouges adultes du fleuve Fraser en montaison ont été déterminées avant d'effectuer l'évaluation du risque. Les catégories vont de négligeables (jusqu'à une diminution de 1 %) à extrêmes (plus de 50 % de diminution). En utilisant les taux de mortalité de substitution dus à l'épidémie chez les saumoneaux en dévalaison (2,5 à 8 %) comme facteur de diminution potentielle de la population lié à l'infection au VNHI et à la maladie attribuables aux fermes de saumon atlantique, il a été conclu avec un degré d'**incertitude élevée** que l'ampleur des répercussions potentielles sur l'abondance du saumon rouge du fleuve Fraser découlant de l'infection au VNHI attribuable aux fermes de saumon atlantique serait **modérée** (entre 5 et 10 % de diminution du nombre de saumons rouges adultes du fleuve Fraser en montaison). Le manque d'information concernant les effets sur la population d'une exposition à la NHI dans l'eau de mer explique le degré d'incertitude élevé de cette évaluation.

#### *Diversité*

Les conséquences pour la diversité ont été évaluées en se fondant sur la diminution prévue de l'abondance des unités de conservation et en se demandant si la diminution des stocks cycliques et non cycliques entraînerait ou non la perte d'une unité de conservation. Étant donné que la mortalité due à la NHI est estimée entre 2,5 et 8 % dans l'eau de mer, cette diminution de l'abondance au cours d'une année donnée serait compensée au cours des années suivantes pour les stocks cycliques et non cycliques de saumon rouge du fleuve Fraser. Par conséquent, il a été conclu avec une **incertitude élevée** que l'ampleur des répercussions potentielles sur la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser dues à l'infection au VNHI attribuable aux fermes de saumon atlantique serait **modérée** (c.-à-d. diminution modérée de l'abondance de certaines unités de conservation qui n'entraînerait pas la disparition d'une unité de conservation de saumon rouge du fleuve Fraser). Le manque d'information concernant les effets sur la

population d'une exposition à la NHI dans l'eau de mer explique le degré d'incertitude élevé de cette évaluation.

### Estimation du risque

Les risques estimatifs qui pèsent sur l'abondance et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser sont fondés sur les résultats des évaluations de la probabilité et des conséquences et sur des matrices de risques prédéterminées (Figure 9 et Figure 10).

Compte tenu des pratiques actuelles de gestion de la santé des poissons, le risque qui pèse sur l'abondance et la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser en raison de l'infection au VNHI attribuable aux fermes de saumon atlantique des îles Discovery a été déterminé comme **minime**.

Probabilité	Extrêmement haute						
	Très probable						
	Probable						
	Faible						
	Très faible						
	Extrêmement faible			X			
		Négligeable	Faible	Modérée	Élevée	Grave	Extrême
Conséquences sur l'abondance du saumon rouge du fleuve Fraser							

Figure 9. Matrice de risques combinant les résultats des évaluations d'abondance du saumon rouge du fleuve Fraser en matière de probabilité et de conséquences. Le vert, le jaune et le rouge représentent respectivement un risque minime, modéré et élevé. Le X indique le risque résultant de l'analyse.

Probabilité	Extrêmement haute						
	Très probable						
	Probable						
	Faible						
	Très faible						
	Extrêmement faible			X			
		Négligeable	Faible	Modérée	Élevée	Grave	Extrême
Conséquences sur la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser							

Figure 10. Matrice de risques combinant les résultats des évaluations de la diversité du saumon rouge du fleuve Fraser en matière de probabilité et de conséquences. Le vert, le jaune et le rouge représentent respectivement des risques minimes, modérés et élevés. Le X indique le risque résultant de l'analyse.

### Sources d'incertitude

Des incertitudes demeurent quant aux évaluations de la probabilité et des conséquences. L'incertitude totale comprend à la fois la variabilité, qui est une fonction du système et n'est pas réductible par d'autres mesures, et le manque de connaissance et qui peut être réduit par la collecte de données supplémentaires ou d'avis d'experts (Vose, 2008).

#### Incertitudes de l'évaluation de la probabilité

Les incertitudes liées aux cotes de l'évaluation de la probabilité étaient généralement plus basses aux premières étapes (c.-à-d. degré de certitude élevé) et plus élevées aux dernières étapes (c.-à-d. incertitude raisonnable).

