



FÉDÉRATION CANADIAN
CANADIENNE WILDLIFE
DE LA FAUNE FEDERATION

Federationcanadiennedelafaune.ca

Le présent rapport a pour but d'énoncer clairement la position de la Fédération canadienne de la faune relativement à la pisciculture. Il montre également que la position de la FCF contre la pisciculture en circuit ouvert s'inspire de recherches approfondies mettant à contribution les connaissances les plus récentes et fiables qui soient disponibles. À ce titre, le rapport est un document évolutif. La FCF mettra à jour la bibliographie à mesure que de nouvelles recherches sont réalisées, et elle l'utilisera pour éclairer sa position et ses messages à ce sujet.

La première partie du rapport formule la position de la FCF et contient des informations importantes sur la pisciculture et les effets de cette activité sur la faune. La deuxième partie consiste en une bibliographie annotée donnant une brève description des recherches scientifiques qui sont menées au sujet de l'impact de la pisciculture sur la faune. On y trouvera également des renvois à des ressources scientifiques primaires afin que les lecteurs puissent s'enquérir eux-mêmes du contenu des études qui ont été menées.

J'espère que vous trouverez ce rapport instructif.

Sean Brilliant
Gestionnaire des programmes maritimes
Fédération canadienne de la faune



AQUACULTURE

Introduction



THINKSTOCK

AQUACULTURE

Introduction

Q Qu'est-ce que l'aquaculture?

R L'aquaculture consiste en l'élevage d'organismes aquatiques tels les poissons, crustacés, mollusques et plantes aquatiques. Contrairement à la pêche commerciale, qui vise les poissons sauvages, l'aquaculture concerne l'élevage d'espèces d'eau douce et d'eau salée dans des conditions contrôlées.

Il existe différents types d'aquaculture, mais les deux que ce rapport mettra en évidence sont :

- la pisciculture en circuit fermé (PCF);
- la pisciculture en circuit ouvert (PCO).

Q Qu'est-ce que la pisciculture en circuit fermé (PCF)?

R La pisciculture en circuit fermé (PCF) consiste en l'élevage des poissons dans un système de confinement qui forme une barrière entre les exploitations et l'environnement naturel.

Il existe plusieurs défis à relever pour que la PCF devienne une technique viable :

- Il existe des coûts d'exploitation supplémentaires et des besoins accrus en combustibles fossiles.
- Les espèces doivent avoir des traits différents (domestication) de ceux actuellement utilisés.
- Il faut mettre au point des traitements influents-effluents.
- Les coûts d'investissement sont importants.

Bien qu'il existe des exploitations de PCF en cours de développement, c'est actuellement considéré comme un secteur expérimental en attendant que les défis ci-dessus soient abordés. Pour le moment, une évaluation approfondie de la PCF a été réalisée par Chadwick et al. en 2010 et la Fédération du saumon atlantique investit dans la recherche pour mettre ce secteur en valeur.



→ La position de la Fédération canadienne de la faune sur la pisciculture en circuit fermé et en circuit ouvert

La FCF appuie la recherche sur les technologies de la PCF et encourage le développement de cette méthode.

AQUACULTURE

Introduction



THINKSTOCK

Q Qu'est-ce que la pisciculture en circuit ouvert?

R La pisciculture en circuit ouvert (PCO) est l'élevage d'espèces de poissons d'eau salée ou d'eau douce dans des enclos ou des cages qui sont ouverts à l'environnement naturel.

→ La position de la Fédération canadienne de la faune sur la pisciculture en circuit ouvert

La pisciculture en circuit ouvert altère d'importants habitats aquatiques et affecte considérablement les populations indigènes de saumon sauvage et d'autres espèces sauvages. Ces effets peuvent mettre en danger la survie des espèces de saumon du Pacifique et de l'Atlantique. En raison de son impact significatif sur la faune, la Fédération souhaite voir la pratique de la PCO au Canada disparaître progressivement au cours des dix prochaines années, et ce, en dépit de ses importantes retombées économiques. En attendant, la FCF croit qu'il est impératif de ne plus ouvrir d'exploitations de PCO au Canada.



AQUACULTURE

Effets de la pisciculture en circuit ouvert sur la faune

AQUACULTURE

Effets de la pisciculture en circuit ouvert sur la faune

→ Interactions écologiques



Interactions écologiques

Les exploitations de PCO attirent les prédateurs comme les phoques et les oiseaux, ce qui modifie leur comportement naturel en les exposant au risque de se blesser dans des filets ou des engins.

L'utilisation durable des ressources sauvages

La salmoniculture exerce une pression supplémentaire sur les stocks de poissons sauvages. Les experts de l'industrie et les scientifiques estiment qu'il faut entre 1,7 et 4,9 kg de fourrage de poissons sauvages pour produire un kilo de saumon. Même si ce ratio a baissé de façon significative au cours des dernières décennies, il n'en reste pas moins qu'une plus grande quantité de poissons sauvages est nécessaire pour produire une quantité donnée de saumon.

Plus de la moitié de la farine produite par les pêcheries mondiales pour le poisson-fourrage est utilisée dans l'aquaculture. Certaines espèces de poissons, comme la carpe et le tilapia, n'ont pas besoin d'autant de farine de poisson et d'huile de poisson dans leur régime alimentaire que le saumon pour donner la même production.



→ Conséquences génétiques

Impacts sur les salmonidés locaux

Des évasions à grande échelle des exploitations de PCO ont eu lieu tant sur la côte est que sur la côte ouest du Canada. Lorsque les saumons s'échappent, ils risquent de se reproduire avec des saumons sauvages, entraînant une réduction de la diversité génétique et de l'adaptation dans les populations sauvages. En outre, quand lorsqu'il se produit une évaison d'une pisciculture en circuit ouvert, le saumon sauvage est confronté à un nouveau concurrent pour les ressources. La recherche montre que ce phénomène est de plus en plus fréquent pour le saumon sauvage, et qu'il déclenche des effets négatifs sur les populations de cette espèce.



AQUACULTURE

Effets de la pisciculture en circuit ouvert sur la faune

→ Maladies et parasites

Maladies

Il existe plusieurs maladies du saumon dans les exploitations de PCO, y compris celles-ci :

- Maladie bactérienne du rein. Une maladie bactérienne chronique qui progresse lentement et entraîne souvent la mort.
- Nécrose hématopoïétique infectieuse. Une maladie virale infectieuse qui frappe les saumons de tout âge, mais surtout les jeunes. Le virus attaque le sang qui forme les tissus des poissons, ainsi que le rein et la rate. À ce jour, il n'existe ni traitement ni remède à cette maladie.
- Anémie infectieuse du saumon. Une maladie virale qui provoque une anémie sévère chez les poissons.

Dans les exploitations de PCO, les poissons peuvent contracter des maladies des poissons sauvages, et de leur côté, les individus infectés dans les exploitations de PCO peuvent transmettre des maladies aux populations locales de poissons sauvages et contribuer à la propagation, à l'intensité et à la continuation de ces maladies dans ces populations.

Parasites

Les poux de mer (copépodes parasites qui se nourrissent de la peau, des muqueuses et du sang de poisson) peuvent provoquer la morbidité et même la mortalité dans certaines populations de saumon. Les poux de mer sont des parasites naturels et les populations sauvages peuvent avoir des infections non liées à la PCO. Cependant, les poissons dans les exploitations de PCO peuvent faire monter en flèche la transmission des parasites, car ils sont une population hôte toute l'année pour les parasites. Même les jeunes peuvent être infectés dans les exploitations de PCO, car ils restent avec la population adulte (à l'état sauvage, les jeunes sont généralement protégés contre l'infection parce qu'ils sont séparés de la population adulte). L'exposition sublétales au pou du poisson à des stades précoces de la vie réduit la croissance des individus, entraînant des effets négatifs sur les populations.



PHOTOS: WIKIMEDIA COMMONS

AQUACULTURE

Effets de la pisciculture en circuit ouvert sur la faune

→ Altération de l'habitat

Pesticides et désinfectants pharmaceutiques

Les poissons dans les exploitations de PCO sont traités avec des agents thérapeutiques (divers composés pour protéger leur santé). Ces traitements sont habituellement réglementés, mais des traitements d'urgence sont nécessaires et ils sont parfois difficiles à doser. Les effets potentiels des produits thérapeutiques rejetés dans l'environnement sont une source de préoccupation. Ils peuvent avoir des effets désastreux sur les autres espèces. Les crustacés, par exemple, ont encore plus que les autres espèces tendance à être particulièrement sensibles à ces traitements. La recherche montre que lorsque des agents thérapeutiques sont utilisés correctement, ils présentent peu de danger pour les populations locales et les crustacés, cependant, dans certains cas, des données factuelles montrent qu'ils peuvent avoir des effets létaux et sublétaux sur les populations locales.



L'utilisation d'antibiotiques dans les exploitations de PCO a également modifié la diversité bactérienne locale, augmenté les populations de bactéries résistantes aux antibiotiques et mené à l'émergence de nouvelles souches de bactéries.

Pollution et altération de l'habitat

Les déchets de poisson (matières fécales, nourriture non consommée, mortalité) s'accumulent sous les cages des exploitations de PCO, ce qui peut modifier la structure benthique et produire des conditions eutrophiques (des eaux riches en nutriments qui favorisent les plantes, en particulier les algues) et anoxiques (faibles en oxygène). Des exploitations de PCO à grande densité se dégagent des quantités de nutriments (azote et phosphore) comparables à la production d'eaux usées humaines dans les centres urbains côtiers.

AQUACULTURE

Effets de la pisciculture en circuit ouvert sur la faune

Par ailleurs, des métaux lourds ayant des propriétés toxiques, en particulier le cuivre, s'accumulent dans les sédiments autour des exploitations de PCO, souvent à des concentrations supérieures à celles susceptibles de causer des effets écologiques.

Les exploitations de PCO produisent des surfaces nouvelles et variées que les organismes peuvent coloniser, parfois en nombres anormalement élevés. Cet encrassement peut mener à d'autres problèmes, comme une recrudescence des espèces envahissantes, en particulier à cause des interventions utilisées pour résoudre le problème.

La plupart de ces effets dépendent des profondeurs, des marées et des courants d'eaux locaux (conditions hydrographiques). Les effets sur la communauté des organismes qui vivent dans cet environnement (benthos) sont plus dispersés en superficie et moins intenses pour les exploitations de PCO en eau profonde par rapport à celles en eau peu profonde.



