



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)

Document de recherche 2020/061

Région de la capitale nationale

Caractérisation de la bactérie *Tenacibaculum maritimum* et de la pourriture de la bouche pour informer les évaluations des risques de transfert d'agents pathogènes en Colombie-Britannique

Joy Wade¹ et Lily Weber²

¹Fundy Aqua Services Inc.
1859, Delanice Way
NanOOSE Bay (Colombie-Britannique) V9P 9B3

²Pêches et Océans Canada
Direction des sciences de l'aquaculture, de la biotechnologie
et santé des animaux aquatiques
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

Avant-propos

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

Publié par :

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

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



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

La présente publication doit être citée comme suit :

Wade, J. et Weber, L. 2020. Caractérisation de la bactérie *Tenacibaculum maritimum* et de la pourriture de la bouche pour informer les évaluations des risques de transfert d'agents pathogènes en Colombie-Britannique. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2020/061. vi + 35 p.

Also available in English :

Wade, J. and Weber, L. 2020. *Characterization of Tenacibaculum maritimum and mouthrot to inform pathogen transfer risk assessments in British Columbia. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2020/061. vi + 32 p.*

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	VI
INTRODUCTION	1
OBJET DU PRÉSENT DOCUMENT	2
CONTEXTE	2
MÉTHODES	3
CARACTÉRISATION	3
MALADIE ET PATHOGÈNE.....	3
Pourriture de la bouche	3
Tenacibaculose causée par <i>Tenacibaculum maritimum</i>	4
RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE ET HÔTES	5
Pourriture de la bouche	5
<i>Tenacibaculum maritimum</i>	5
SOUCHES GÉNÉTIQUES	9
MÉTHODES DIAGNOSTIQUES	10
POURRITURE DE LA BOUCHE	10
Définition de cas.....	10
Interprétation des dossiers de diagnostic	10
TENACIBACULOSE CAUSÉE PAR <i>TENACIBACULUM MARITIMUM</i>	12
INFECTION ET MALADIE.....	12
POURRITURE DE LA BOUCHE	12
<i>TENACIBACULUM MARITIMUM</i>	13
TRANSMISSION.....	13
Réservoirs.....	14
Paramètres du milieu	14
Biofilms	15
Transmission horizontale.....	16
VIRULENCE ET PATHOGÉNICITÉ	16
Modèles expérimentaux	16
Éclosions.....	18
GESTION DE LA SANTÉ.....	18
CONTRÔLE ET PRÉVENTION.....	18
Vaccins	19
Traitement.....	19
OCCURENCE EN COLOMBIE-BRITANNIQUE	20
SAUMON D'ÉLEVAGE	20
Programme de vérification et de surveillance de la santé du poisson.....	21

Événements liés à la santé des poissons	24
Épisodes de mortalité.....	25
LACUNES DANS LES CONNAISSANCES.....	26
SOMMAIRE	26
RÉFÉRENCES CITÉES.....	27

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Exemples d'espèces de poissons-téléostéens hôtes ou les espèces hôtes soupçonnées de <i>Tenacibaculum maritimum</i> et leur origine géographique.	6
Tableau 2. Nombre total et nombre moyen mensuel de vérifications effectuées dans les fermes d'élevage de saumon atlantique en Colombie-Britannique. de 2002 à 2018.	22
Tableau 3. Sommaire des diagnostics de pourriture de la bouche posés au niveau des fermes d'élevage à partir des vérifications effectuées par le gouvernement provincial de la Colombie - Britannique. (2002-2010) et la Division de la gestion de l'aquaculture du MPO (2011-2018) chez des saumons atlantiques d'élevage.	23
Tableau 4. Résumé des événements liés à la santé des poissons (ESP) (2002-2018) attribuables à la pourriture de la bouche chez le saumon atlantique d'élevage et signalés par l'industrie.....	25

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Carte des zones de surveillance de la santé des poissons de Pêches et Océans Canada (MPO).....	21
--	----

RÉSUMÉ

La pourriture de la bouche est une maladie propre aux salmonidés de la Colombie-Britannique (C.-B.) et des États-Unis du nord-ouest du Pacifique. Récemment, il a été confirmé que la bactérie *Tenacibaculum maritimum* est l'agent causal. Les tests en laboratoire ont été effectués sur des saumons atlantiques (*Salmo salar*) norvégiens et des isolats de saumons atlantiques d'élevage de la Colombie-Britannique qui présentaient des signes cliniques de la maladie. *T. maritimum* est une bactérie filamenteuse à Gram négatif qui, dans les régions situées en dehors de la Colombie-Britannique et du nord-ouest des États-Unis, provoque la tenacibaculose, une infection qui touche de nombreuses espèces de poissons d'eau salée dans le monde entier. Il existe des différences entre les signes cliniques et la pathologie générale associés aux souches de *T. maritimum* responsables de la pourriture de la bouche et de la tenacibaculose. En raison de ces différences et du fait que la pourriture de la bouche n'est présente que dans cette région visée par l'évaluation des risques, il est important de séparer les informations relatives à *T. maritimum* qui cause la pourriture de la bouche et celles relatives aux espèces de *Tenacibaculum* qui causent la tenacibaculose.

Entre 2002 et 2018, à la suite de 1446 vérifications de la santé des poissons réalisées dans des fermes d'élevage de saumon atlantique en Colombie-Britannique, 106 diagnostics de pourriture de la bouche ont été établis à l'échelle de l'élevage. La pourriture de la bouche a été diagnostiquée chaque année depuis 2003 dans toutes les zones de surveillance de la santé des poissons où des vérifications ont été effectuées. La déclaration des événements liés à la santé des poissons (ESP) n'était pas obligatoire de 2013 à 2015, mais de 2002 à 2013 et de 2015 à 2018, 537 ESP associés à la pourriture de la bouche ont été signalés dans des fermes d'élevage de saumon atlantique en Colombie-Britannique.

INTRODUCTION

Pêches et Océans Canada (MPO) assume le rôle réglementaire d'assurer la protection de l'environnement tout en créant les conditions de développement d'un secteur de l'aquaculture durable sur les plans économique, social et environnemental. L'élaboration d'un cadre d'évaluation des risques scientifiques liés à l'aquaculture était un engagement pris dans le cadre du Programme d'aquaculture durable (PAD) de 2008 et s'appuie sur les travaux entrepris pour la validation scientifique par les pairs des séquences des effets de l'aquaculture (MPO, 2015) par le Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS). Ce cadre est une approche officielle de la fourniture d'avis axé sur le risque qui est conforme aux activités menées actuellement par le Secteur des sciences de l'aquaculture et qui fait partie du Cadre de gestion des risques du Programme d'aquaculture durable dans son ensemble.

Il est reconnu qu'il existe des interactions entre les opérations d'aquaculture et l'environnement (Grant et Jones, 2010; Foreman *et al.*, 2015). Une série d'évaluations du risque environnemental sont en cours pour examiner les agents de stress environnementaux suivants résultant des activités aquacoles : altération physique de la structure de l'habitat; altération de la lumière; bruit; rejet de produits chimiques et de déchets; rejet/élimination de nutriments, d'organismes non cultivés et d'autres matières organiques; rejet/élimination de poissons et rejet d'agents pathogènes. Le rejet d'agents pathogènes est le premier de ces agents de stress à être évalué.

En guise de réponse partielle aux résultats de Cohen (2012), la Division de la gestion de l'aquaculture du MPO a demandé un avis scientifique officiel sur les risques de transfert d'agents pathogènes des fermes d'élevage de saumon atlantique (*Salmo salar*) au saumon rouge du fleuve Fraser (*Oncorhynchus nerka*). Étant donné la complexité des interactions entre les agents pathogènes, les hôtes et l'environnement, le MPO publie le présent avis scientifique, qui sera suivi d'une synthèse, dans le cadre d'une série d'évaluations des risques propres aux agents pathogènes. Les agents pathogènes pouvant être évalués ont été déterminés dans le cadre du Programme de vérification et de surveillance de la santé du poisson (PVSSP) de la Colombie-Britannique et du MPO et des événements liés à la santé des poissons déclarés par l'industrie.