Le degré de certitude raisonnable associé à l'évaluation de la maladie découle : des faibles niveaux de lacunes opérationnelles qui pourraient avoir une incidence sur la santé des poissons des fermes de saumon atlantique des îles Discovery; de l'adoption et de la mise en œuvre du plan de gestion virale par toutes les entreprises exerçant leur activité dans les îles Discovery; de la certification BAP de toutes les fermes de saumon atlantique des îles Discovery, qui garantit que la vaccination contre le VNHI est bien effectuée. Cependant, la nature volontaire de certaines des pratiques principales de gestion de la santé des poissons a empêché l'attribution d'un degré de certitude élevé à l'évaluation de la maladie.

Le degré de certitude élevé associé à l'évaluation de la dissémination découle des données disponibles examinées par les pairs et publiées sur l'excrétion du VNHI par le saumon atlantique malade.

L'incertitude raisonnable liée à l'exposition des saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser dans les parcs en filet découle du manque de connaissance de la durée de séjour précise des saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser dans les îles Discovery et de leur présence autour des fermes de saumon atlantique.

L'incertitude raisonnable liée à l'infection des saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser découle de la nécessité de modéliser la pression de l'infection estimée et du manque de connaissance des répercussions de l'exposition au VNHI dans l'eau à des concentrations inférieures à la dose létale minimale.

### **Incertitudes de l'évaluation des conséquences**

Les incertitudes élevées des évaluations des conséquences sur l'abondance et la diversité découlent : de l'absence de données sur la mortalité causée par la NHI chez le saumon rouge sauvage exposé au VNHI dans l'eau de mer; de la grande dépendance envers des données et des renseignements indirects; du manque de connaissance sur les effets sublétaux et cumulatifs de l'exposition au virus; et de la complexité intrinsèque et de la grande variabilité de la survie du saumon rouge en milieu marin. Il existe d'autres incertitudes liées à la variabilité de l'environnement naturel, notamment le changement climatique, qui a incidence sur la survie du virus dans l'eau de mer et l'aire de répartition, les habitudes migratoires du saumon, la saison, etc.

## **CONCLUSIONS**

### **Conditions océanographiques et environnementales des îles Discovery**

Les îles Discovery sont un réseau complexe d'îles, de chenaux étroits et de fjords profonds avec des propriétés hydriques qui diffèrent considérablement en fonction de la saison, du lieu et de la profondeur. Les conditions océanographiques dans cette région varient en fonction de la saison et du lieu. La plage de températures moyennes mensuelles varie entre 6 et 14 °C (mesures minimale et maximale enregistrées de 3 et 24 °C), la plage de salinité moyenne mensuelle varie entre 23 et 31 (mesures minimale et maximale de 2 et de 32) et les niveaux moyens mensuels d'oxygène dissous varient entre 170 et 340 mmol/m<sup>3</sup> (mesures minimale et maximale de 50 et 550 mmol/m<sup>3</sup>). Les rayons ultraviolets varient selon la saison et sont réduits en périodes de nébulosité et la nuit. Les mesures indiquent que l'intensité des rayons ultraviolets s'affaiblit de façon exponentielle en profondeur, à moins d'un pour cent de sa valeur de surface dans un rayon de 10 m.

Les courants fluviaux dans les îles Discovery sont composés de trois facteurs, chacun comportant différentes échelles de temps : les courants de marée, les courants de flottabilité et les courants éoliens. Les courants de marée ont une incidence sur : les courants fluviaux horaires ou quotidiens, étant donné que les mouvements de flux et de reflux viennent de directions différentes et ont parfois des vitesses différentes; les courants de flottabilité, qui sont principalement dus à l'apport en eau douce; et les courants éoliens, dont la tension joue directement sur la vitesse de l'eau de surface qui, à son tour, descend plus bas dans la colonne d'eau par effet de brassage et de viscosité. Bien que les courants de marée déplacent habituellement les particules dans un mouvement de va-et-vient avec peu de transport net, dans les régions comme le passage Discovery où ces courants sont beaucoup plus forts que les autres facteurs, le mouvement pendant les phases de flux ou le reflux peut entraîner un transport net vers différentes régions, comme le Nord du détroit de Georgie. Toutefois, dans la plupart des régions, les principaux facteurs de courant qui déplacent les agents pathogènes et d'autres matières particulaires sur des distances importantes sont la flottabilité et les courants éoliens. L'ampleur de ces courants et la distance sur laquelle ils déplacent les particules varient sur le plan spatial et le plan temporel.