WIKIMEDIA COMMONS

Lumière

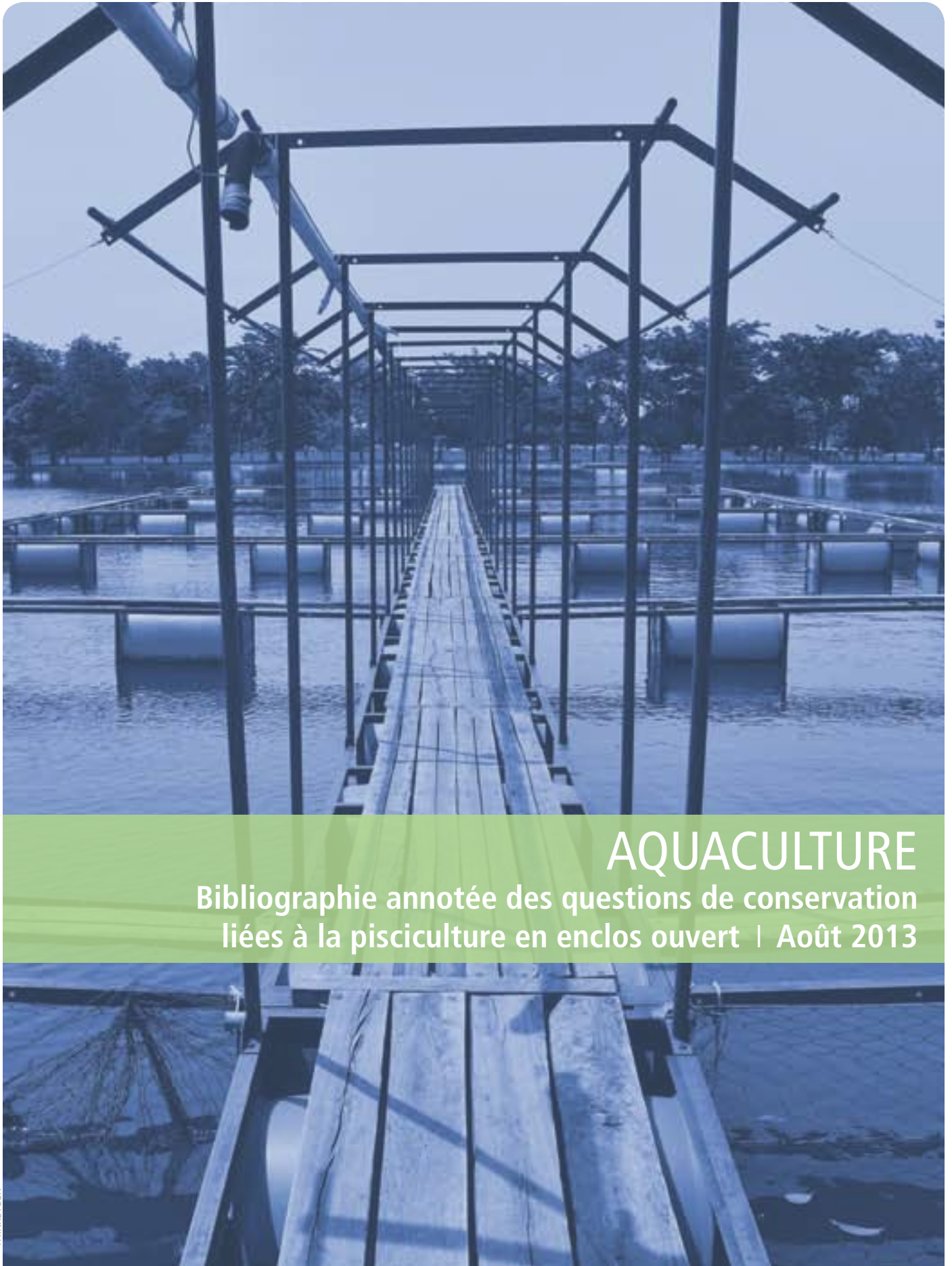
L'éclairage utilisé dans les exploitations de PCO attire les poissons sauvages dans les cages, ce qui aggrave d'autres effets potentiels, en particulier la transmission des maladies.



THINKSTOCK

Bruit

Les opérateurs utilisent des bruiteurs pour éloigner les prédateurs de cages de PCO. Même si des études ont montré qu'ils sont inefficaces pour la plupart des espèces cibles comme les phoques et les oiseaux, nous savons qu'ils modifient le comportement et la répartition d'espèces non ciblées, en particulier les cétacés (baleines, dauphins et marsouins). À ce jour, il n'existe aucune donnée factuelle sur la durée ou les conséquences néfastes de ces effets sur les espèces non ciblées.



AQUACULTURE

Bibliographie annotée des questions de conservation
liées à la pisciculture en enclos ouvert | Août 2013

AQUACULTURE

Bibliographie annotée des questions de conservation liées à la pisciculture en enclos ouvert | Août 2013

Impacts généraux

- La salmoniculture se fait presque exclusivement dans des parcs en filets. Certains impacts environnementaux sont attribuables à ce type d'aquaculture, car les cages sont des systèmes ouverts qui permettent la dispersion de nutriments, d'agents pathogènes et d'intrants chimiques dans le milieu marin.
- Les impacts sont généralement regroupés en quatre catégories : les interactions écologiques, les conséquences génétiques, les maladies et parasites, et l'altération de l'habitat. Plus précisément : impacts et altérations benthiques, intrants chimiques (antibiotiques, agents anti-salissures, pesticides), charge en éléments nutritifs et détérioration du benthos, attraction d'autres organismes et exclusion des prédateurs, sources de nourriture, conséquences des évasions et utilisation d'espèces exotiques, et échange des agents pathogènes (poux de mer) (Hutchings et al. 2012).
- Une analyse de la mortalité du saumon sauvage dans les rivières adjacentes aux élevages de saumon a démontré une réduction importante de la survie et des retours dans les populations exposées à l'aquaculture. La mortalité a augmenté de plus de 50 % pour chaque génération de saumon sauvage exposée à l'aquaculture (Ford et Myers, 2008).
- Sur la côte ouest, seul le saumon rose a montré des baisses significatives en corrélation avec l'aquaculture (Ford et Myers 2008). Ce phénomène est attribuable aux impacts génétiques des croisements avec des saumons d'élevage évadés, en plus des maladies et autres impacts décrits ci-dessous.

Évadés et impacts génétiques

- Les évasions à grande échelle sont fréquemment associées à la pisciculture en enclos ouvert et peuvent se produire lors de manipulations de routine ou d'événements épisodiques à grande échelle tels que les tempêtes (McGinnity et al. 2003, Naylor et al. 2005), augmentant le risque d'interactions entre saumons sauvages et d'élevage. Les évasions peuvent avoir de graves conséquences sur la persistance des populations de saumons sauvages (Morris et al. 2008).
- Morris et al. (2008) ont compilé une série d'études et trouvé que des saumons d'élevage évadés ont été signalés dans 87 % des bassins versants qui ont été étudiés depuis le début de l'industrie salmonicole en 1980 (la majorité des cours d'eau étudiés étaient situés dans des régions d'aquaculture primaire comme le Nouveau-Brunswick et le Maine).
- Carr et Whoriskey (2006) ont évalué la présence d'évadés des écloséries d'eau douce et ont trouvé des évadés dans les rivières chaque année. Les saumoneaux des évadés étaient plus nombreux que les saumoneaux sauvages pendant sept des huit années de l'étude dans la rivière Magaguadavic. Les évasions de saumons juvéniles se sont produites dans les cours d'eau proches d'au moins 75 % des écloséries commerciales de saumon au Nouveau-Brunswick.

AQUACULTURE

Bibliographie annotée des questions de conservation liées à la pisciculture en enclos ouvert | Août 2013

- En plus de la concurrence accrue pour la nourriture et l'habitat, la transmission de la maladie et la santé globalement moins bonne, il existe le potentiel que les saumons d'élevage évadés chassent les poissons sauvages ou se reproduisent avec eux (Flemming et al. 2000). Les interactions peuvent aussi altérer la réaction fonctionnelle des poissons sauvages aux prédateurs (Naylor et al. 2005).
- Contrairement à leurs homologues sauvages, les saumons d'élevage sont sélectivement élevés pour avoir, entre autres caractéristiques, une croissance plus rapide. En raison de ces différences génétiques, l'interfécondation est une préoccupation majeure.
- Les effets génétiques de l'interfécondation entre poissons d'élevage et poissons sauvages peuvent être directs ou indirects. Les effets génétiques directs comprennent la modification du génome sauvage (introgression) à la suite de croisements entre poissons sauvages et domestiqués, ou la production d'hybrides stériles. Les effets indirects comprennent la réduction de la taille effective de la population ou une pression accrue au niveau de la sélection à cause de la concurrence (Tymchuk et al. 2006).
- L'interfécondation peut avoir des effets génétiques qui menacent la capacité de reproduction et le potentiel de rétablissement des populations sauvages, à cause de la production de poissons moins bien adaptés et d'une moindre espérance de vie (McGinnity et al. 2003 Thorstad et al. 2008 Hutchings et al. 2012).
- L'introgression peut mener à l'homogénéisation génétique, produisant une perte irréversible de la variation génétique des populations sauvages, et elle peut altérer l'intégrité génétique des populations indigènes de saumon, y compris la perte de l'adaptation locale ou une moindre capacité à réagir à l'évolution des milieux (Naylor et al. 2005 Fraser et al. 2010 Bourret et al. 2011).
- Le saumon atlantique d'élevage (*Salmo salar*) a tendance à être inférieur sur le plan de la compétitivité et de la reproduction par rapport à ses homologues sauvages, avec moins d'un tiers du succès en matière de reproduction (Fleming et al. 2000, Naylor 2005, Hindar et al. 2006). En dépit de leur moindre capacité à rivaliser, les poissons d'élevage ont réussi à faire concurrence à la population indigène. Malgré les performances de reproduction inférieures à celles du saumon sauvage, l'interfécondation se produit, avec l'hybridation pour résultat.
- L'hybridation peut avoir contribué à la baisse et à l'absence de rétablissement de nombreuses populations de saumon atlantique sauvage dans l'Atlantique Nord-Ouest, car elle peut changer la génétique et les traits d'histoire de vie des populations sauvages (Fraser et al. 2010).
- Hindar et al. (2006) ont modélisé l'avenir des populations de saumons sauvages victimes de l'invasion de saumons d'élevage évadés. Les résultats montrent qu'une intense intrusion pourrait produire des populations qui sont des mélanges de descendants d'individus hybrides et d'élevage en seulement quelques générations, et le rétablissement des populations sauvages dans ce scénario est peu probable.
- Liu et al. (2013) ont également modélisé l'avenir en montrant que l'augmentation du nombre d'évasions réduit le bien-être social de la récolte et les stocks de poissons sauvages (pêche sportive).