En 2014, le Ministère a entrepris la première d'une série d'évaluations des risques liés aux agents pathogènes afin de déterminer le risque pour la diversité et l'abondance du saumon rouge du fleuve Fraser attribuable au transfert du virus de la nécrose hématopoïétique infectieuse (VNHI) à partir des fermes d'élevage de saumon atlantique des îles Discovery. L'évaluation des risques a été examinée dans le cadre du processus d'examen par les pairs du Secrétariat canadien de consultation scientifique et menée à bien en 2017 (Mimeault *et al.*, 2017). En 2018, des évaluations des risques similaires ont été menées sur quatre pathogènes bactériens, notamment *Renibacterium salmoninarum*, *Aeromonas salmonicida*, *Yersinia ruckeri* et *Piscirickettsia salmonis*. Au début de 2019, le ministère a entrepris une évaluation des risques liés à l'orthoréovirus pisciaire (PRV). Dans cette prochaine série d'évaluations, il détermine le risque pour le saumon rouge sauvage du fleuve Fraser, dans les îles Discovery, associé à deux autres infections bactériennes trouvées dans les fermes d'élevage de saumon atlantique de la région, l'ulcère d'hiver (*Moritella viscosa*) et la pourriture de la bouche (*Tenacibaculum maritimum*). Le présent document résume l'information sur *T. maritimum*, l'agent causal de la pourriture de la bouche.

OBJET DU PRÉSENT DOCUMENT

L'information résumée dans le présent document aidera à évaluer le risque pour le saumon rouge du fleuve Fraser découlant du transfert de *T. maritimum*, l'agent causal de la pourriture de la bouche à partir de fermes d'élevage de saumon atlantique situés dans la région des îles Discovery, en Colombie-Britannique. L'objet de ce document n'est pas de procéder à un examen exhaustif de *T. maritimum*, mais plutôt de mettre l'accent sur la répartition naturelle de l'agent pathogène et sur les caractéristiques qui influent sur sa transmissibilité, sa pathogénicité et sa virulence pour les espèces sauvages sensibles présentes dans la région des îles Discovery.

CONTEXTE

La pourriture de la bouche est un problème important chez le saumon atlantique d'élevage en Colombie-Britannique.; la plus grande utilisation d'antimicrobiens de l'industrie est effectuée pour traiter la pourriture de la bouche (Morrison et Saksida, 2013; T. Hewison in Powell et Podlasly, 2015). La mortalité chronique associée à la pourriture de la bouche peut atteindre 15 % (Anonymous, 1996; Ostland *et al.*, 1999). Une entreprise rapporte que le coût annuel des épidémies s'élève à plus de 1,6 million de dollars (T. Hewison in Powell et Podlasly (2015)).

La pourriture de la bouche a été observée chez des saumoneaux d'élevage (aucune espèce précisée) à Puget Sound depuis la fin des années 1980 (Frelief *et al.*, 1994); des foyers attribués à la pourriture de la bouche ont été signalés chez des saumoneaux d'élevage atlantique élevés en cages d'eau salée dès 1994. Ils étaient identifiés comme être causés par la bactérie *Flexibacter maritimus* (Ostland *et al.*, 1999). *T. maritimum*, l'agent causal, n'a été confirmé qu'en 2018 (Frisch *et al.*, 2018a; Frisch *et al.*, 2018b), mais on le soupçonnait de contribuer à la maladie depuis de nombreuses années. Bien que la confirmation récente de l'agent causal représente un gain important, la pourriture de la bouche est considérée comme une maladie complexe à laquelle contribuent probablement de nombreux facteurs, notamment les conditions environnementales, la situation géographique, la condition des poissons et possiblement d'autres bactéries.

Le terme tenacibaculose désigne une infection causée par une bactérie du genre *Tenacibaculum*. Comme il peut désigner des infections causées par de nombreuses espèces différentes de *Tenacibaculum* présentant des signes cliniques variables, il est important de respecter la terminologie. Par exemple, la tenacibaculose chez le saumon atlantique en Norvège est le plus souvent le résultat d'une infection à *T. finnmarkense*. Elle est considérée comme une maladie ulcéreuse caractérisée par des nageoires effilochées, des lésions cutanées et une érosion de la bouche et, communément identifiée en culture mixte avec *Moritella viscosa* (Olsen *et al.*, 2011; Bornø et Lie, 2015; Småge *et al.*, 2016; Småge *et al.*, 2018). Chez le saumon atlantique élevé au Canada atlantique, des signes cliniques similaires à ceux décrits en Norvège ont été signalés, mais n'étaient pas automatiquement associés à des ulcères cutanés (Steve Leadbeater, MPO, 125, promenade Marine Science, St. Andrews, Nouveau-Brunswick, E5B 0E4, comm. pers., 2019). Une étude récente en laboratoire a confirmé que l'agent causal de la tenacibaculose est *T. finnmarkense* (Steve Leadbeater, comm. pers., 2019).

Les signes cliniques et la pathologie générale associés aux souches de *T. maritimum* qui provoquent la pourriture de la bouche et aux infections à *Tenacibaculum* qui entraînent la tenacibaculose sont différents et décrits dans la section sur la caractérisation des pathogènes. Dans le présent document, les recherches relatives à la pourriture de la bouche seront séparées de celles relatives à la tenacibaculose, et la priorité leur sera accordée.

MÉTHODES

Une recherche documentaire d'articles évalués par des pairs a été entreprise au moyen de Google Scholar, Google, le moteur de recherche USearch de la bibliothèque de l'Université de la Saskatchewan et le moteur de recherche de l'Université de l'île de Vancouver. Les moteurs de recherche ont accès à une variété de bases de données, dont celles couramment utilisées dans la recherche en biologie, comme Web of Science, Ovid et Scopus.

Les termes précis suivants ont servi pour effectuer les recherches : « pourriture de la bouche », « tenacibaculose », « myxobactérie », « stomatite », « *Tenacibaculum* », « *Flexibacter maritimus** », « bouche jaune » et la plupart en combinaison avec « saumon atlantique », « saumon rouge », « saumon du Pacifique », « épidémie », « infection », « maladie », « transmission », « biofilm », « mortalité », « vaccin », « exposition », « Colombie-Britannique » et « espèces sensibles ».

La priorité a été accordée aux documents publiés après 1980, pour des raisons d'accessibilité, mais surtout en raison de l'amélioration des méthodes de détection et d'explication des pathogènes. Les références pertinentes citées dans ces documents ont également été obtenues.

Des recherches Google de documents non évalués par des pairs, ou « documents non officiels », ont été effectuées, avec les mêmes termes que ceux indiqués ci-dessus.

Les livres et les manuels de référence les plus utilisés sur les maladies des poissons, notamment : *Diseases of Seawater Netpen-Reared Salmonid Fishes* (Kent et Poppe, 1998), *Diseases and Disorders of Finfish in Cage Culture* (Woo et al., 2002), *Fish Diseases and Disorders Vol. 3* (Woo et Bruno, 2011), *Bacterial Fish Pathogens Disease of Farmed and Wild Fish* (Austin et Austin, 2012) ainsi que les manuels sur la santé des poissons de Hicks (1989) et de Kent (1992) ont également été consultés pour obtenir des informations pertinentes.

Plusieurs des mêmes termes de recherche ont servi pour effectuer des recherches précises sur les sites Web des organisations suivantes : [Gouvernement du Canada](#), [Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture](#) (FAO).

Les données de laboratoire et l'interprétation des résultats ont été demandées au MPO, Division de la gestion de l'aquaculture. Des données propres aux fermes d'élevage, notamment sur les périodes de stockage et la biomasse des poissons, ont également été demandées à la Division de la gestion de l'aquaculture. Si nécessaire, des appels téléphoniques ont été effectués pour compléter les informations obtenues dans les dossiers gouvernementaux ou les rapports du secteur.

CARACTÉRISATION

MALADIE ET PATHOGÈNE

Pourriture de la bouche

En Colombie-Britannique, la pourriture de la bouche est communément signalée comme une stomatite bactérienne, une stomatite myxobactérienne ou une stomatite ulcéreuse, qui sont des termes généraux pour désigner une infection bactérienne de la bouche. La maladie a été officiellement décrite pour la première fois au début des années 1990 comme une infection bactérienne unique de la bouche du saumon atlantique dans le nord-ouest des États-Unis et en Colombie-Britannique (Ostland et al., 1999).