Des modèles hydrodynamiques et de suivi de particules ont été élaborés respectivement pour simuler la circulation dans la région des îles Discovery et simuler la dispersion des particules provenant des exploitations aquacoles. La précision du modèle FVCOM a été évaluée en fonction des observations disponibles et les résultats du modèle de suivi des particules ont été utilisés pour estimer l'inactivation et la dispersion des agents pathogènes à partir des fermes de saumon atlantique. Le temps nécessaire à la dispersion des particules passives varie selon la saison, en fonction des champs de forçage connexes.

### **Pratiques en matière de gestion de la santé du saumon atlantique d'élevage en Colombie-Britannique**

Les pratiques actuelles de gestion de la santé des saumons atlantiques d'élevage comprennent à la fois les exigences réglementaires et les pratiques volontaires, ainsi que de la surveillance par l'organisme de réglementation. En outre, toutes les fermes de saumon atlantique situées dans les îles Discovery ont reçu la certification de pratiques exemplaires d'aquaculture (BAP).

Trois entreprises d'élevage de saumon atlantique exploitent des fermes marines dans la région des îles Discovery : Cermaq Canada, Grieg Seafood et Marine Harvest Canada. Conformément au *Règlement du Pacifique sur l'aquaculture*, à titre de condition de permis, chaque entreprise dispose d'un Plan de gestion de la santé des salmonidés et de procédures opérationnelles normalisées (PON) exclusives et connexes. Ces PON et d'autres conditions de permis fournissent des preuves des mesures de biosécurité en place pour atténuer les cas de maladie et réduire au minimum la propagation d'agents pathogènes à l'intérieur et à l'extérieur d'une ferme au besoin. Le respect de ces pratiques est vérifié par Pêches et Océans Canada dans le cadre des conditions de permis.

Dans le cadre du Programme de vérification du MPO, des échantillons de tissus sont prélevés pour le dépistage de routine des agents pathogènes à des laboratoires agréés. Ces résultats sont comparés aux exigences obligatoires en matière de rapports produits par chaque entreprise en vertu des conditions de son permis. De plus, les entreprises surveillent la santé de leurs poissons en recueillant et en analysant des renseignements syndromiques, et prélèvent des échantillons pour le dépistage des agents pathogènes. L'augmentation de la mortalité doit être signalée au MPO à titre de condition de permis, et les suspicions ou la détection de maladies à déclaration obligatoire doivent être signalées au MPO et à l'ACIA.

La vaccination des saumons atlantiques n'est pas une exigence de permis; toutefois, toutes les entreprises vaccinent volontairement leurs poissons contre de nombreux agents pathogènes, y compris le VNHI. L'entente concernant la vaccination des poissons et l'effort coordonné en vue d'atténuer les maladies et d'intervenir en cas d'épidémie est officialisée dans un protocole d'entente appelé Plan de gestion virale de l'industrie salomonicole. L'utilisation de vaccins était mentionnée dans la première version du plan de gestion virale ratifiée en 2011, laquelle indiquait que des vaccins devaient être utilisés dans les aires communes. Depuis 2015, le vaccin contre le VNHI est utilisé par l'ensemble des entreprises sur tous les saumoneaux avant leur entrée dans l'eau de mer. La vaccination contre le VNHI est également une exigence des pratiques exemplaires d'aquaculture (BAP).

### **Caractérisation du virus de la nécrose hématopoïétique infectieuse**

Le VNHI est endémique en Colombie-Britannique, où il a été détecté aux stades biologiques en eau douce et en milieu marin du saumon rouge sauvage, ainsi que chez le saumon atlantique d'élevage en milieu marin. Les postsaumoneaux atlantiques sont entre 10 et 100 fois plus sensibles à la NHI que le saumon rouge indigène au même stade biologique. Tandis que le saumon atlantique reste très vulnérable au VNHI, le saumon rouge devient résistant à la NHI à mesure qu'il grandit.