AQUACULTURE

Bibliographie annotée des questions de conservation liées à la pisciculture en enclos ouvert | Août 2013

- McGinnity et al. (2003) ont démontré que l'interaction de saumon d'élevage avec des saumons sauvages produit une moindre capacité d'adaptation et des évasions répétées provoquant une dépression cumulative de l'adaptation et éventuellement un vortex d'extinction des populations vulnérables.
- La plupart des différences semblent résulter d'interactions non additives entre les gènes (rendant les effets imprévisibles), ce qui affecte les traits liés à la capacité d'adaptation (Roberge et al. 2008). Ces résultats montrent que le croisement de saumons d'élevage évadés et d'individus sauvages pourrait modifier substantiellement le contrôle génétique de la transcription des gènes dans les populations naturelles soumises à une forte migration des fermes piscicoles, entraînant des effets potentiellement néfastes sur la survie de ces populations (voir aussi Oke et al. 2013).
- La probabilité que les saumons atlantiques échappés établissent des populations là où l'espèce est exotique semble faible, mais elle ne saurait être exclue. Puisque les populations autochtones de salmonidés sont actuellement déprimées ou en déclin, les conditions pour l'établissement du saumon de l'Atlantique peuvent être plus favorables que par le passé (Thorstad et al. 2008). Cependant, la probabilité d'une hybridation réussie entre le saumon de l'Atlantique et les salmonidés du Pacifique semble faible.
- Des saumons sauvages de l'Atlantique ont été signalés dans les rivières côtières de la Colombie-Britannique. Volpe et al. (2000) rapportent le premier cas de reproduction réussie du saumon atlantique sur la côte nord-est du Pacifique, ce qui démontre le potentiel de colonisation réussie, et donc un potentiel de compétition pour l'espace et la nourriture aux populations sauvages de saumons du Pacifique (en particulier *Oncorhynchus spp.*), bien que ces inférences soient au mieux hypothétiques.
- En raison de la sélection artificielle de la croissance chez le saumon d'élevage, celui-ci a tendance à avoir un avantage de taille sur le saumon sauvage, et donc un avantage concurrentiel sur les juvéniles sauvages (Naylor et al. 2005)
- Le stress pour les populations sauvages qui est causé par les introductions de saumon d'élevage peut affecter la mortalité et la croissance (Naylor et al. 2005).

Maladies

- La prévalence de la maladie augmente avec une forte densité de poissons dans les enclos qu'on retrouve couramment en salmoniculture, et elle se propage aux poissons sauvages, menaçant la persistance des populations de ceux-ci (Hutchings et al. 2012).
- L'anémie infectieuse du saumon (AIS) est l'une des maladies infectieuses les plus graves qui menacent la viabilité économique des élevages de saumon de l'Atlantique (Hammell et Dohoo 2005). C'est l'affection la plus problématique, car il n'existe aucun traitement (1994 Nylund et al.).

AQUACULTURE

Bibliographie annotée des questions de conservation liées à la pisciculture en enclos ouvert | Août 2013

- Caractérisée par une anémie sévère et une mortalité élevée, l'AIS a tendance à être diagnostiquée seulement après que les poissons ont été transférés à la mer ou exposés à des écloseries d'eau de mer (1994 Nylund et al.).
- Même si l'un des mécanismes potentiels de propagation de la maladie est la transmission passive dans l'eau de mer, l'exposition à des matières organiques (comme le sang) infectées par l'agent AIS ou aux poux de poissons infectés par le virus d'AIS a entraîné le plus fort taux de mortalité (Nese et Enger 1993, Nylund et al. 1994, Barker et al. 2009). Le transfert peut se faire par la peau (muqueuse, abrasions), l'urine et les fèces.
- Miller et al. (2011) ont découvert, chez le saumon rouge du fleuve Fraser, une signature génomique en corrélation avec la survie. Ils ont émis l'hypothèse que le signal génomique associé à une mortalité élevée est produit en réponse à un poisson infecté par le virus avant l'entrée dans le fleuve et qui persiste dans les zones de frai (liens mentionnés avec des gènes associés à leucémie).
- Il a été déterminé que les agents pathogènes peuvent être transmis verticalement ou par les embryons infectés (transmission des parents aux enfants) (Vike et al. 2009).
- La prévalence de la NHI (nécrose hémato-poïétique infectieuse) est une épidémie chez les saumons d'élevage de l'Atlantique en Colombie-Britannique qui est endémique dans les populations sauvages du Pacifique. Elle provoque une nécrose des tissus hémato-poïétiques et en fin de compte la mortalité chez le poisson. Les pratiques agricoles ont contribué à sa propagation. Toutefois, la transmission par voie d'eau peut avoir joué un rôle entre les fermes situées à proximité les unes des autres (Saksida 2006). Tout comme l'AIS, elle est propagée par les excréments, l'urine et les muqueuses.

Les poux de mer (parasites)

- Les poissons dans des enclos marins peuvent être infectés par des agents pathogènes comme le pou du poisson par les populations sauvages et deviennent à leur tour des sources ponctuelles pour les parasites qui se multiplient dans les enclos surpeuplés et se propagent aux poissons sauvages. Les cages flottantes en mer (enclos ouvert) permettent la libre circulation des agents pathogènes entre poissons sauvages et d'élevage (Costello 2009).
- Les poux de mer sont des copépodes parasites, omniprésents sur les salmonidés adultes d'élevage et sauvages, en particulier les femelles adultes, dans les océans de l'hémisphère nord; ils se nourrissent de la peau, des muqueuses et du sang et sont capables de provoquer la morbidité et la mortalité de l'hôte (Costello 2009, Saksida et al. 2007a, 2007b).
- *Caligus clemensi* et *Lepeophtheirus salmonis* sont deux espèces de poux de mer qu'on retrouve généralement sur le saumon d'élevage (Beamish et al. 2009).

AQUACULTURE

Bibliographie annotée des questions de conservation liées à la pisciculture en enclos ouvert | Août 2013

- On a découvert une infection naturelle par des poux de mer, surtout par *C. clemensi*, sur le saumon juvénile du Pacifique (toutes espèces) des îles Gulf, en Colombie-Britannique. Les chercheurs ont conclu que cette infection ne provenait pas d'une exploitation piscicole, car la plus proche se trouvait à 100 km de la zone d'étude (Beamish et al. 2009). Cela confirme la présence d'une infection naturelle pouvant être transmise rapidement dans des cages d'élevage à haute densité.
- Les adultes en migration sont séparés des jeunes dans les premiers stades de la vie, ce qui empêche temporairement la transmission de pathogènes entre les classes d'âge (Krkošek et al. 2007). L'avantage est que les jeunes ne sont pas soumis à des agents pathogènes tant qu'ils ne sont pas plus âgés et moins vulnérables.
- L'hiver, un traitement des exploitations avec des parasitocides avant l'exode des jeunes saumons sauvages peut réduire la charge parasitaire sur le poisson sauvage, mais on a remarqué que la durabilité à long terme de cette pratique peut être affectée par les effets écologiques de l'antiparasitaire et le potentiel de résistance dans les parasites (Peacock et al. 2013, Rogers et al. 2013).
- L'exploitation intensive de la salmoniculture en enclos ouvert peut contrecarrer cette barrière naturelle à la transmission à cause de la présence d'une population d'accueil à l'année dans un milieu marin proche du littoral où les agents pathogènes peuvent se répandre aux salmonidés juvéniles sauvages sympatriques (Costello 2009). L'exposition sublétales aux poux pendant la période marine précoce critique réduit la croissance des saumoneaux coho, avec des conséquences pour la dynamique de la population des saumons coho.
- La transmission des poux de mer depuis les exploitations salmonicoles peut influencer indirectement sur la santé des saumoneaux coho sympatriques (Connors et al. 2010) et des jeunes saumons roses (Brauner et al. 2013) via l'accumulation des poux dans une proie infectée. Connors et al. (2010) ont démontré que la productivité des populations de saumons coho était sept fois moindre lorsqu'elles étaient exposées à des infestations de poux associées aux élevages de saumons, ce qui suggère que la transmission du parasite depuis les saumons d'élevage vers les saumons peut remonter la chaîne alimentaire des salmonidés avec des conséquences négatives pour leurs prédateurs et pour leurs écosystèmes. Brauner et al. (2012) ont montré que l'augmentation des infections affecte la capacité de nager des saumons roses.
- Krkošek et al. (2011a) ont constaté que la survie était corrélée négativement avec l'abondance des poux de mer dans les exploitations de la région de l'archipel Broughton, en Colombie-Britannique pour le saumon rose et coho. Cette question n'est pas tranchée, car d'autres études ont abouti à des conclusions contradictoires. Marty et al. (2010) n'ont pas trouvé de corrélation négative entre les fermes piscicoles ou le nombre de poux du poisson et la productivité du saumon rose.