Jusqu'à récemment, l'agent ou les agents responsables de l'inflammation buccale étaient inconnus, mais il existait des preuves que la bactérie *T. maritimum* y contribuait, notamment dans les recherches de Ostland *et al.* (1999) et de Frelier *et al.* (1994). Grâce aux travaux récents de Frisch *et al.* (2017; 2018a; 2018b) sur des isolats de la pourriture de la bouche provenant de saumons atlantiques d'élevage de la Colombie-Britannique, il est possible de confirmer que *T. maritimum* est l'agent causal. Dans les sections qui suivent, l'utilisation du terme pourriture de la bouche fait référence aux souches de *T. maritimum* qui causent la pourriture de la bouche, mais pas à toutes les souches de *T. maritimum*.

Tenacibaculum maritimum (anciennement *Flexibacter maritimus*) est une bactérie aérobie, à Gram négatif, mucilagineuse et filamenteuse (Wakabayashi *et al.*, 1986; Suzuki *et al.*, 2001; Avendaño-Herrera *et al.*, 2006d); famille des Flavobacteriaceae, genre *Tenacibaculum* et espèce *maritimum* (Loch et Faisal, 2015). La famille des *Flavobacteriaceae* comprend plus de 100 genres au sein de l'embranchement *Bacteroidetes* (Bernardet et Nakagawa, 2006; Bernardet, 2010; Ludwig *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2012). Les membres de la division *Bacteroidetes* se trouvent dans la plupart des habitats de la planète (Kirchman, 2002). *Au sein de la division des Bacteroidetes, le groupe des Cytophaga-Flavobacteria* est présent à la fois dans les eaux douces et les eaux salées (Kirchman, 2002). Dans la plupart des habitats marins, il s'agit du groupe le plus abondant de tous les groupes bactériens (Kirchman, 2002).

Tenacibaculum maritimum a besoin d'un milieu composé d'au moins 30 % d'eau salée pour se développer (Wakabayashi *et al.*, 1986). Il a été démontré que les isolats de pourriture de la bouche ont besoin d'un milieu composé d'au moins 50 % d'eau salée pour se développer (Ostland *et al.*, 1999). Il s'agit d'un membre naturel de la communauté bactérienne marine (Habib *et al.*, 2014).

Les signes cliniques et la pathologie générale du saumon atlantique qui a contracté la pourriture de la bouche comprennent : léthargie, émaciation et anorexie; certains poissons peuvent présenter des secousses de la tête ou des reflots (Kent, 1992). Des couches bactériennes jaunes autour du palais, des dents et du vomer sont présentes au début de l'infection (Kent, 1992). Au fur et à mesure que la maladie progresse, les poissons développent de multiples ulcères dans la bouche avec de grandes couches bactériennes jaunes (Kent, 1992; Frelier *et al.*, 1994). Les lésions se trouvent typiquement dans les régions de la dentition, notamment les os prémaxillaires, dentaires, vomériens et palatins, et peuvent entraîner la perte des dents (Frelier *et al.*, 1994). Les lésions peuvent s'étendre aux arcs branchiaux et à l'œsophage; dans les cas graves, les mâchoires peuvent être complètement érodées (Kent, 1992). Les poissons gravement infectés cessent de s'alimenter (Kent, 1992). Cette manifestation clinique, la présence de plaques associées aux dents, n'a été signalée dans aucune autre région de ferme d'élevage de saumon atlantique, même en présence de *T. maritimum* (Frisch *et al.*, 2018b).

Tenacibaculose causée par *Tenacibaculum maritimum*

Le terme tenacibaculose désigne les infections des poissons d'eau salée causées par plusieurs *Tenacibaculum* spp., et non seulement la bactérie *T. maritimum*. On l'associe aux maladies suivantes : myxobactériose à *Flexibacter columnaris* de l'eau salée, maladie à bactérie mucilagineuse des poissons d'eau salée, stomatite bactérienne, syndrome de la bouche érodée et nécrose à plaques noires (Avendaño-Herrera *et al.*, 2006d). La pathologie de la tenacibaculose diffère de celle de la pourriture de la bouche.

La pathologie de la tenacibaculose associée à l'infection par *T. maritimum* comprend : des lésions à la surface du corps, comme des ulcères, des nécroses, une bouche érodée; des nageoires effilochées; une pourriture de la queue; et parfois, une nécrose des branchies et des yeux (McVicar et White, 1979; Campbell et Buswell, 1982; Baxa *et al.*, 1986; Devesa *et al.*,

1989; Alsina et Blanch, 1993; Chen *et al.*, 1995; Handler *et al.*, 1997; Ostland *et al.*, 1999; Cepeda et Santos, 2002; Jansson et Vennerström, 2014).

RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE ET HÔTES

Pourriture de la bouche

La nourriture de la bouche a été diagnostiquée chez le saumon atlantique d'élevage en Colombie-Britannique (Ostland *et al.*, 1999) et dans l'État de Washington (Frelie *et al.*, 1994), dans la truite arc-en-ciel d'élevage dans l'État de Washington (Frelie *et al.*, 1994) et dans le saumon quinnat d'élevage (*O. tshawytscha*) en Colombie-Britannique. (voir le Programme de vérification et de surveillance de la santé du poisson).

La nourriture de la bouche n'a pas été diagnostiquée chez le saumon coho d'élevage (*O. kisutch*) en Colombie-Britannique-B. (MPO, 2019b, c). Aucune description de la nourriture de la bouche n'a été signalée chez les espèces de poissons sauvages en Colombie-Britannique ou dans l'État de Washington. Kent et Poppe (1998) mentionnent que l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) élevé en cage a été atteint par l'infection, mais ne fournissent aucune origine géographique ou citation pour pouvoir le confirmer.

Aucune référence qui décrit l'isolement bactérien de *T. maritimum* ou de la nourriture de la bouche chez le saumon rouge n'a été trouvée. Cependant, Nekouei *et al.* (2018) signalent la détection de *T. maritimum* chez cinq des 2 006 jeunes saumons rouges du fleuve Fraser qui ont été soumis à une analyse PCR quantitative microfluidique à haute capacité. Les échantillons de tissus comprenaient des branchies, donc il faut aussi inclure la possibilité d'une contamination externe.

Tenacibaculum maritimum a été isolé à partir de lésions corporelles et de branchies (pas de la bouche) de saumon quinnat et d'acoupa blanc (*Atractoscion nobilis*) (Chen *et al.*, 1995) et de lésions corporelles (pas de la bouche) d'anchois du Pacifique (*Engraulis mordax*) et de sardine du Pacifique (*Sardinops sagax*) de la Californie (Tableau 1) (Chen *et al.*, 1995). Aucun de ces poissons ne présentait de plaques typiques de la nourriture de la bouche.

Deux autres rapports des documents (Sawyer, 1976; Hilger *et al.*, 1991) sont parfois attribués à *T. maritimum* ou à la nourriture de la bouche, mais les informations qui permettent de confirmer le diagnostic de cette maladie ne sont pas suffisantes. Le premier rapport signale un « parasite jaune » trouvé chez les jeunes de l'année de la morue de l'Atlantique (*Gadus morhua*) dans la zone littorale de la mer des Wadden allemande (Hilger *et al.*, 1991). Il ne semble pas qu'il s'agisse d'un parasite buccal, car la pathologie est différente et la bactérie a réussi à se développer dans un milieu d'eau douce. Le second rapport signale une épidémie de « maladie myxobactérienne » chez des saumoneaux coho du Maine, aux États-Unis (Sawyer, 1976). Comme pour Hilger *et al.* (1991), la pathologie décrite dans Sawyer (1976) n'est pas similaire à celle décrite pour la nourriture de la bouche, et la bactérie s'est développée dans un milieu contenant à la fois 50 % d'eau salée et 1,5 % de NaCl seul. *T. maritimum* a besoin d'eau salée pour se développer (Wakabayashi *et al.*, 1986; Ostland *et al.*, 1999; Toranzo *et al.*, 2005; Avendaño-Herrera *et al.*, 2006d) ce qui cadre avec les conclusions de Sawyer (1976), mais il a été confirmé qu'aucune croissance ne se produit en présence de NaCl seul (Santos *et al.*, 1999; Avendaño-Herrera *et al.*, 2006d).