Un saumon atlantique atteint de NHI à un stade aigu peut excréter le virus, avec un pic d'excrétion un ou deux jours avant la mort de l'animal. Une fois le VNHI excrété dans le milieu marin, son infectiosité diminue : il est en effet inactivé par l'exposition au soleil et les biotes naturels présents dans l'eau de mer. Par conséquent, la durée de vie pendant laquelle le VNHI peut infecter un autre hôte est limitée.

Le vaccin APEX-IHN<sup>MD</sup> est très efficace et réduit la charge infectieuse ainsi que la possibilité de transmission du VNHI. Depuis l'homologation du vaccin APEX-IHN<sup>MD</sup>, le VNHI n'a été détecté chez aucun spécimen de saumon atlantique d'élevage vacciné.

### **Caractéristiques, biologie et écologie des stocks de saumon rouge du fleuve Fraser**

La plupart des saumoneaux rouges juvéniles quittent le fleuve Fraser entre la mi-avril et la fin du mois de mai, avec un pic au début du mois de mai. Des saumons rouges du fleuve Fraser de type lac ont été trouvés dans le détroit de Georgie jusqu'au mois d'août. Ils ont tendance à quitter le détroit de Georgie par la route Nord, en passant par les îles Discovery. Le temps moyen dont les saumons rouges juvéniles de type lac ont besoin pour migrer par le détroit de Georgie a été estimé à entre 20 et 59 jours. Au cours des dernières années, des saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser ont été capturés dans 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. La durée de séjour des saumons rouges juvéniles du fleuve Fraser dans les îles Discovery est estimée à entre 5 et 14 jours.

Les saumoneaux rouges de la rivière Harrison de type rivière quittent le fleuve Fraser entre le début du mois de juin et la fin juillet, avec un pic à la mi-juillet. Le saumon rouge juvénile de la rivière Harrison migre hors du détroit de Georgie à la fin de l'automne et au début de l'hiver, soit par le Nord, soit par le Sud. Il n'existe aucune estimation de la durée de séjour des saumons rouges juvéniles de la rivière Harrison dans les îles Discovery.

Les saumons rouges adultes retournent dans le fleuve Fraser, tant par le Nord que par le Sud. La proportion de saumons qui est passée par le détroit de Johnstone au cours des dernières



années s'élève à 52 % en moyenne. Les données en cours de saison issues des pêches d'essai indiquent que le saumon rouge est présent dans les îles Discovery au moins depuis la mi-juillet et jusqu'à début septembre. Des rétrocalculs fondés sur la vitesse de nage et les dates d'arrivée à Mission estiment que des saumons rouges adultes pourraient se trouver dans les îles Discovery de fin juin à début octobre, en supposant qu'ils ne séjournent pas dans le détroit de Georgie. En fonction de ces mêmes estimations, le saumon rouge du fleuve Fraser pourrait passer environ trois jours de nage dans les îles Discovery.

L'abondance des montaisons du saumon rouge adulte du fleuve Fraser est très variable et a oscillé entre 2 et 28 millions entre 1980 et 2014. Pour la plupart des stocks de saumon rouge du fleuve Fraser, aucune donnée relative à la survie en milieu marin n'est disponible; cependant, un ensemble de données à long terme de 1951 à 2013 est disponible pour le saumon rouge du lac Chilko : son taux moyen de survie en milieu marin, de la décharge du lac Chilko à la montaison des adultes, est de 6,9 %, bien que, plus récemment, ce taux soit tombé à 4,3 % (entre 1992 et 2013).

### **Évaluation du risque de transfert du virus de la nécrose hématopoïétique infectieuse**

L'évaluation a permis de conclure que le VNHI attribuable aux fermes 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 dans le cadre des pratiques actuelles de gestion de la santé des poissons.

Il existe deux principaux facteurs à l'origine du faible niveau de risque. Premièrement, des épidémies de NHI dans les fermes de saumon atlantique des îles Discovery sont très peu susceptibles de se produire (certitude raisonnable), compte tenu des pratiques actuelles de gestion de la santé mises en œuvre par les entreprises salmiconiques, notamment la vaccination efficace contre la NHI. Deuxièmement, même en supposant que l'exposition au virus ait lieu, il y a peu de poissons vulnérables sur les fermes de saumon atlantique en raison du recours à la vaccination. En outre, les mesures de biosécurité établies, la surveillance continue de la santé des poissons dans les fermes et les protocoles d'intervention en cas de maladie, y compris l'abattage sanitaire, contribuent à limiter les possibilités de dissémination et de propagation du VNHI à partir des fermes de saumon atlantique. Il est donc estimé que les concentrations maximales du VNHI dans l'eau des fermes infectées et autour des fermes demeurent inférieures à la dose létale minimale pour les saumons rouges juvéniles. Par conséquent, la probabilité que le saumon rouge juvénile (le groupe d'exposition le plus vulnérable) soit être infecté, puis malade est extrêmement faible (incertitude raisonnable).