AQUACULTURE

Bibliographie annotée des questions de conservation liées à la pisciculture en enclos ouvert | Août 2013

- Les populations sauvages exposées à la salmoniculture dans l'archipel de Broughton, en Colombie-Britannique, manifestent une baisse marquée de la productivité pendant les infestations de poux du poisson par rapport aux années pré-infestation, ce qui pourrait entraîner des diminutions des populations de saumons roses (Krkošek et Hilborn 2011)
- Prix et al. (2010) ont trouvé des données factuelles voulant que les élevages de saumon soient une source majeure d'infestations de poux de mer pour les saumons roses sauvages juvéniles (*Oncorhynchus gorbuscha*) et kéta (*O. keta*) dans de nombreuses régions aquacoles de la Colombie-Britannique.
- Krkošek et al. (2011b) ont examiné l'effet d'une infestation de poux de mer sur le risque de prédation et la mortalité des jeunes saumons roses et kéta, et ils ont réuni des données montrant que les poux rendent les saumons juvéniles plus vulnérables à la prédation. Les poissons infectés ont été mangés beaucoup plus souvent que les poissons qui n'ont pas été infectés, car les prédateurs consomment de manière sélective une proie infectée. L'infestation modifie également le comportement des bancs de poissons, car les individus infectés occupent des positions périphériques dans le banc. Inversement, la prédation des poissons infectés peut contribuer à une moindre infestation des poux mer sur les poissons sauvages.
- Krkošek et al. (2005) ont étudié les infections de poux dans les saumons roses et kéta juvéniles qui longeaient une exploitation isolée de salmoniculture au cours de leur migration vers la mer le long de deux corridors longs et étroits. Les résultats suggèrent que l'infection provenant de l'exploitation exerçait une pression quatre fois plus importante que les niveaux ambiants, ce qui entraîne une pression maximale d'infection à proximité qui était 73 fois supérieure aux niveaux ambiants sur une longueur de 30 km dans les deux corridors de migration du saumon sauvage. De plus, les poux de mer qui infectaient déjà les juvéniles sauvages étaient capables de se reproduire au cours de leur migration et de réinfecter les saumoneaux, augmentant la portée de l'impact à 75 km. Des infestations plus importantes de poux du poisson causées par les exploitations salmonicoles représentent un obstacle potentiel à la conservation des salmonidés sauvages, avec des impacts possibles sur la pêche du saumon sauvage (Liu et al. 2011).
- Krkošek et al. (2013) ont effectué une méta-analyse des traitements de parasitocides expérimentaux sur les saumoneaux montrant qu'une infection de poux provoque une perte de 39 % du recrutement des saumons adultes (voir aussi Torrissen et al. 2013).
- Price et al. (2011) ont démontré un rôle potentiel de la salmoniculture en enclos ouvert dans la transmission des poux de mer aux saumons rouges sauvages juvéniles lors de leur migration dans le fleuve Fraser. Ils ont constaté que les saumoneaux sont les poissons les plus infectés par *C. clemensi*. Ils ont conclu que les élevages de saumon augmentent les niveaux de poux du poisson sur les saumons du fleuve Fraser pendant la période critique de leur migration précoce.

AQUACULTURE

Bibliographie annotée des questions de conservation liées à la pisciculture en enclos ouvert | Août 2013

- On a également constaté que d'autres parasites se transmettent entre poissons sauvages et d'élevage. Mladineo et al. (2013) l'ont démontré en utilisant le flux génétique d'un monogène.

Antibiotiques, pesticides et désinfectants

- Bien que l'utilisation de produits thérapeutiques soit strictement réglementée et qu'on ne puisse y avoir recours que sur prescription d'un vétérinaire agréé, les exploitants comptent sur des traitements d'urgence pour lutter contre les infections bactériennes et les ectoparasites comme le pou du poisson.
- Les exploitants de salmoniculture en Norvège, en Écosse, au Chili et au Canada ont utilisé une variété de composés au fil des ans pour traiter les saumons infectés, y compris l'amoxicilline, le florfenicol, le tribrisen, l'oxytétracycline, l'érythromycine, les pyréthrinés, le peroxyde d'hydrogène, l'azaméthiphos, la cyperméthrine, l'ivermectine, le benzoate d'émamectine et teflubenzuron (Burrige et al. 2008, 2010).
- Même si de nombreux antibiotiques ont une faible toxicité pour les poissons et les mammifères marins, les crustacés ont tendance à être plus sensibles (McLeese et al. 1980, Davis 1985, Burrige et al. 2004). Par conséquent, l'utilisation de produits chimiques suscite des inquiétudes chez les écologistes et les acteurs de la pêche commerciale. Puisque les traitements anti-poux manquent de spécificité, l'effluent rejeté dans l'environnement marin a le potentiel de causer des effets négatifs non seulement sur les populations de saumons sauvages, mais également sur des espèces commercialement importantes comme le homard d'Amérique (*Homarus americanus*) (Johnson et al. 2004, Burrige et al. 2008, 2010).
- Le diflubenzuron (crusticide) peut être absorbé par la morue de l'Atlantique, mais il est rapidement éliminé et semble n'avoir que de petits effets (Olsvik et al. 2013).
- En règle générale, les effets avérés de ces phénomènes comprennent l'altération de la diversité locale, l'augmentation de la résistance aux antibiotiques et l'émergence subséquente de nouvelles souches de bactéries (Burrige et al. 2010).
- Salmosan® (ingrédient actif : azaméthiphos) est actuellement approuvé au Nouveau-Brunswick pour une utilisation d'urgence, mais il a été montré que ce produit a des effets létaux et sublétaux lors d'expositions répétées sur le homard à certaines concentrations et à certains moments de l'année (Burrige et al. 2008). Les organismes sont plus sensibles à l'exposition répétée à des concentrations de 10 µg/L et au printemps. Les études sur le terrain ont montré qu'un traitement unique avec Salmosan® n'a pas d'effet négatif sur la survie des organismes non-cibles, sauf lorsqu'ils sont maintenus dans la cage de traitement (Burrige 2003).
- Les composés solubles (comme l'azaméthiphos) utilisés pour le contrôle antiparasitaire ont un potentiel de dispersion généralisée. D'autres produits chimiques tels que les antibiotiques

AQUACULTURE

Bibliographie annotée des questions de conservation liées à la pisciculture en enclos ouvert | Août 2013

- (l'oxytétracycline, le tribrisen et le florfenicol) et le zinc, présents dans les aliments (substances liées à des particules), sont plus susceptibles de s'établir et de s'accumuler sous les sites d'élevage et à proximité, si les courants sont faibles (MPO, 2003).
- Les homards femelles sont plus sensibles à l'exposition pendant la saison de ponte et de mue (Burridge et al. 2005).
 - SLICE™ (ingrédient actif : benzoate d'emamectine) est le traitement le plus courant pour les poux de mer; il est mélangé d'avance à un aliment pour poissons (Burridge et al. 2004).
 - L'industrie de la pêche est préoccupée par l'utilisation de ce pesticide et son impact sur les homards et les crabes qui se nourrissent sous les cages de saumon (dégagement dans les aliments non consommés, les excréments de poissons, l'urine); en effet, les crustacés tels que le homard consomment le fourrage et sont connus pour être particulièrement sensibles au pesticide (Waddy et al. 2002, Willis et Ling 2003, Waddy et al. 2007a). La toxicité aiguë est faible (2004 Burridge et al.), mais il peut en résulter une mue prématurée et la perte des œufs par les homards américains femelles (Waddy et al. 2002). Cependant, la question demeure de savoir si les homards sont susceptibles d'ingérer suffisamment de cette substance chimique à des concentrations industrielles pour provoquer un effet observable. Les études sur l'alimentation ont confirmé que les homards ingèrent moins que la quantité requise pour déclencher une mue prématurée (Waddy et al. 2007a, 2007b).
 - En outre, en fonction de la concentration nécessaire pour tuer un homard et de faible quantité de nourriture médicamentée qui est consommée, les chercheurs estiment que l'exposition chronique est peu susceptible de mener à la mort des homards exposés (Burridge et al. 2004).
 - Alpha Max® (ingrédient actif : deltaméthrine, un insecticide pyréthrinoïde) a été approuvé en 2009 et 2010 pour une utilisation d'urgence, mais n'est pas actuellement en usage. Fairchild et al. (2010) signalent que « les insecticides pyréthrinoïdes sont parmi les toxiques connus » (causant l'immobilité ou la mortalité), et que « parmi les insecticides pyréthrinoïdes, la deltaméthrine est souvent la plus toxique pour les crustacés » (p. iv). Dans des conditions de laboratoire, Fairchild et al. (2010) ont observé que les larves de homard sont sensibles à la deltaméthrine à une concentration beaucoup plus faible que la dose recommandée.
 - Ernst et al. (2001) ont démontré la capacité de dispersion de la cyperméthrine, un autre pesticide très connu pour être hautement toxique (notamment pour les crustacés). Dans le cadre d'un test de létalité de la cyperméthrine d'une durée de 48 heures, les échantillons d'eau prélevés dans le panache étaient toxiques pour *Eohausterorus estuarius* pendant jusqu'à cinq heures. Ils ont conclu que les traitements simples ont le potentiel d'affecter des invertébrés non visés près des cages.

AQUACULTURE

Bibliographie annotée des questions de conservation liées à la pisciculture en enclos ouvert | Août 2013

- D'un autre côté, puisque les pyréthriinoïdes ont tendance à s'adsorber sur les matières particulaires, les expositions chroniques sont peut-être confiées aux études de laboratoire. La cyperméthrine absorbée par les sédiments n'était pas extrêmement toxique pour les crevettes « bouquet Mississippi » tant que les concentrations dans les sédiments n'avaient pas augmenté au point où le partitionnement dans l'eau sus-jacente a entraîné des concentrations d'une létalité aiguë (Clark et al. 1987).
- La sécurité de l'alimentation humaine peut également être directement affectée par la présence d'antibiotiques résiduels dans les poissons d'élevage qui ont été dosés avec des antibiotiques ou des antibiotiques qui sont lessivés dans le milieu environnant et a atteint les poissons sauvages et les coquillages récoltés pour la consommation (Samuelsen et al. 1992, Coyne et al. 1997, Grave et al. 1999, Cabello 2003, Fortt et al. 2007, White et McDermott 2009).