Tenacibaculum maritimum

La répartition de la bactérie *Tenacibaculum maritimum* est mondiale, et elle touche de nombreuses espèces de poisson d'eau salée (Tableau 1). Elle a été identifiée chez les salmonidés, notamment la truite arc-en-ciel (*O. mykiss*) en Australie et aux É.-U. (Frelie *et al.*,

1994; Soltani *et al.*, 1996; Handler *et al.*, 1997), le saumon quinnat d'élevage en Californie et en Nouvelle-Zélande (Frelie *et al.*, 1994; Chen *et al.*, 1995) ainsi que le saumon atlantique en Espagne (Pazos *et al.*, 1993; Ferguson *et al.*, 2010), en Australie (Soltani et Burke, 1994; Handler *et al.*, 1997; Powell *et al.*, 2004), au Chili (Apablaza *et al.*, 2017), en Écosse (Ferguson *et al.*, 2010), dans l'État de Washington (Frelie *et al.*, 1994) et en Colombie-Britannique. (Hicks, 1989; Frisch *et al.*, 2017).

Tableau 1. Exemples d'espèces de poissons-téléostéens hôtes ou les espèces hôtes soupçonnées de *Tenacibaculum maritimum* et leur origine géographique.

Nom commun	Espèce	Pays	Référence
Salmonidés			
Saumon atlantique	<i>Salmo salar</i>	Espagne	Pazos <i>et al.</i> (1993) dans Ferguson <i>et al.</i> (2010)
		Australie	Soltani et Burke (1994); Handler <i>et al.</i> (1997); Powell <i>et al.</i> (2004)
		Canada (C.-B.)	Hicks (1989); Kent (1992); Ostland <i>et al.</i> (1999); Frisch <i>et al.</i> (2017)
		Chili	Apablaza <i>et al.</i> (2017)
		Écosse	Ferguson <i>et al.</i> (2010)
		États-Unis (Washington)	Frelie <i>et al.</i> (1994)
		Norvège	PHARMAQ-Analytiq, 2017
		Irlande	Downes <i>et al.</i> (2018)
Saumon chinook	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	É.-U. (Californie)	Chen <i>et al.</i> (1995)
		Nouvelle-Zélande	Brosnahan <i>et al.</i> (2018)
Saumon coho	<i>Oncorhynchus kisutch</i>	Canada	Nekouei <i>et al.</i> (2019)
Truite arc-en-ciel	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Australie	Soltani <i>et al.</i> (1996); Handler <i>et al.</i> (1997)
		États-Unis (Washington)	Frelie <i>et al.</i> (1994)
Saumon rouge	<i>Oncorhynchus nerka</i>	Canada	Nekouei <i>et al.</i> (2018)
Espèces autres que les salmonidés			
Perche barramundi	<i>Lates calcarifer</i>	Singapour	Labrie (2008)
		Australie	Soltani <i>et al.</i> (1996)
Pagre picnic	<i>Acanthopagrus butcheri</i>	Australie	Handler <i>et al.</i> (1997)
Poisson-demoiselle noir	<i>Neoglyphieodon meles</i>	Ornemental	ICES (2019)
		Égypte	Abd El-Galil et Hashiem (2011)
Dorade grise	<i>Acanthopagrus schlegelii</i>	Japon	Masumura et Wakabayashi (1977); Wakabayashi <i>et al.</i> (1984); Wakabayashi <i>et al.</i> (1986)

Nom commun	Espèce	Pays	Référence
Dorade rose	<i>Pagellus bogaraveo</i>	Espagne	Castro <i>et al.</i> (2007)
Vieille balayette	<i>Cheilinus lunulatus</i>	Égypte	Abd El-Galil et Hashiem (2012)
Limande-sole	<i>Solea solea</i>	Royaume-Uni	McVicar et White (1979, 1982); Bernardet <i>et al.</i> (1990)
		Pays-Bas	Habib <i>et al.</i> (2014)
		Espagne	Avendaño-Herrera <i>et al.</i> (2004b)
Bar Commun	<i>Dicentrarchus labrax</i>	France	Pepin et Emery (1993); Bernardet <i>et al.</i> (1994)
		Malte	Bernardet (1998)
		Italie	Salati <i>et al.</i> (2005)
		Grèce	Kolygas <i>et al.</i> (2012)
Dorade royale	<i>Sparus aurata</i>	Espagne, Italie	Avendaño-Herrera <i>et al.</i> (2004a); Avendaño-Herrera <i>et al.</i> (2004c); Salati <i>et al.</i> (2005)
		Grèce	Kolygas <i>et al.</i> (2012)
Flet à dos vert	<i>Rhombosolea tapirine</i>	Australie	Soltani <i>et al.</i> (1996) ; Handler <i>et al.</i> (1997)
Flet japonais	<i>Paralichthys olivaceous</i>	Japon	Baxa <i>et al.</i> (1986)
Poisson-globe japonais	<i>Takifugu rubripes</i>	Japon	Rahman <i>et al.</i> (2014)
Lompe	<i>Cyclopterus lumpus</i>	Norvège	Småge <i>et al.</i> (2016)
Anchois du Pacifique	<i>Engraulis mordax</i>	É.-U. (Californie)	Chen <i>et al.</i> (1995)
Cardeau hirame	<i>Paralichthys olivaceous</i>	Corée	Jang <i>et al.</i> (2009)
Platax rond	<i>Platax orbicularis</i>	Polynésie française	Bardon-Albaret <i>et al.</i> (2016)
Sardine du Pacifique	<i>Sardinops sagax</i>	É.-U. (Californie)	Chen <i>et al.</i> (1995)
Baliste-Picasso clair	<i>Rhinecanthus assasi</i>	Ornemental	ICES (2019)
		Égypte	Abd El-Galil et Hashiem (2011)
Dorade japonaise	<i>Pagrus major</i>	Japon	Masumura et Wakabayashi (1977)
Poisson rayé à mâchoire tranchante (« ishidaï »)	<i>Oplegnathus fasciatus</i>	Japon	Wakabayashi <i>et al.</i> (1986)
Requin-taureau	<i>Carcharias taurus</i>	Italie	Salati <i>et al.</i> (2005); Florio <i>et al.</i> (2016)

Nom commun	Espèce	Pays	Référence
Sar à museau pointu	<i>Diplodus puntazzo</i>	Italie	Salati <i>et al.</i> (2005)
Denté commun	<i>Dentex dentex</i>	Italie	Salati <i>et al.</i> (2005)
Sole du Sénégal	<i>Solea senegalensis</i>	Portugal	Cepeda et Santos (2002); Avendaño-Herrera <i>et al.</i> (2004c); Avendaño-Herrera (2005)
		Espagne	Cepeda et Santos (2002); Avendaño-Herrera <i>et al.</i> (2004c); Avendaño-Herrera (2005)
Trompette rayé	<i>Latris lineata</i>	Australie	Carson <i>et al.</i> (1992); Handler <i>et al.</i> (1997)
Grondin perlon	<i>Chelidonichthys lucerna</i>	Italie	G. Magi (données non disponibles dans Avendaño-Herrera <i>et al.</i> (2006d))
Flétan noir	<i>Scophthalmus maximus</i>	Espagne	Devesa <i>et al.</i> (1989); Alsina et Blanch (1993); Avendaño-Herrera <i>et al.</i> (2004a); Avendaño-Herrera <i>et al.</i> (2004c)
		Chili	Bernardet (1998); Lopez <i>et al.</i> (2009)
		France	Habib <i>et al.</i> (2014)
		Norvège	Olsen <i>et al.</i> (2017)
		Italie	Magi <i>et al.</i> (2007)
Céteau	<i>Dicologlossa cuneate</i>	Espagne	Chen <i>et al.</i> (1995); Lopez <i>et al.</i> (2009)
Acoupa blanc	<i>Atractoscion nobilis</i>	É.-U. (Californie)	Chen <i>et al.</i> (1995); Salati <i>et al.</i> (2005)
Sar commun	<i>Diplodus sargus</i>	Italie	Salati <i>et al.</i> (2005)
Mulet à œil jaune	<i>Aldrichetta forsteri</i>	Australie	Handler <i>et al.</i> (1997)
Limande à queue jaune	<i>Seriola quinqueradiata</i>	Japon	Baxa <i>et al.</i> (1988b, 1988a); Avendaño-Herrera <i>et al.</i> (2006d)

Tenacibaculum maritimum a été détectée chez plusieurs espèces de méduses. La bactérie a été détectée au niveau moléculaire chez l'espèce *Phialella quadrata*, près d'une ferme d'élevage de saumon atlantique en Écosse (Ferguson *et al.*, 2010). En utilisant la microscopie électronique à balayage (MEB), l'extraction d'ADN et la réaction en chaîne de la polymérase (PCR), on a confirmé la présence de *T. maritimum* dans la bouche des méduses pélagiques (*Pelagia noctiluca*) dans la mer d'Irlande (Delannoy *et al.*, 2011). L'ADN de *T. maritimum* a été découvert chez quelques (4/26) méduses, à un faible niveau, en utilisant la PCR d'espèces de méduses préservées (*Muggiaea atlantica* et *Phialella quadrata*) qui avaient été pêchées dans les eaux marines entourant l'Irlande (Fringuelli *et al.*, 2012).