Il existe plusieurs sources d'incertitude, dues à la fois à la variabilité intrinsèque et au manque de connaissance, associées à la détermination du risque pour le saumon rouge du fleuve Fraser posés par le transfert du VNHI à partir des fermes de saumon atlantique dans les îles Discovery. Les principales incertitudes concernent : la durée de séjour des espèces vulnérables à proximité des fermes de saumon atlantique et dans ces fermes dans les îles Discovery; les concentrations aqueuses du VNHI pendant une épidémie de NHI; les effets sublétaux de l'exposition au virus à des concentrations plus faibles que la dose létale minimale; les répercussions de l'exposition des juvéniles et des adultes au virus dans l'eau de mer; la complexité de la survie en milieu marin; les effets cumulatifs potentiels. Dans l'ensemble, le plus haut niveau d'incertitude concernait l'ampleur des conséquences pour le saumon rouge du fleuve Fraser.

## AUTRES CONSIDÉRATIONS

Les impacts à long terme de l'évolution des conditions climatiques sur le virus, le saumon d'élevage et le saumon sauvage devront être mieux compris et faire l'objet d'une étude plus approfondie.

## SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

Le présent avis scientifique découle de l'examen par les pairs national du 5 au 8 décembre 2016 concernant l'évaluation du risque pour le saumon rouge du fleuve Fraser que représente le transfert du virus de la nécrose hématopoïétique infectieuse à partir des fermes de saumon atlantique situées dans les îles Discovery (Colombie-Britannique). Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, dans le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada](#).

Beamish, R. J., Neville, C. M., Sweeting, R. M., Beacham, T. D., Wade, J. and Li, L. 2016. Early ocean life history of Harrison River sockeye salmon and their contribution to the biodiversity of sockeye salmon in the Fraser River, British Columbia, Canada. *Trans. Am. Fish. Soc.* 145(2): 348-362.

Bootland, L. M. and Leong, J.-A. C. 1999. Infectious haematopoietic necrosis virus. *In Fish Diseases and Disorders*. Woo, P. T. K. and Bruno, D. W. (eds.). 2nd ed. CAB International. 3: pp 57-121.

Burke, J. and Grischkowsky, R. 1984. An epizootic caused by infectious haematopoietic necrosis virus in an enhanced population of sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka* (Walbaum), smolts at Hidden Creek, Alaska. *J. Fish Dis.* 7(5): 421-429.

Chandler, P., Foreman, M., Ouellet, M., Mimeault, C. and Wade, J. 2017. Oceanographic and environmental conditions in the Discovery Islands, British Columbia. DFO Can. Sec. Res. Doc. 2017/071. viii + 51 p.

Cohen, B. I. 2012. Recommendations, summary, process. The Uncertain Future of Fraser River Sockeye. Vol. 3. Minister of Public Works and Government Services Canada, Publishing and Depository Services, Public Works and Government Services Canada, Ottawa, ON K1A 0S5. 211 p.

Dixon, P., Paley, R., Alegria-Moran, R. and Oidtmann, B. 2016. Epidemiological characteristics of infectious hematopoietic necrosis virus (IHNV): a review. *Vet. Res.* 47: 63.

Foreman, M., Guo, M., Garver, K. A., Stucchi, D., Chandler, P., Wan, D., Morrison, J. and Tuele, D. 2015a. Modelling infectious hematopoietic necrosis virus dispersion from marine salmon farms in the Discovery Islands, British Columbia, Canada. *PLoS One* 10(6): e0130951.

Foreman, M. G. G., Chandler, P. C., Stucchi, D. J., Garver, K. A., Guo, M., Morrison, J. and Tuele, D. 2015b. The ability of hydrodynamic models to inform decisions on the siting and management of aquaculture facilities in British Columbia. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2015/005. vii + 49 p.