Pollution

- Les préoccupations environnementales concernant l'aquaculture en enclos sont principalement associées à la libération de déchets dans l'environnement aquatique (Rooney et Podemski 2009).
- Les déchets de poisson dans les cages se jettent dans l'océan, en ajoutant un excès de nutriments potentiellement nuisibles dans l'écosystème. La nourriture non consommée et les excréments peuvent s'accumuler sur le fond marin sous les enclos et se dégrader. L'oxygène s'épuise alors, et tout cela produit des conséquences importantes pour la qualité de l'eau et la composition des espèces (eutrophisation, libération de gaz nocifs, etc.) (Dean et al. 2007, Hutchings et al. 2012).
- Compte tenu d'une production annuelle de 35 000 tonnes de saumon, les eaux côtières reçoivent environ 7 200 tonnes de matières fécales non traitées, 1 000 tonnes d'azote et 115 tonnes de phosphore. C'est l'équivalent des déchets annuellement produits par une population humaine de 93 450 personnes; la quantité d'azote déchargée est équivalente à celle produite par 437 500 personnes, pour le phosphore, à celle de 63 000 personnes. Aucune autre industrie n'est autorisée à décharger de telles quantités de déchets non traités dans les cours d'eau. L'azote et le phosphore sont des nutriments qui causent des proliférations d'algues, ce qui mène à l'eutrophisation, une condition à laquelle très peu d'espèces sont tolérantes. On a démontré que l'aquaculture est de loin la plus importante source de nutriments dans la zone L'Étang – Bliss Harbour – Black's Harbour de la baie. Il a été prouvé qu'un nombre important d'espèces ont disparu de cette zone à cause de cela (MPO 2003, Harvey et Milewski 2007).
- Les métaux pénètrent dans l'environnement marin à cause de l'activité aquacole, sous forme de peintures anti-encrassement ou de constituants d'aliments pour poissons. Le régime

AQUACULTURE

Bibliographie annotée des questions de conservation liées à la pisciculture en enclos ouvert | Août 2013

- alimentaire du saumon atlantique d'élevage contient des métaux traces tels que le cuivre, le zinc, le fer, le cadmium, le manganèse et autres (Dean et al. 2007, Burridge et al. 2010).
- L'évaluation de la toxicité des sédiments sous les cages à saumon dans la baie de Fundy, ainsi qu'en Écosse, et à différentes distances des cages, montre des niveaux élevés de cuivre (au-dessus du niveau des effets de seuil) et de zinc, ainsi que d'autres métaux, d'azote ammoniacal, de sulfure, de carbone organique total et d'autres composés organiques (Burridge et al. 1999, Dean et al. 2007, Hargrave 2010).
 - Dans les sédiments, les concentrations de cuivre les plus élevées (de 32 à 42 mg Cu/kg) se trouvent toujours sur les lieux de l'exploitation, les concentrations modérément élevées à 400 à 2000 mètres de distance et les concentrations les plus faibles (6 à 7 mg Cu/kg) à une plus grande distance, ce qui suggère qu'il est plausible que le cuivre employé à des fins d'aquaculture se retrouve dans les sédiments et transféré vers le haut par la colonne d'eau jusqu'à la microcouche de surface de la mer. Les concentrations sont alors enrichies, et peuvent alors se déplacer horizontalement à une vitesse de dérive relativement élevée à cause des vents, produisant des empreintes à échelle d'un kilomètre ou plus, avec la possibilité que les effets persistent pendant les années de jachère. Des concentrations observées de cuivre dans les sédiments dépassaient les seuils optimaux pour la protection de la vie marine (Loucks et al. 2012).
 - Les tests de toxicité sur plusieurs espèces de copépodes marins ont démontré une baisse de la survie et de la reproduction lorsqu'ils étaient exposés aux métaux comme l'argent, le zinc et le cuivre dans leurs régimes d'algues et dans l'eau (Bielmyer et al. 2006, Lauer et Bianchini 2010).
 - L'exposition au cuivre réduit la production d'œufs et le taux d'éclosion dans les copépodes mâles et femelles (*Acartia tonsa*). Les impacts variaient selon le type d'exposition : celle associée à l'eau provoque un effet négatif plus important sur la production d'œufs que celle liée à l'alimentation (Lauer et Bianchini 2010).
 - Les sédiments enrichis de ces métaux ont été liés à une baisse de production de la palourde *Macoma balthica* en raison de l'échec de la production de gamètes (Burridge et al. 1999).
 - L'exposition au cuivre était associée à des anomalies chromosomiques dans la langouste, lesquelles augmentent avec l'exposition au cuivre, ce qui démontre les impacts négatifs au niveau cellulaire. Les organes internes changent de couleur et on a observé des changements dans le poids humide de muscle, des hépatopancréas et des branchies (Maharajan et al. 2011). Des effets sur le cœur ont été observés, en particulier l'inflammation et des lésions des cellules et des tissus des organes internes (Maharajan et al. 2012). Ce phénomène pourrait affecter les fonctions physiologiques vitales telles que l'absorption, le stockage et la sécrétion de l'hépatopancréas, la digestion de l'intestin et la respiration, la régulation osmotique et ionique des branchies, ce qui pourrait finalement nuire à la survie et au développement de *P. homarus* (Maharajan et al. 2012).

AQUACULTURE

Bibliographie annotée des questions de conservation liées à la pisciculture en enclos ouvert | Août 2013

- L'accumulation d'excréments de poissons et de déchets d'aliments augmente l'activité microbienne aérobie et anaérobie, représentant des matières organiques riches en azote (Giles 2008), car cela stimule la production de phytoplancton et la demande en oxygène (Hargrave 2003). L'eutrophisation peut causer des changements dans les assemblages d'espèces de phytoplancton, même s'il est difficile d'établir un lien direct entre la pisciculture et la prolifération d'algues nuisibles; elle altère les communautés de faune benthique et réduit la santé des poissons, ce qui augmente la probabilité de parasitisme et de maladie (Hargrave 2003).
- Le degré d'impact dépend des conditions hydrographiques locales, de la profondeur de la cage, de l'absorption par le phytoplancton et d'autres organismes et de la remise en suspension de la matière (Hargrave 2003, Borja et al. 2009).
- Des événements hypoxiques intermittents causés par des variations de l'oxygène dissous (OD) se produisent dans des cages sur la côte sud de Terre-Neuve. Ces événements, qui sont observables jusqu'à deux mois et demi, surviennent essentiellement l'été. Les données nataoires sur les poissons montrent que ces événements ne provoquent pas un comportement d'évitement; par conséquent, les poissons sont touchés négativement par des changements de l'OD, qui peuvent avoir un impact sur l'alimentation et la croissance des poissons (Burt et al. 2012).
- L'impact benthique de la pisciculture dépend des caractéristiques du site et de l'établissement. Dans les zones profondes, les impacts étaient moins intenses, mais plus largement diffusés, alors que les impacts dans les zones peu profondes semblent plus intenses, mais limités à une petite zone autour de l'exploitation (Giles 2008).
- Une étude sur les effets d'une exploitation de truites arc-en-ciel a démontré une réduction de l'abondance des invertébrés benthiques et de la richesse des espèces sous la cage, en raison des niveaux élevés de charge organique (Rooney et Podemski 2009). Toutefois, les impacts diminuaient à mesure qu'on s'éloignait de la cage.
- Il existe un potentiel d'effets en champ lointain de l'apport en nutriments et en déchets provenant des exploitations salmonicoles. Parmi les trois types de grands changements à une certaine distance des exploitations, on mentionne l'eutrophisation, la sédimentation et les effets sur la chaîne alimentaire (Hargrave 2003).
- En plus de la création d'un film sur la surface de l'eau à cause de la poussière produite par les distributeurs d'aliments pour animaux, les aliments non consommés et les matières fécales contribuent à la matière particulaire en suspension. Il existe un potentiel de dispersion généralisée et de déplacement horizontal de la matière particulaire selon la marée, la circulation, l'énergie éolienne et celle des vagues, et d'autres processus physiques (Hargrave 2003). Cela peut mener à des événements d'eutrophisation; par rapport à la libération d'antibiotiques et de pesticides, ce phénomène peut avoir des effets dans le réseau d'échancres de la côte.

AQUACULTURE

Bibliographie annotée des questions de conservation liées à la pisciculture en enclos ouvert | Août 2013

- Les grandes surfaces variées qui caractérisent le secteur de l'aquaculture attirent une grande diversité d'organismes épibiotiques y compris les balanes, bivalves, bryozoaires, polychètes, ascidies, hydres, éponges et algues qui s'y installent et se développent. Ces algues et animaux marins, appelés collectivement des communautés salissantes, sont très problématiques pour les établissements aquacoles et peuvent avoir des répercussions économiques importantes (Fitridge et al. 2012).
- Fitridge et al. (2012) ont signalé trois principaux effets négatifs de l'encrassement biologique :
 - » Restriction de l'écoulement et de l'échange de l'eau à cause de la croissance d'organismes salissants sur les cages, ce qui réduit la qualité de l'eau et abaisse l'OD.
 - » Risque de maladie en raison des salissures qui agissent en tant que réservoirs de pathogènes, impact qui est exacerbé par le stress de l'écoulement d'eau réduite et qui entraîne la baisse de l'immunité aux agents pathogènes.
 - » Déformation des enclos et fatigue structurelle due au poids des organismes salissants, augmentant le potentiel d'évasions.

Prédateurs locaux

- En raison de la forte abondance de poissons dans un espace confiné, les cages marines peuvent attirer les prédateurs, surtout les oiseaux et les mammifères marins (Cottee et al. 2009, Jimenez et al. 2013). En plus de la hausse de la mortalité, du stress et des blessures chez les poissons d'élevage, cela peut entraîner la prédation d'autres espèces de poissons, à quoi s'ajoutent les pertes économiques subies par les exploitants.
- Les prédateurs comme les phoques, les otaries, les requins, les oiseaux et autres animaux marins peuvent s'emmêler dans les enclos à poissons, et les moyens de dissuasion (dispositifs de harcèlement acoustique) peuvent modifier le comportement des prédateurs (Hutchings et al. 2012).

Lumière

- En Colombie-Britannique, les exploitations en enclos ouvert sont régulièrement éclairées en hiver et au printemps, ce qui accroît l'abondance des larves, jeunes et individus adultes de poissons sauvages aux alentours et augmente la probabilité que les poissons d'élevage et sauvages interagissent directement et indirectement dans les milieux marins côtiers (McConnell et al. 2010).

AQUACULTURE

Bibliographie annotée des questions de conservation liées à la pisciculture en enclos ouvert | Août 2013

Bruit

- À long terme, les dispositifs de harcèlement acoustique (DHA) sont généralement inefficaces pour dissuader les prédateurs, notamment les phoques qui semblent s'y habiter d'après certaines observations sur le terrain, probablement à cause d'une déficience auditive (non encore évaluée) (MPO 2010).
- Les cétacés tels que les marsouins et les orques semblent être sensibles aux DHA, et des études de terrain ont montré qu'ils s'éloignent sur un vaste périmètre autour de ces dispositifs. Pourtant, les effets semblent être de courte durée et localisés (manœuvres pour les éviter, masquage des communications et des sons d'écholocation), et ils ne semblent pas suffisants pour causer des blessures ou le déplacement permanent d'animaux aquatiques (MPO 2010).