Bien que Delannoy *et al.* (2011) et Ferguson *et al.* (2010) aient détecté *T. maritimum* au moyen de la PCR et du séquençage, il est difficile de déterminer si la bactérie était présente dans la bouche des méduses, si elle était simplement fixée à la surface des méduses ou si elle était présente dans l'eau entourant les méduses. Les auteurs précisent que les structures filiformes présentes dans la bouche sont des bactéries *T. maritimum*; par contre, la morphologie observée sur la micrographie de MEB ne ressemble pas à *T. maritimum*. Dans l'étude réalisée

par Småge *et al.* (2017), il a été démontré au moyen de la microscopie électronique à transmission (MET) et de la MEB qu'une méduse cnidaire avait des structures filiformes semblables dans la région de la bouche, mais que ces structures étaient des cils et non des bactéries (*Tenacibaculum*).

Tenacibaculum maritimum a été isolée à l'intérieur et à l'extérieur d'un pou de mer (*Lepeophtheirus salmonis*) retiré d'un saumon atlantique d'élevage en Colombie-Britannique (Barker *et al.*, 2009). L'expérience n'a pas permis de déterminer si le pou de mer avait libéré *T. maritimum*. Aucune souche n'a été identifiée, mais il a été mentionné que les souches poussent bien sur les géloses TYES avec 3 % de sel de mer.

SOUCHES GÉNÉTIQUES

Tenacibaculum maritimum est répandue à l'échelle mondiale, mais pas la pourriture de la bouche. Elle a seulement été décrite chez les salmonidés d'élevage en Colombie-Britannique et dans l'État de Washington. Jusqu'à tout récemment, nous en savions peu sur la génétique de *T. maritimum* associée à la pourriture de la bouche.

Frisch *et al.* (2017) ont établi le génotype des isolats de *T. maritimum* à partir de saumon atlantique d'élevage en Colombie-Britannique et l'ont par la suite comparé avec d'autres types de séquence de la même espèce et avec d'autres espèces du genre *Tenacibaculum*. Bien que la majorité des travaux de recherche génétique sur les souches de *T. maritimum* aient été effectués en Europe, en Asie et en Australie (Habib *et al.*, 2014), ils fournissent les premiers renseignements sur le profil génétique de *T. maritimum* associé au saumon atlantique qui présente des signes cliniques de pourriture de la bouche. Des détails sur l'isolement de la bactérie, la PCR et le séquençage ainsi que l'analyse génétique se trouvent dans Frisch *et al.* (2017).

Les résultats de recherche de Frisch *et al.* (2017) démontrent que les isolats de *T. maritimum* provenant du saumon atlantique avec une pourriture de la bouche clinique appartenaient à deux types de séquence distincts (STCan1, STCan2), qui diffèrent de ceux précédemment publiés par Habib *et al.* (2014) et que les souches qui étaient les plus étroitement liées à une souche présente chez la lompe norvégienne (NLF-15, élevée à 12 °C) et une souche présente chez le saumon atlantique au Chili (Ch-2402, élevé à 14 °C). Les isolats canadiens provenaient de saumon atlantique élevé à des températures variant entre 8, 7 et 14,7 °C. Ostland *et al.* (1999) indiquent que tous les isolats de pourriture de la bouche croissent à des températures allant de 12 à 30 °C, alors que seules les souches de référence (ATCC 43397, ATCC 43398T) pouvaient pousser à 34 °C. Aucun isolat ne croît à 5 °C ou à 37 °C.

Frisch *et al.* (2017), en conjonction avec les résultats de l'analyse géographique de *T. maritimum* réalisée par Habib *et al.* (2014), ont suggéré que les liens génétiques entre les isolats de *T. maritimum* à l'échelle mondiale pourraient être répartis selon la température, ce qui est reflété par leur emplacement géographique. Les résultats de Habib *et al.* (2014) laissent entendre que la répartition endémique des souches n'est pas liée au déplacement international des poissons.

L'importance de la température pour la survie des souches pourrait être reflétée dans les températures de culture citées dans les ouvrages de référence. Apablaza *et al.* (2017) mentionnent que *T. maritimum* (Ch-2402) isolée du saumon atlantique au Chili s'est développée à une température de 8 °C, ce qui est bien inférieur à la valeur minimale (15 °C) de la fourchette de croissance pour les espèces types NCIMB 2514^T dont parlent Suzuki *et al.* (2001), qui sont habituellement cultivées à une température de 25 °C (Bernardet *et al.*, 1994).

La plupart des études menées à l'extérieur de la Colombie-Britannique. et de l'État de Washington révèlent que les températures de culture de *T. maritimum* se situent de 20 à 25 °C, ce qui est supérieur à celles indiquées dans Frisch *et al.* (2017) ou Apablaza *et al.* (2017). Par exemple : 25 °C pour les isolats provenant du bar en Espagne (Bernardet *et al.*, 1994), le flet japonais au Japon (Baxa *et al.*, 1986), la sole du Sénégal en Espagne (Cepeda et Santos, 2002) et les souches de référence provenant de diverses espèces au Japon (Watanabe et Nishimura, 2010); de 22 à 25 °C pour diverses espèces en Californie (Chen *et al.*, 1995), 22 °C pour la souche de référence NCIMB2163 et les isolats provenant des méduses dans la mer d'Irlande (Delannoy *et al.*, 2011); 20,5 °C pour le céteau en Espagne (Lopez *et al.*, 2009); de 20 à 25 °C pour la souche 89/4762 chez le saumon atlantique en Australie (van Gelderen *et al.*, 2009; van Gelderen *et al.*, 2011). La fourchette de températures pour *T. maritimum* est déclarée de 15 à 35 °C, avec une température optimale de 30 °C (Avendaño-Herrera *et al.*, 2006d).

MÉTHODES DIAGNOSTIQUES

POURRITURE DE LA BOUCHE

Dans les années 1990, on a constaté que *Flexibacter maritimus* (aujourd'hui, *T. maritimum*) était associé à une stomatite bactérienne chez le saumon atlantique d'élevage en Colombie-Britannique (Ostland *et al.*, 1999) et jusqu'à récemment (Frisch *et al.*, 2017; Frisch *et al.*, 2018a; Frisch *et al.*, 2018b), il était difficile de déterminer l'agent causal de la pourriture de la bouche. La principale raison pour laquelle l'agent responsable de la pourriture de la bouche n'a pas été confirmé est qu'il est très difficile à cultiver et à isoler, car d'autres bactéries, à croissance plus rapide, supplantent régulièrement *T. maritimum*. L'ajout de kanamycine au milieu utilisé pour l'isolement de la bactérie a considérablement amélioré les résultats. L'antibiotique a permis de réduire la croissance d'autres bactéries, et conséquemment de réaliser des études (Frisch *et al.*, 2017; Frisch *et al.*, 2018a; Frisch *et al.*, 2018b) pour démontrer que *T. maritimum* est l'agent causal de la pourriture de la bouche et expliquer comment la bactérie cause la maladie. Une gélose spécifique à *Tenacibaculum*, appelée KABAMA, a été créée pour aider à différencier *T. maritimum* des autres *Tenacibaculum* spp. par les caractéristiques de leur colonie. Une présentation de Småge *et al.*, sans publication, a été effectuée lors de l'atelier CAHS Tenaci 2, à Campbell River, le 29 octobre 2019.

Définition de cas

La définition de cas actuelle utilisée à la Division de la gestion de l'aquaculture de la région du Pacifique du MPO (2019) pour le diagnostic de la pourriture de la bouche est la suivante :

« La pourriture de la bouche est diagnostiquée dans une population de saumon atlantique d'élevage si un traitement pour la maladie est en cours sur un site ou si on recense une mortalité à l'échelle de la population attribuable à la maladie avec une pathologie et une histopathologie cliniques propres à la maladie.