Foreman, M. G. G., Stucchi, D. J., Garver, K. A., Tuele, D., Isaac, J., Grime, T., Guo, M. and Morrison, J. 2012. A circulation model for the Discovery Islands, British Columbia. *Atmos. Ocean.* 50(3): 301-316.

- Garver, K. A., Mahony, A. A. M., Stucchi, D., Richard, J., Van Woensel, C. and Foreman, M. 2013. Estimation of parameters influencing waterborne transmission of infectious hematopoietic necrosis virus (IHNV) in Atlantic salmon (*Salmo salar*). PLoS One 8(12): e82296.
- Garver, K. A. and Wade, J. 2017. Characterization of Infectious Hematopoietic Necrosis Virus (IHNV). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/073. vi + 32 p.
- GESAMP. 2008. Assessment and communication of environmental risks in coastal aquaculture. Rome, FAO. Reports and Studies GESAMP. Vol. 76. 198 p.
- Grant, S. C. H., Holt, C., Wade, J., Mimeault, C., Burgetz, I. J., Johnson, S. and Trudel, M. in review. 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.
- ISO. 2009. Risk management - Risk assessment techniques. International Standard. IEC/FDIS 31010. 90 p.
- Lin, Y., Jiang, J., Fissel, D. B., Foreman, M. G. and Willis, P. G. 2011. Application of finite-volume coastal ocean model in studying strong tidal currents in Discovery Passage, British Columbia, Canada. Estuar. Coast. Model. 1: 99-117.
- Long, A., Richard, J., Hawley, L., LaPatra, S. E. and Garver, K. A. 2017. Transmission potential of infectious hematopoietic necrosis virus in APEX-IHN® vaccinated Atlantic salmon. Dis. Aquat. Org. 122: 213-221.
- 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. 2005. La politique du Canada pour la conservation du saumon sauvage du Pacifique. Pêches et Océans Canada. 49 p.
- MPO. 2010. Avis scientifique sur les séquences d'effets liés à l'aquaculture des poissons, des mollusques et des crustacés. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2009/071. 26 p.
- Müller, A., Sutherland, B. J. G., Koop, B. F., Johnson, S. C. and Garver, K. A. 2015. Infectious hematopoietic necrosis virus (IHNV) persistence in sockeye salmon: effect on brain transcriptome and response to the viral mimic poly(I:C). BMC Genomics 2015 16(634): 1-19.
- 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.
- Saksida, S. M. 2006. Infectious haematopoietic necrosis epidemic (2001 to 2003) in farmed Atlantic salmon *Salmo salar* in British Columbia. Dis. Aquat. Org. 72: 213-223.
- Salonius, K., Simard, N., Harland, R. and Ulmer, J. B. 2007. The road to licensure of a DNA vaccine. Curr. Opin. Investig. D. 8(8): 635-641.

- St-Hilaire, S., Ribble, C. S., Stephen, C., Anderson, E., Kurath, G. and Kent, M. L. 2002. Epidemiological investigation of infectious hematopoietic necrosis virus in salt water net-pen reared Atlantic salmon in British Columbia, Canada. *Aquaculture* 212: 49-67.
- Thomson, R. E. 1981. Oceanography of the British Columbia coast. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 56: 291 p.
- Traxler, G. S., Roome, J. R. and Kent, M. L. 1993. Transmission of infectious hematopoietic necrosis virus in seawater. *Dis. Aquat. Org.* 16: 111-114.
- 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 + 58 p.

**CE RAPPORT EST DISPONIBLE AUPRÈS DU :**

Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)  
Région de la capitale nationale  
Pêches et Océans Canada  
200, rue Kent  
Ottawa (Ontario) K1A 0E6  
Téléphone : 613-990-0293  
Courriel : [csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca](mailto:csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca)  
Adresse Internet : [www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/](http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/)

ISSN 1919-5117

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2017



La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2017. Avis tiré de l'évaluation du risque pour le saumon rouge du fleuve Fraser que représente le transfert du virus de la nécrose hématopoïétique infectieuse à partir des fermes de saumon atlantique situées dans la région des îles Discovery (Colombie-Britannique). *Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci.* 2017/048.

*Also available in English:*

DFO. 2017. *Advice from the 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 area, British Columbia. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep.* 2017/048.