Le poisson en tant qu'aliment

- La pisciculture dépend fortement de poisson-fourrage pour l'apport alimentaire. Celui-ci est transformé en farine et huile de poisson, ce qui menace l'avenir des populations sauvages et peut avoir un impact sur les autres espèces qui dépendent de cette source de nourriture (Alder et al. 2008, Tacon et Metian 2008, Hutchings et al. 2012). Plus de 50 % de la farine de poisson produite est utilisée dans le secteur de l'aquaculture, la Chine en étant le principal consommateur. La Chine consomme actuellement plus de 1,3 million de tonnes de farine par an.
- Le ratio d'intrants de pêche sauvage aux extrants de poissons d'élevage du saumon atlantique demeure plus élevé que celui des autres types d'élevage. De grandes quantités de poissons-fourrage sont utilisées dans la farine et l'huile de poisson pour soutenir la pêche d'élevage (Naylor et al. 2009).
- Tacon et Metian (2008) signalent qu'en 2006, le secteur de l'aquaculture a consommé 3 724 000 tonnes de farine de poisson (68,2 % de la production totale mondiale en 2006) et 835 000 tonnes d'huile de poisson (88,5 % de la production totale déclarée de l'huile de poisson en 2006), soit l'équivalent de 16,6 millions de tonnes de petits poissons-fourrage pélagiques (en utilisant un ratio de transformation de poisson frais par rapport à la farine de poisson de 22,5 %, et un ratio de transformation de poisson frais en l'huile de poisson de 5 %).
- Il faut 4,9 kg de poisson sauvage pour produire un kilo de saumon (Tacon et Metian 2008), ce qui signifie que la production de saumon donne une perte nette de protéines de poisson pour d'autres espèces qui dépendent de cette ressource, y compris la consommation humaine (Harvey et Milewski 2007).

AQUACULTURE

Bibliographie annotée des questions de conservation liées à la pisciculture en enclos ouvert | Août 2013

- L'International Fishmeal and Fish Oil Organization (IFFO) a présenté des estimations des ratios de poissons intrants et extrants pour le saumon (Jackson 2009), à savoir 2,2 kg de poisson sauvage pour un kilo de saumon. Ce calcul a été affiné afin d'inclure la production mondiale de porc et de volaille (qui utilise également la farine de poisson), réduisant le ratio à 1,68 kg de poisson sauvage pour 1 kg de saumon.
- Waagbo et al. (2013) ont donné à des saumons de l'Atlantique des quantités croissantes d'huile végétale et ont montré que cela préserve la santé et la qualité du produit, même si aucun des groupes n'a montré une production nette de poissons (ratio de poisson intrants-extrants $\geq 1,65$).

Pisciculture en circuit fermé

- Les enclos en pleine mer ont beaucoup plus de conséquences négatives, potentielles et effectives, pour la biodiversité marine que les enclos fermés (Hutchings et al. 2012).
- Le développement de systèmes d'enclos fermés, un terme largement utilisé pour décrire une variété de systèmes de production qui utilisent une barrière imperméable pour isoler les milieux de culture des écosystèmes environnants, a été proposé comme une solution de rechange viable aux systèmes à enclos ouverts (Ayer et Tyedmers 2009).
- Les avantages des enclos fermés sont les suivants (Ayer et Tyedmers 2009) :
 - » Les pisciculteurs peuvent exercer un plus grand contrôle sur les systèmes d'élevage (permettant d'améliorer la qualité du poisson tout en minimisant l'impact sur l'environnement)
 - » Minimisation des évasions
 - » Moins d'interactions avec des prédateurs
 - » Moindre transmission des maladies
 - » Moins d'intrants alimentaires
 - » Densités de peuplement plus élevées
 - » Amélioration des capacités de gestion des déchets
- Ayer et Tyedmers (2009) ont déterminé que même si des systèmes terrestres à circuit fermé constituent une solution de rechange écologique plus respectueuse de l'environnement aux problèmes liés à la pisciculture en circuit ouvert (rejet de déchets de poisson, d'aliments et de produits chimiques dans l'environnement marin). Des compromis sont à prendre en compte (la plus mauvaise performance environnementale dans cette étude). Ce système a augmenté les contributions à plusieurs autres impacts environnementaux de portée mondiale,

AQUACULTURE

Bibliographie annotée des questions de conservation liées à la pisciculture en enclos ouvert | Août 2013

- notamment le réchauffement climatique, l'acidification et l'utilisation des ressources abiotiques (ressources non renouvelables), car il utilise plus de combustibles fossiles pour alimenter les pompes actionnées par l'électricité. Un système à sac flottant a eu la performance environnementale la plus élevée par rapport aux autres en raison de la moindre entrée d'alimentation par tonne, de la demande d'énergie plus faible et du recours à l'énergie hydraulique d'origine marine. Toutefois, le rendement dépendait de l'emplacement du site.
- Forster et Slaski (2010) ont déterminé qu'il n'existait aucun système de circuits fermés dans le monde qui produit exclusivement des saumons de l'Atlantique adultes, et de nombreuses tentatives précédentes pour ce faire ont échoué. Les principales raisons évoquées incluent une panne mécanique, une mauvaise performance des poissons, une mauvaise gestion, la baisse des prix sur le marché et un financement inadéquat.
 - Les coûts d'exploitation et de capital sont parmi les principaux facteurs qui empêchent l'application viable de cette technologie à la salmoniculture (Chadwick et al. 2010).
 - Stechey et Robertson (2010) ont décrit et examiné cinq types de systèmes de production aquacole (y compris les cages conventionnelles, les systèmes fermés flottants à parois rigides et flexibles, systèmes terrestres ouverts, systèmes terrestres à recirculation).
 - Ils ont déterminé que les installations terrestres intensives à recirculation ont démontré le plus haut niveau de confinement. Le risque de propagation d'agents pathogènes et de parasites a été classé comme étant modéré pour tous les systèmes, et les risques d'évasions seraient « faibles » ou « insignifiants » pour tous les systèmes sauf les circuits fermés conventionnels et le système flottant à parois flexibles (Stechey et Robertson 2010).
 - Les technologies terrestres, à parois solides, à recirculation et à réutilisation (systèmes d'aquaculture à recirculation) démontrent un bon potentiel pour l'élevage du saumon en eau douce ou saumâtre en raison du potentiel de réduction des coûts énergétiques par rapport à ceux qui sont associés au pompage de l'eau de mer (Stechey et Robertson 2010).
 - Dans un système fermé, on risque d'accroître l'exposition et la propagation des agents pathogènes parce que les densités d'ensemencement seraient plus élevées et les taux de roulement de l'eau seraient inférieurs à l'augmentation de l'accumulation de déchets (y compris les agents pathogènes) (Byrne et al. 2010). Cependant, les systèmes fermés renforcent la séparation des poissons d'élevage par rapport aux poissons sauvages, réduisant le risque de propagation aux populations sauvages.
 - L'interruption complète de l'échange d'agents pathogènes entre un système à circuit fermé et l'environnement n'est sans doute possible que dans un système à recirculation terrestre (Byrne et al. 2010).
 - L'élimination des agents pathogènes implique le traitement des flux d'eau intrants et extrants, dont l'efficacité n'a pas encore été déterminée (Byrne et al. 2010).

AQUACULTURE

Références

Références

- Alder J, Campbell B, Karpouzi V, Kaschner K, Pauly D (2008) Forage fish: from ecosystems to markets. *Annu Rev Env Resour* 33: 153-166.
- Ayer NW et Tyedmers PH (2009) Assessing alternative aquaculture technologies: Life cycle assessment of salmonid culture systems in Canada. *J Clean Prod* 17(3): 362-373.
- Barker DE, Braden LM, Coombs MP, Boyce B (2009) Preliminary studies on the isolation of bacteria from sea lice, *Lepeophtheirus salmonis*, infecting farmed salmon in British Columbia, Canada. *Parasitol Res* 105(4): 1173-1177.
- Beamish R, Gordon E, Jones S, Neville C, Lange K, Sweeting R, Wade J, Pennell W (2009) A large, natural infection of sea lice on juvenile Pacific salmon in the Gulf Islands area of British Columbia, Canada. *Aquaculture* 297(1-4): 31-37.
- Bielmyer GK, Grosell M, Brixti KV (2006) Toxicity of silver, zinc, copper, and nickel to the copepod *Acartia tonsa* exposed via a phytoplankton diet. *Environ Sci Technol* 40(6): 2063-8.
- Borja A, Rodriguez JG, Muxika I, Black K, Nickell TD, Bodoy A, Emblow C, Fernandes TF, Forte J, Karakassis I, Papageorgiou N, Sevastou K, Pranovi F, Tomassetti P, Angel D (2009) Assessing the suitability of a range of benthic indices in the evaluation of environmental impact of fin and shellfish aquaculture located in sites across Europe. *Aquaculture* 293(3-4): 231-240.
- Bourret V, Bernatchez L, O'Reilly PT, Carr JW, Berg PR (2011) Temporal change in genetic integrity suggests loss of local adaptation in a wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) population following introgression by farmed escapees. *Heredity* 106(3): 500-510.
- Brauner CJ, Sackville M, Gallagher Z, Tang S, Nendick L, Farrell AP (2012) Physiological consequences of the salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*) on juvenile pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*): implications for wild salmon ecology and management, and for salmon aquaculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 367:1770-1779
- Burrige LE, Doe K, Haya K, Jackman PM, Lindsay G, Zitko V (1999) Chemical analysis and toxicity tests on sediments under salmon net pens in the Bay of Fundy. *Can Tech Rep Fish Aquat Sci* 2291: 1-39.
- Burrige LE (2003) Chemical use in marine finfish aquaculture in Canada: a review of current practices and possible environmental effects. *Can Tech Rep Fish Aquat Sci* 2450: 1-131.