- La pathologie clinique caractéristique est la présence de plaques jaunes dans la bouche, les branchies ou le palais.
- L'histopathologie caractéristique est la présence de bactéries filamenteuses (de type *Tenacibaculum* sp). »

Interprétation des dossiers de diagnostic

En Colombie-Britannique, trois sources de données diagnostiques pour le saumon atlantique d'élevage sont disponibles : les données des vérifications du MPO, les données du MPO sur les

événements liés à la santé des poissons (ESP) et les données de l'industrie. La manière dont ces données sont recueillies et les raisons des collectes sont décrites dans Wade (2017). Lors de tout diagnostic, les résultats de laboratoire sont interprétés en conjonction avec les informations sur la pathologie clinique et le syndrome.

Les diagnostics de la pourriture de la bouche issus de tests effectués pendant une vérification font référence à la « pourriture de la bouche (myxobactériose filamenteuse) » ou à la « myxobactériose buccale ». Les agents pathogènes précis ne sont pas identifiés.

Les ESP attribués à la pourriture de la bouche peuvent référer à l'un des éléments suivants : « stomatite bactérienne », « stomatite bactérienne/ulcère », « stomatite infectieuse », « pourriture de la bouche », « *T. maritimum* », « *Tenacibaculum* », « infection myxobactérienne » ou aucun terme. « Infection myxobactérienne » peut inclure « cytophaga-flexibacter-flavobacter-myxobactéries », « *Flexibacter* sp », « *Mycobacterium marinus* », « terme non fourni », « terme inconnu » ou aucun terme.

Puisque les diagnostics ne permettent pas de connaître l'agent causal, car il n'a été confirmé que récemment, il est important de comprendre comment un diagnostic est établi.

Au cours d'une vérification, la pourriture de la bouche est identifiée au moyen d'une pathologie clinique, plus précisément, la présence de plaques buccales jaunes (H. Manchester, DFO, 38 Powerhouse Rd., Courtenay, C.-B., V9N 5N3, comm. pers., 2019). Les tissus habituels, notamment les reins, le cœur, le foie, la rate, les branchies, les cæcums pyloriques utilisés lors de la vérification (Wade, 2017), sont ensuite envoyés au centre provincial de santé animale d'Abbotsford (laboratoire) pour être analysés. Le centre est un laboratoire de diagnostic à service complet, reconnu par l'American Association of Veterinary Laboratory Diagnosticians (AAVLD).

Jusqu'à récemment, il n'existait aucune preuve que la pourriture de la bouche pouvait se propager de manière systémique, et donc toute bactérie isolée des tissus organiques n'était pas directement attribuée à la pourriture de la bouche. L'étude récente de Frisch *et al.* (2018a) a démontré que la pourriture de la bouche causée par *T. maritimum* peut devenir systémique.

À partir de 2008, lors d'une vérification, les mâchoires de poissons qui présentaient des plaques dans la bouche (ou des plaques suspectes) ont été envoyées au laboratoire pour être examinées. Un maximum de trois mâchoires (provenant de trois poissons différents) par vérification sont soumises. À partir de ces échantillons, le laboratoire détermine s'il y a une inflammation et si des bactéries filamenteuses sont présentes, ce qui est typique des poissons qui présentent des signes cliniques de la pourriture de la bouche. Le laboratoire n'identifie pas les types de bactéries filamenteuses. Habituellement, les bactéries filamenteuses ne se propagent pas de manière systémique. Elles se trouvent dans les mâchoires des poissons qui présentent des plaques typiques de la pourriture de la bouche et sont accompagnées d'une inflammation. Il est donc présumé qu'elles contribuent à la maladie.

Par conséquent, en fonction de la date à laquelle un diagnostic a été posé (c'est-à-dire, avant ou après 2008), un diagnostic de pourriture de la bouche peut reposer sur la présence de plaques observées en élevage, ou sur la présence de plaques observées en élevage et de bactéries filamenteuses et une inflammation de la mâchoire confirmées en laboratoire. De plus, la pourriture de la bouche s'accompagne d'une mortalité élevée en élevage, et une grande partie des poissons morts présentent des plaques buccales. Lorsque le traitement est entamé, la maladie est signalée au MPO en tant qu'ESP (H. Manchester, comm. pers., 2019). Si le diagnostic est une infection myxobactérienne, une stomatite bactérienne ou toute autre infection bactérienne sans plaques, il n'est pas possible d'affirmer de manière définitive que le poisson avait contracté la pourriture de la bouche. Si le diagnostic de pourriture de la bouche est posé,

la présence de plaques a été constatée, donc il ne fait aucun doute que le poisson a contracté cette maladie.

TENACIBACULOSE CAUSÉE PAR *TENACIBACULUM MARITIMUM*

Le diagnostic provisoire de la tenacibaculose repose sur les signes cliniques et, dans ce cas, sur les lésions externes macroscopiques (voir la description générale) et la présence de bactéries longues, fines et en forme de bâtonnet dans des préparations humides ou des préparations de Gram où les échantillons proviennent de lésions branchiales ou cutanées (Avendaño-Herrera *et al.*, 2006d). Le diagnostic définitif est confirmé par l'isolement de colonies de *T. maritimum* dans des milieux précis, ainsi que de la détermination d'au moins un nombre limité de caractéristiques morphologiques et biochimiques ou de méthodes moléculaires axées sur l'ADN (Avendaño-Herrera *et al.*, 2006d).

Puisqu'il est difficile de distinguer *T. maritimum* d'autres espèces phylogénétiquement et phénotypiquement similaires, il est important d'utiliser l'analyse PCR à la fois pour faciliter le diagnostic et pour créer des vaccins (Toranzo *et al.*, 2005; Fernandez-Alvarez *et al.*, 2018).

INFECTION ET MALADIE

POURRITURE DE LA BOUCHE

La pourriture de la bouche est une maladie préoccupante surtout chez les saumoneaux atlantiques. Elle peut être détectée chez les saumoneaux dès six semaines après leur entrée dans l'eau salée (Hicks, 1989) et affecte principalement les saumoneaux au cours de leur première année en mer [Anonymous, 1996 in Ostland *et al.* (1999)], probablement en raison de leur physiologie et non de leur taille. Frisch (2018) a affirmé que les signes cliniques de la pourriture de la bouche peuvent être observés dans les fermes d'élevage dès deux jours après le transfert dans l'eau salée. Il est probable que des facteurs environnementaux contribuent à l'incidence et au développement de la pourriture de la bouche. Une association à une eau à forte salinité a été signalée dans Kent et Poppe (1998) et Frelie *et al.* (1994). La pourriture de la bouche a été constatée à des températures de 8,7 °C à 14,7 °C en Colombie-Britannique (Frisch *et al.*, 2017).

Certains fermes d'élevage de Colombie-Britannique sont plus sujets aux épidémies que d'autres, mais les raisons sont inconnues (Powell et Podlasly, 2015). Pour comprendre la maladie, il est essentiel de d'abord comprendre les facteurs environnementaux qui peuvent (ou non) contribuer à la maladie et aux épidémies (Powell et Podlasly, 2015). Les sections suivantes présentent les corrélations avec la température et la salinité de l'eau.

La manière dont les saumoneaux atlantiques contractent la pourriture de la bouche est inconnue. *T. maritimum* est une bactérie opportuniste et la manipulation est un facteur majeur de maladie (Salati *et al.*, 2005; Avendaño-Herrera *et al.*, 2006d; Kolygas *et al.*, 2012). Plusieurs facteurs de prédisposition ont été suggérés, notamment : l'alimentation constituée de granulés durs, les surfaces des filets que les poissons mordent et les lésions buccales provoquées par le stress (Kent et Poppe, 1998). Il existe également l'hypothèse que la consommation de crustacés épineux, notamment de larves de crabes et d'amphipodes, cause l'altération des tissus parodontaux et crée un point d'entrée pour les bactéries (Kent et Poppe, 1998). Récemment, il a été possible de détecter *T. maritimum* à l'intérieur du poisson, grâce à l'analyse RT-PCR et la bactériologie, et il est suggéré que les dents seraient un point d'entrée possible (Frisch *et al.*, 2018a). Le mécanisme d'infection demeure très peu compris.

La mortalité attribuée à la pourriture de la bouche peut parfois atteindre 15 % (Anonymous, 1996; in Ostland *et al.*, 1999). Le mécanisme par lequel *T. maritimum* tue les saumoneaux atlantiques dans cette région demeure inconnu (Frisch *et al.*, 2018a).

TENACIBACULUM MARITIMUM

Tenacibaculum maritimum; touche les poissons adultes comme les jeunes poissons, cependant, les jeunes souffrent d'une forme plus grave de la maladie (Toranzo *et al.*, 2005). Les infections recensées ont été associées à des activités de manipulation, comme le comptage, la classification par taille et le transport (Alsina et Blanch, 1993; Cepeda et Santos, 2002) ainsi que le transfert récent dans des cages en mer (Wakabayashi *et al.*, 1984; Pepin et Emery, 1993).

D'autres facteurs sont associés aux épidémies, notamment : la température élevée de l'eau (Wakabayashi *et al.*, 1984; Handlinger *et al.*, 1997) ou l'augmentation rapide de la température de l'eau (Devesa *et al.*, 1989); la présence d'une pathologie des branchies liée à la qualité et à la gestion des aliments (Handlinger *et al.*, 1997) et; des dommages physiques de la peau (Chen *et al.*, 1995). Ces facteurs sont notés de la même manière par (Avendaño-Herrera *et al.*, 2006d).

La prévalence et la gravité de la maladie sont souvent signalées à des températures supérieures à 15 °C et à des salinités de 30 à 35 ppm, ainsi que dans des conditions de faible qualité de l'eau (Avendaño-Herrera *et al.*, 2006d). Il a été suggéré que, puisque l'eau salée est nécessaire à la culture des bactéries, des salinités faibles (<15 g/L) pourraient contribuer à la prévention des épidémies de certaines souches isolées du saumon atlantique en Australie (Soltani et Burke, 1994). En Australie, la maladie a été associée à des températures élevées (21 °C), à des journées ensoleillées sans nuages et à une mauvaise gestion de l'alimentation (Handlinger *et al.*, 1997).

En laboratoire, il a été démontré que l'abrasion de l'épithélium des branchies augmentait la gravité et la vitesse de progression de la maladie chez les saumoneaux atlantiques, selon la souche de *T. maritimum* utilisée (Powell *et al.*, 2004). Les infections à *T. maritimum* sont constatées en présence d'autres infections, notamment l'amibiase des branchies (Powell *et al.*, 2005).

Chez le saumon atlantique en Australie, l'infection à *Tenacibaculum maritimum* a été constatée en présence de dommages aux branchies causés par des piqûres de méduses (Handlinger *et al.*, 1997).

Tenacibaculum maritimum (CH-2402) a été isolée du tissu branchial du saumon atlantique au Chili lors d'une prolifération d'algues nuisibles en 2016 qui a entraîné une mortalité massive (Apablaza *et al.*, 2017). Les auteurs reconnaissent que la bactérie a pu contribuer à la pathologie, cependant la présence de la bactérie peut également être attribuée à des infections secondaires provenant de l'environnement. Cet isolat, CH-2402, a été signalé comme l'un des deux isolats les plus étroitement liés à ceux dérivés des saumons atlantiques en Colombie-Britannique atteints de la pourriture de la bouche clinique, dans une étude récente de Frisch *et al.* (2017).

TRANSMISSION

Peu d'études ont été publiées sur la pourriture de la bouche. Donc, en général, les informations relatives à la transmission concernent surtout *T. maritimum* et non les souches de *T. maritimum* qui provoquent la pourriture de la bouche, sauf indication contraire.

Réservoirs

Aucun réservoir naturel n'a été confirmé, cependant, il est possible d'isoler *T. maritimum* à partir de cultures de sédiments et d'eau exposées à des poissons infectés (Santos *et al.*, 1999). Certaines études suggèrent également que les méduses peuvent être un hôte ou un vecteur de *T. maritimum* (Handlinger *et al.*, 1997; Ferguson *et al.*, 2010; Delannoy *et al.*, 2011). Ce fait contredit toutefois le rapport de Downes *et al.* (2018) qui indique la présence de *T. maritimum* chez le saumon atlantique d'élevage avant la prolifération des méduses.

Les membres de la famille des Flavobacteriaceae (à laquelle appartient *T. maritimum*) constituent l'une des quelques lignées bactériennes dominantes dans les communautés bactériennes associées au phytoplancton qui contribuent considérablement au recyclage du carbone (Teeling *et al.*, 2012; Teeling *et al.*, 2016; Bohórquez *et al.*, 2017). Bien que les documents de référence n'incluent pas précisément *T. maritimum*, il est important de préciser que ces bactéries sont probablement présentes dans l'environnement naturel et qu'elles n'ont peut-être pas besoin d'un vecteur particulier pour se propager entre les hôtes.

Dans des études de laboratoire menées pour déterminer les facteurs qui contribuent à la survie de la bactérie et à l'infection dans l'environnement aquatique, Avendaño-Herrera *et al.* (2006a) suggèrent que *T. maritimum* peut également être présente dans un état viable, mais non cultivable (viable but non culturable – VBNC), comme d'autres agents pathogènes des poissons marins. Dans de l'eau salée stérile, *T. maritimum* (PC424.1) a réussi à survivre dans un état de culture pendant plus de cinq mois. Dans l'eau salée naturelle, la bactérie n'a survécu que cinq jours. Les auteurs attribuent cette diminution de la capacité de survie à l'effet inhibiteur du microbiote naturel. Cette interaction antagoniste a été constatée dans d'autres études et a été suggérée comme la raison pour laquelle il est difficile d'isoler la bactérie à partir de blessures.

Paramètres du milieu

Peu de détails sont connus sur la survie de *T. maritimum* qui provoque la pourriture de la bouche dans l'environnement. Les informations sur la survie reposent largement sur les facteurs environnementaux associés aux diagnostics de la pourriture de la bouche, sur lesquels il existe peu de documents publiés. La température chaude et la salinité élevée de l'eau ont été suggérées comme deux facteurs associés à la pourriture de la bouche. Hicks (1989) suggère que l'eau à des températures de 16 °C à 18 °C peut être un facteur qui contribue au développement de la pourriture de la bouche. Frelief *et al.* (1994) ont reporté des épidémies d'avril à juillet 1990 et 1991 chez des saumons d'élevage de Puget Sound à 8 °C et 12 °C et à 29 ppt et 32 ppt. La mortalité et la morbidité ont été observées chez des saumoneaux trois à huit semaines après leur entrée dans l'eau salée. Il est difficile de déterminer à partir de cette étude si une épidémie est survenue dans la ferme d'élevage de saumon quinnat ou seulement dans les fermes d'élevage de saumon atlantique et de truite fardée. Ils présentent les résultats des autopsies effectuées chaque année sur le saumon atlantique (13,4 % et 9 % de sujets atteints), la truite arc-en-ciel (11,5 % et 9,5 % de sujets affectés) et le saumon quinnat (0 % de sujets affectés).

Ostland *et al.* (1999) décrivent les bactéries isolées sur des poissons qui présentent des signes cliniques de pourriture de la bouche, mais ne fournissent aucun détail sur l'épidémie, comme la température, la salinité ou la mortalité. L'épidémie s'est produite dans des cages de saumon atlantique près de Campbell River et des échantillons de poissons ont été recueillis de mars 1994 à juillet 1995.

Dans une étude multifactorielle de divers pathogènes bactériens et de l'amibiase des branchies chez le saumon atlantique d'élevage en Irlande, Downes *et al.* (2018) ont constaté que la présence de *T. maritimum* dans les branchies était fortement liée à la température, ce qui

indique un facteur de saisonnalité. Durant l'étude, la température de l'eau a varié de 8,4 °C à 17,9 °C (Downes *et al.*, 2018). Une augmentation de la prévalence a été observée en été et en automne de la première année de production, suivie d'un déclin en hiver (Downes *et al.*, 2018). L'année suivante, plus la température augmentait, plus la prévalence était élevée (Downes *et al.*, 2018). De plus, Downes *et al.* (2018) n'ont constaté aucun effet sur la présence de la bactérie après des traitements à l'eau douce.

Les isolats que Frisch *et al.* (2017) ont utilisé ont été obtenus à partir de poissons qui présentaient des signes cliniques de la pourriture de la bouche et qui étaient élevés à des températures situées entre 8,7 °C et 14,7 °C. Comme il a été indiqué précédemment, les résultats du génotypage de ces isolats ont montré que ces isolats canadiens étaient les plus étroitement apparentés aux souches d'eau plus froide prélevées sur la lompe en Norvège (12 °C) et le saumon atlantique au Chili (14 °C). Il a été suggéré que les relations génétiques entre les isolats de *T. maritimum* à l'échelle mondiale peuvent être établies en fonction de la température, ce qui se reflète dans leur emplacement géographique (Habib *et al.*, 2014; Frisch *et al.*, 2017). Il est donc raisonnable de présumer que la température influence la survie dans la nature. Cependant, les variations de température ou la sensibilité demeurent inconnues.