AQUACULTURE

Références

- Burrige LE, Hamilton N, Waddy SL, Haya K, Mercer SM, Greenhalgh R, Tauber R, Radecki SV, Crouch LS, Wislocki PG, Endris RG (2004) Acute toxicity of emamectin benzoate (SLICE™) in fish feed to American lobster, *Homarus americanus*. *Aquacult Res* 35(8): 713-722.
- Burrige LE, Haya K, Waddy SL (2005) Seasonal lethality of the organophosphate pesticide, azamethiphos to female American lobster (*Homarus americanus*). *Ecotox Environ Safe* 60(3): 277-81.
- Burrige LE, Haya K, Waddy SL (2008) The effect of repeated exposure to azamethiphos on survival and spawning in the American lobster (*Homarus americanus*). *Ecotox Environ Safe* 69(3): 411-415.
- Burrige L, Weis JS, Cabello F, Pizarro J, Bostick K (2010) Chemical use in salmon aquaculture: A review of current practices and possible environmental effects. *Aquaculture* 306(1-4): 7-23.
- Burt K, Hamoutene D, Mabrouk G, Lang C, Puestow T (2012) Environmental conditions and occurrence of hypoxia within production cages of Atlantic salmon on the south coast of Newfoundland. *Aquacult Res* 43(4): 607-620.
- Byrne P, Westcott J, McClure C, Caraguel C, Hammell L (2010) Mitigating pathogen transmission for commercial solid wall marine salmon farms in British Columbia – a concept paper: disinfection technologies, biosecurity, and animal health. In: Chadwick EMP, Parsons GJ, Sayavong B (eds) *Evaluation of closed-containment technologies for saltwater salmon aquaculture*. Presses scientifiques du CNRC, Ottawa, p 111-130.
- Cabello FC (2003) Antibiotics and aquaculture: an analysis of their potential impact upon the environment, human and animal health in Chile. *Fundacion Terram Analisis de Politicas Publicas* 17: 1-16. Consulté le 10 août. www.terram.cl/index.
- Carr JW et Whoriskey FG (2006) The escape of juvenile farmed Atlantic salmon from hatcheries into freshwater streams in New Brunswick, Canada. *ICES J Mar Sci* 63(7): 1263-1268.
- Chadwick EMP, Parsons GJ, Sayavong B (eds) (2010) *Evaluation of closed-containment technologies for saltwater salmon aquaculture*, Vol. Presses scientifiques du CNRC, Ottawa, Ontario, Canada. 160 pp.
- Clark, J.R., Patrick Jr., J.M., Moore, J.C., Loes, E.M., 1987. Waterborne and sediment-source toxicities of six organic chemicals to grass shrimp (*Palaemonetes pugio*) and amphioxus (*Branchiostoma caribaeum*). *Arch Environ Con Tox* 16(4): 401-407.
- Connors B, Krkosek M, Ford J, Dill L (2010) Coho salmon productivity in relation to salmon lice from infected prey and salmon farms. *J Appl Ecol* 47(6): 1372-1377.

AQUACULTURE

Références

- Costello MJ (2009) How sea lice from salmon farms may cause wild salmonid declines in Europe and North America and be a threat to fishes elsewhere. *P Roy Soc B-Biol Sci* 276(1672): 3385-3394.
- Cottee S et Petersan P (2009) Animal welfare and organic aquaculture in open systems. *J Agr Environ Ethics* 22(5): 437-461.
- Coyne R, Hiney M, Smith P (1997) Transient presence of oxytetracycline in blue mussels (*Mytilus edulis*) following its therapeutic use at a marine Atlantic salmon farm. *Aquaculture* 149: 175-181.
- Davis JH (1985) The pyrethroids: an historical introduction. In: Leahey JP (ed) *The pyrethroid insecticides*. Taylor and Francis Ltd., London, 1-41.
- Dean RJ, Shimmield TM, Black KD (2007) Copper, zinc and cadmium in marine cage fish farm sediments: an extensive survey. *Environ Pollut* 145(1): 84-95.
- Ernst W, Jackman P, Doe K, Page F, Julien G, Mackay K, Sutherland T (2001) Dispersion and toxicity to non-target aquatic organisms of pesticides used to treat sea lice on salmon in net pen enclosures. *Mar Pollut Bull* 42: 433-444.
- Fairchild WL, Doe KG, Jackman PM, Arsenault JT, Aubé JG, Losier M, Cook AM (2010) Acute and chronic toxicity of two formulations of the pyrethroid pesticide deltamethrin to an amphipod, sand shrimp and lobster larvae. *Can Tech Rep Fish Aquat Sci* 2876: 1-34.
- Fitridge I, Dempster T, Guenther J, de Nys R (2012) The impact and control of biofouling in marine aquaculture: a review. *Biofouling* 28(7): 649-669.
- Fleming I, Hindar K, Mjølnerød I, Jonsson B, Balstad T, Lamberg A (2000) Lifetime success and interactions of farm salmon invading a native population. *Proc Biol Sci* 267(1452): 1517-1523
- Ford JS et Myers RA (2008) A global assessment of salmon aquaculture impacts on wild salmonids. *PloS Biol* 6(2): 0411-0417.
- Forster J et Slaski R (2010) Review of past experience. In: Chadwick EMP, Parsons GJ, Sayavong B (eds) *Evaluation of closed-containment technologies for saltwater salmon aquaculture*. Presses scientifiques du CNRC, Ottawa, p 5-25.
- Fortt ZA, Cabello FC, Buschmann RA (2007) Residues of tetracycline and quinolones in wild fish living around a salmon aquaculture center in Chile. *Rev Chil Infectol* 24: 14-18.
- Fraser DJ, Houde ALS, Debes PV, Hutchings JA, O'Reilly P, Eddington JD (2010) Consequences of farmed-wild hybridization across divergent wild populations and multiple traits in salmon. *Ecol Appl* 20(4): 935-953.

AQUACULTURE

Références

- Giles H (2008) Using Bayesian networks to examine consistent trends in fish farm benthic impact studies. *Aquaculture* 274(2-4): 181-195
- Grave K, Lingaas E, Bangen M, Ronning RM (1999) Surveillance of the overall consumption of antibacterial drugs in humans, domestic animals and farmed fish in Norway in 1992 and 1996. *J Antimicrob Chemoth* 43: 243-252.
- Hammell KL et Dohoo IR (2005) Mortality patterns in infectious salmon anaemia virus outbreaks in New Brunswick, Canada. *J Fish Dis* 28(11): 639-50.
- Hargrave BT (2010) Empirical relationships describing benthic impacts of salmon aquaculture. *Aquacult Environ Interact* 1: 33-46.
- Hargrave BT (2003) Far-field environmental effects of marine finfish aquaculture. *Can Tech Rep Fish Aquat Sci* 2450: 1-49.
- Harvey J et Milewski I (2007) Salmon aquaculture in the Bay of Fundy: an unsustainable industry. Conservation Council of New Brunswick Inc., Fredericton, 1-65.
- Hindar K, Fleming IA, Mcginnity P, Diserud O (2006) Genetic and ecological effects of salmon farming on wild salmon: modelling from experimental results. *ICES J of Mar Sci* 63(7): 1234-1247.
- Hutchings JA, Côté IM, Dodson JJ, Fleming IA, Jennings S, Mantua NJ, Peterman RM, Riddell BE, Weaver AJ, VanderZwaag DL (2012) Sustaining Canadian marine biodiversity: responding to the challenges posed by climate change, fisheries, and aquaculture. Expert panel report prepared for the Royal Society of Canada, Ottawa, p1-315.
- Jackon, A (2009) Fish in–fish out ratios explained. *Aquaculture Europe* 34(3): 5-10.
- Johnson SC, Treasurer JW, Bravo S, Nagasawa K, Kabata Z (2004) A review of the impact copepods on marine aquaculture. *Zool Stud* 43: 229–243.
- Jimenez JE, Arriagada AM, Fonturbel FE, Camus PA, Avila-Thieme MI (2013) Effects of exotic fish farms on bird communities in lake and marine ecosystems. *Naturwissenschaften* 100:779-787
- Krkošek M, Lewis MA, Volpe JP (2005) Transmission dynamics of parasitic sea lice from farm to wild salmon. *Proc Biol Sci* 272(1564): 689-696.
- Krkošek M, Gottesfeld A, Proctor B, Rolston D, Carr-Harris C, Lewis MA (2007) Effects of host migration, diversity, and aquaculture on sea lice threats to Pacific salmon populations. *P Roy Soc Lond B Bio* 274:3141–3149.

AQUACULTURE

Références

- Krkošek M, Connors BM, Morton A, Dill LM, Lewis MA, Hilborn R (2011a) Effects of parasites from salmon farms on productivity of wild salmon. *P Natl Acad Sci USA* 108(35): 14700-14704.
- Krkošek M, Lewis MA, Hilborn R, Connors BM, Mages P, Dill LM, Ford H, Peacock S, Volpe JP, Ford JS, Alexandra M (2011b) Fish farms, parasites, and predators: implications for salmon population dynamics. *Ecol Appl* 21(3): 897-914.
- Krkošek M et Hilborn R (2011) Sea lice (*Lepeophtheirus salmonis*) infestations and the productivity of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) in the Broughton Archipelago, British Columbia, Canada. *Can J Fish Aquat Sci* 68: 17-29.
- Krkošek M, Revie CW, Gargan PG, Skilbrei OT, Finstad B, Todd CD (2013) Impact of parasites on salmon recruitment in the Northeast Atlantic Ocean. *Proc R Soc B* 280: 20122359. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2012.2359>
- Lauer MM et Bianchini A (2010) Chronic copper toxicity in the estuarine copepod *Acartia tonsa* at different salinities. *Environ Toxicol Chem* 29(10): 2297-2303.
- Liu Y, Sumaila U, Volpe J (2011) Potential ecological and economic impacts of sea lice from farmed salmon on wild salmon fisheries. *Ecol Econ* 70(10): 1746-1755.
- Liu Y, Diserud OH, Hindar K, Skonhøft A (2013) An ecological-economic model on the effects of interactions between escaped farmed and wild salmon (*Salmo salar*). *Fish and Fisheries* 14:158-173
- Loucks RH, Smith RE, Fisher CV, Fisher EB (2012) Copper in the sediment and sea surface microlayer near a fallowed, open-net fish farm (Article in Press). *Mar Pollut Bull*. Consulté le 27 juil. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.05.025>.
- Maharajan A, Kumarasamy P, Vaseeharan B, Rajalakshmi S, Vijayakumaran M, Chen JC (2011) Effect of copper on morphology, weight, and chromosomal aberrations in the spiny lobster, *Panulirus homarus* (Linnaeus, 1758). *Biol Trace Elem Res* 144: 769-780.
- Maharajan A, Rajalakshmi S, Vijayakumaran M, Kumarasamy P (2012) Sublethal effect of copper toxicity against histopathological changes in the spiny lobster, *Panulirus homarus* (Linnaeus, 1758). *Biol Trace Elem Res* 145(2): 201-210.
- Marty GD, Saksida SM, Quinn II TJ (2010) Relationship of farm salmon, sea lice, and wild salmon populations. *P Natl Acad Sci USA* 107(52): 22599-22604.
- McConnell A, Routledge R, Connors BM (2010) Effect of artificial light on marine invertebrate and fish abundance in an area of salmon farming. *Mar Ecol Prog Ser* 419: 147-156.

AQUACULTURE

Références

- McGinnity P, Prodöhl P, Ferguson A, Hynes R, Maoiléidigh NÓ, Baker N, Cotter D, O’Hea B, Cooke D, Rogan G, Taggart J, Cross T (2003) Fitness reduction and potential extinction of wild populations of Atlantic salmon, *Salmo salar*, as a result of interactions with escaped farm salmon. *Proc Biol Sci* 270(1532): 2443-2450.
- McLeese DW, Mecalfe CD, Zitko V (1980) Lethality of permethrin, cypermethrin and fenvalerate to salmon, lobster and shrimp. *B Environ Contam Tox* 25: 950-955.
- Miller KM, Li S, Kaukinen KH, Ginther N, Hinch SG, Hruska KA, Hammil E, Curtis JMR, Patterson DA, Sierocinski T, Donnison L, Pavlidis P, Cooke SJ, English KK, Farrell AP (2011) Genomic signatures predict migration and spawning failure in wild Canadian salmon. *Science* 331(6014): 214-217.
- Mladineo I, Segvic-Bubic T, Stanic R, Desdevises Y (2013) Morphological Plasticity and Phylogeny in a Monogenean Parasite Transferring between Wild and Reared Fish Populations. *Plos One* 8 (4): e62011. doi:10.1371/journal.pone.0062011
- Morris M, Fraser D, Heggelin A, Whoriskey F, Carr J, O’Neil S, Hutchings J (2008) Prevalence and recurrence of escaped farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Eastern North American rivers. *Can J Fish Aquat Sci* 65: 2807-2826.
- MPO (Ministère des Pêches et des Océans) (2003) Salmon holding capacity in Southwestern New Brunswick. *Can Tech Rep Fish Aquat Sci* 2489: 1-60. Consulté le 9 août. <http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/275378.pdf>.
- MPO (Pêches et Océans Canada) (2010) Pathways of effects for finfish and shellfish aquaculture. *DFO Can Sci Advis Sec Sci Advis Rep* 2009/071: 1-22. Consulté le 9 août. http://www.dfo-mpo.gc.ca/CSAS/Csas/Publications/SAR-AS/2009/2009_071_e.pdf
- Naylor R, Hindar K, Fleming IA, Goldberg R, Williams S, Volpe J, Whoriskey F, Eagle J, Kelso D, Mangel M (2005) Fugitive salmon: Assessing the risks of escaped fish from net-pen aquaculture. *Bioscience* 55(5): 427-437.
- Naylor RL, Chiu A, Hardy RW, Bureau DP, Hua K, Elliott M, Farrell AP, Forster I, Gatlin DM, Goldberg RJ, Nichols PD (2009) Feeding aquaculture in an era of finite resources. *P Natl Acad Sci USA* 106(36): 15103-15110.
- Nese L et Enger O (1993) Isolation of *Aeromonas salmonicida* from salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* and marine plankton. *Dis Aquat Org* 16(1): 79-81.
- Nylund A (1994) Mechanisms for transmission of infectious salmon anaemia (ISA). *Dis Aquat Org* 19: 95-100.

AQUACULTURE

Références

- Oke KB, Westley PAH, Moreau DTR, Fleming IA (2013) Hybridization between genetically modified Atlantic salmon and wild brown trout reveals novel ecological interactions. Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences 280 20131047. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2013.1047>
- Olsvik PA, Samuelsen OB, Erdal A, Holmelid B, Lunestad BT (2013) Toxicological assessment of the anti-salmon lice drug diflubenzuron on Atlantic cod *Gadus morhua*. Diseases of Aquatic Organisms 105:27-43
- Peacock SJ, Krkosek M, Proboszcz S, Orr C, Lewis MA (2013) Cessation of a salmon decline with control of parasites. Ecological Applications 23:606-620
- Price MH, Proboszcz SL, Routledge RD, Gottesfeld AS, Orr C, Reynolds JD (2011) Sea louse infection of juvenile sockeye salmon in relation to marine salmon farms on Canada's west coast. PLoS One 6(2): 1-9. Consulté le 27 juil. doi:10.1371/journal.pone.0016851.
- Price M, Morton A, Reynolds J (2010) Evidence of farm-induced parasite infestations on wild juvenile salmon in multiple regions of coastal British Columbia, Canada. Can J Fish Aquat Sci 67: 1925-1932.
- Roberge C, Normandeau E, Einum S, Guderley H, Bernatchez L (2008) Genetic consequences of interbreeding between farmed and wild Atlantic salmon: insights from the transcriptome. Mol Ecol 17(1): 314-324.
- Rogers LA, Peacock SJ, McKenzie P, DeDominicis S, Jones SRM, Chandler P, Foreman MGG, Revie CW, Krkosek M (2013) Modeling Parasite Dynamics on Farmed Salmon for Precautionary Conservation Management of Wild Salmon. Plos One 8 (4): e60096. doi:10.1371/journal.pone.0060096
- Rooney RC et Podemski CL (2009) Effects of an experimental rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farm on invertebrate community composition. Can J Fish Aquat Sci 66(11): 1949-1964.
- Saksida SM (2006) Infectious haematopoietic necrosis epidemic (2001 to 2003) in farmed Atlantic salmon *Salmo salar* in British Columbia. Dis Aquat Org 72(3): 213-23.
- Saksida S, Constantine J, Karreman GA, Donald A (2007a) Evaluation of sea lice abundance levels on farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) located in the Broughton Archipelago of British Columbia from 2003 to 2005. Aquacult Res 38(3): 219-231.

AQUACULTURE

Références

- Saksida S, Karreman GA, Constantine J, Donald A (2007b) Differences in *Lepeophtheirus salmonis* abundance levels on Atlantic salmon farms in the Broughton Archipelago, British Columbia, Canada. *J Fish Dis* 30(6): 357-366.
- Samuelsen OB, Lunestad BT, Husevag B, Holleland T, Ervik A (1992) Residues of oxolinic acid in wild fauna following medication in fish farms. *Dis Aquat Organ* 12: 111–119.
- Stechey D et Robertson WD (2010) An overview of closed-containment systems and technologies. In: Chadwick EMP, Parsons GJ, Sayavong B (eds) Evaluation of closed-containment technologies for saltwater salmon aquaculture. Presses scientifiques du CNRC, Ottawa, p 57-110.
- Tacon AGJ et Metian M (2008) Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture* 285(1-4): 146-158.
- Thorstad EB, Fleming IA, McGinnity P, Soto D, Wennevik V, Whoriskey F (2008) Incidence and impacts of escaped farmed Atlantic salmon *Salmo salar* in nature. NINA Special Report 36: 1-110. Consulté le 27 juil. <http://www.nina.no/archive/nina/PppBasePdf/temahefte/036.pdf>.
- Torrissen O, Jones S, Asche F, Guttormsen A, Skilbrei OT, Nilsen F, Horsberg TE, Jackson D (2013) Salmon lice - impact on wild salmonids and salmon aquaculture. *Journal of Fish Diseases* 36:171-194
- Tymchuk WE, Devlin RH, Withler RE (2006) The role of genotype and environment in phenotypic differentiation among wild and cultured salmonids. In: Fisheries and Oceans Canada (ed) A Scientific Review of the Potential Environmental Effects of Aquaculture in Aquatic Ecosystems. Volume IV. *Can Tech Rep Fish Aquat Sci* 2450: 4-10.
- Vike S, Nylund S, Nylund A (2009) ISA virus in Chile: evidence of vertical transmission. *Arch Virol* 154(1): 1-8.
- Volpe JP, Taylor EB, Rimmer DW, Glickman BW (2000) Evidence of natural reproduction of aquaculture-escaped Atlantic salmon in a coastal British Columbia river. *Conserv Biol* 14(3): 899-903.
- Waagbo R, Berntssen MHG, Danielsen T, Helberg H, Kleppa AL, Lea TB, Rosenlund G, Tvenning L, Susort S, Vikesa V, Breck O (2013) Feeding Atlantic salmon diets with plant ingredients during the seawater phase - a full-scale net production of marine protein with focus on biological performance, welfare, product quality and safety. *Aquaculture Nutrition* 19:598-618

AQUACULTURE

Références

- Waddy SL, Burr ridge LE, Hamilton MN, Mercer SM, Aiken DE, Haya K (2002) Emamectin benzoate induces molting in American lobster, *Homarus americanus*. *Can J Fish Aquat Sci* 59: 1096-1099.
- Waddy SL, Merritt VA, Hamilton-Gibson MN, Aiken DE, Burr ridge LE (2007a) Relationship between dose of emamectin benzoate and molting response of ovigerous American lobsters (*Homarus americanus*). *Ecotox Environ Safe* 67(1): 95-99.
- Waddy SL, Mercer SM, Hamilton-Gibson MN, Aiken DE, Burr ridge LE (2007b) Feeding response of female American lobsters, to SLICE® -medicated salmon feed. *Aquaculture* 269(1-4): 123-129.
- White DG, McDermott PF (2009) Antimicrobial resistance in food borne pathogens. In: Jaykus LA, Wang HH, Schlesinger LS (eds) *Food Borne Microbes: Shaping the Host Ecosystem*. ASM Press, Washington, 231–265.
- Willis KJ et Ling N (2003) The toxicity of emamectin benzoate, an aquaculture pesticide, to planktonic marine copepods. *Aquaculture* 221: 289-297.