En laboratoire, il a été démontré que *T. maritimum* a besoin d'eau salée pour se développer (Suzuki *et al.*, 2001). Des tests de provocation sur le saumon atlantique et la truite arc-en-ciel exposés à une faible salinité (15 ppt) ont produit une faible mortalité (Soltani *et al.*, 1996; Handler *et al.*, 1997).

Biofilms

Tenacibaculum maritimum est une bactérie adhésive et peut donc créer des biofilms sur les surfaces dures (Declercq *et al.*, 2013; Frisch *et al.*, 2017; Frisch *et al.*, 2018a; Frisch *et al.*, 2018b). La bactérie produit des quantités importantes de « bave », qui lui permet d'adhérer aux surfaces hydrophobes, ce qui peut expliquer pourquoi elle réussit à se fixer sur les tissus externes des poissons (Avendaño-Herrera *et al.*, 2006d). van Gelderen *et al.* (2010) ont suggéré, à la suite de leurs études, que la nature adhésive de *T. maritimum* est associée à la pathogénicité et à la virulence de la bactérie, car plus les isolats sont adhésifs, plus ils semblent pathogènes. Cette hypothèse s'applique également aux souches canadiennes, TmarCan 16-1, qui sont les plus adhésives (Sverre Småge, Cermaq Group Dronning Eufemiasgate 16, Oslo, Norvège, 0191, comm. pers., 2019).

Il est présumé que les biofilms que les bactéries forment peuvent favoriser l'adhésion aux poissons ou aux tissus des poissons (Vinogradov *et al.*, 2003; Avendaño-Herrera *et al.*, 2006c). Il a été démontré que *T. maritimum* adhère au mucus du bar commun (*D. labrax*), de la dorade royale (*S. aurata*) et du turbot (*S. maximus*), et aucune activité antibactérienne n'a été constatée dans le mucus (Magarinos *et al.*, 1995).

Une étude récente a démontré l'importance de comprendre le rôle des biofilms dans la transmission de la maladie. La cinétique des diverses souches de *T. maritimum* testées (aucune de la C.-B.) suggère que les surfaces inertes des milieux aquacoles peuvent favoriser les biofilms et servir de réservoirs transitoires pour les bactéries (Levipan *et al.*, 2019).

Des biofilms sur l'émail des dents ont été constatés chez des saumons atlantiques d'élevage de Puget Sound atteints de la maladie alors appelée la stomatite ulcéreuse (Frelief *et al.*, 1994), qui est reconnue aujourd'hui comme la pourriture de la bouche.

Transmission horizontale

La transmission horizontale a été démontrée en laboratoire. Frisch *et al.* (2018b) ont mené des expériences de cohabitation et de transmission horizontale avec de saumoneaux atlantiques de 40 g norvégiens et des isolats dérivés de saumons atlantiques de C.-B. qui présentaient des signes cliniques de pourriture de la bouche. Les détails de cette étude sont décrits dans la prochaine section.

VIRULENCE ET PATHOGÉNICITÉ

Modèles expérimentaux

De nombreux modèles d'infection et études ont été réalisés pour reproduire la tenacibaculose chez de nombreuses espèces marines cultivées à des fins commerciales (Baxa *et al.*, 1986; Powell *et al.*, 2004; Avendaño-Herrera *et al.*, 2006c; Nishioka *et al.*, 2009; van Gelderen *et al.*, 2010, 2011; Failde *et al.*, 2013; Mabrok *et al.*, 2016). Ces études ne peuvent pas s'appliquer à la pourriture de la bouche pour plusieurs raisons : la pourriture de la bouche et la tenacibaculose sont différentes du point de vue clinique; il existe des différences antigéniques considérables entre les isolats de la Colombie-Britannique et entre les isolats de la Colombie-Britannique et les souches de référence de *T. maritimum* (Ostland *et al.*, 1999); et des études récentes ont révélé des différences dans la génétique, la réponse aux anticorps et la pathologie entre les souches la Colombie-Britannique. de *T. maritimum* et d'autres souches qui provoquent la tenacibaculose (Frisch *et al.*, 2017; Frisch *et al.*, 2018a; Frisch *et al.*, 2018b).

Une étude publiée (Frisch *et al.*, 2018b) porte sur la tentative d'induire la pourriture de la bouche avec des isolats de *T. maritimum* provenant de saumons atlantiques de Colombie-Britannique qui présentaient des signes cliniques de la maladie afin de mettre au point une inoculation expérimentale en bassin d'élevage. L'étude présente aussi des expériences de cohabitation et de transmission. Les conditions d'isolement en laboratoire et les animaux étaient les mêmes dans toutes les expériences, notamment : saumon atlantique norvégien, eau expérimentale à 12 °C, photopériode de 12 heures (sauf lors de la smoltification). Lorsque les saumoneaux ont été transférés de l'eau douce à l'eau salée avant l'inoculation expérimentale en bassin d'élevage, la salinité a été augmentée à 34 ppm au cours des 24 premières heures. Trois expériences d'inoculation expérimentale ont été menées et sont résumées ci-dessous. Des détails supplémentaires se trouvent dans (Frisch *et al.*, 2018b). Un document d'accompagnement (Frisch *et al.*, 2018a) décrit la pathologie des poissons infectés dans le bassin d'élevage. Les principales conclusions de ces deux documents sont décrites ci-dessous.

De saumoneaux atlantiques de Norvège ont servi dans les expériences, et toutes les inoculations expérimentales ont été conclues trois semaines après l'exposition. La première expérience d'inoculation expérimentale a révélé qu'il est possible de reproduire la maladie en laboratoire et que la souche *T. maritimum* (NCIMB 2154^T) n'est pas aussi pathogène que TmarCan15-1, une des souches canadiennes. La maladie a été principalement constatée chez les poissons exposés à la concentration la plus élevée pendant la plus longue période (Frisch *et al.*, 2018b).

Pour déterminer la virulence des isolats, quatre isolats canadiens (TmarCan16-5, TmarCan16-1, TmarCan16-6 et TmarCan15-1) ont été testés, chacun à deux concentrations et expositions différentes. Deux isolats (TmarCan16-1 et TmarCAN16-6) ont produit une mortalité de 100 % aux deux concentrations et expositions (Frisch *et al.*, 2018b). La mortalité a été constatée dès le troisième jour. Lors de ces quatre inoculations expérimentales, qui ont entraîné une mortalité de 100 %, les poissons ont réussi à survivre 13 jours après l'exposition (Frisch *et al.*, 2018b). Aucune mortalité n'a été constatée lors de l'inoculation expérimentale avec

TmarCan16-5 ($7,3 \times 10^6$ cell./mL) pendant des expositions de 5 h et de 7,5 heures. Selon la concentration et l'exposition, les inoculations expérimentales avec TmarCan15-1 ont entraîné une mortalité d'au moins 40 % et d'au plus 70 % (Frisch *et al.*, 2018b). Aucune mortalité n'a été relevée dans les groupes témoins. La troisième expérience a produit des résultats similaires à ceux de la deuxième. Dans l'ensemble, l'isolat TmarCan15-1 a permis d'obtenir l'inoculation expérimentale la plus reproductible (Frisch *et al.*, 2018b). Ces trois études ont permis de connaître les différences de pathogénicité des isolats et ont révélé l'importance de connaître les souches présentes sur la ferme d'élevage. Par exemple, le TmarCan16-1 a causé une mortalité de 100 % dans un bassin d'élevage à une concentration aussi faible que $6,36 \times 10^5$ cell./mL alors que les inoculations expérimentales avec TmarCan16-2 à des concentrations de $1,28 \times 10^7$ cell./mL ne réussissaient pas du tout à provoquer la maladie (Frisch *et al.*, 2018b).

L'expérience de cohabitation et de transmission horizontale a été menée avec des saumons atlantiques norvégiens de 40 g. Trois souches ont été testées en double, soit TmarCan15-1 à $1,68 \times 10^7$ cell./mL, TmarCan16-5 à $1,78 \times 10^7$ cell./mL et TmarCan16-1 à $8,75 \times 10^5$ cell./mL, à une exposition de 5 h. Les milieux de contrôle étaient un bouillon marin et un milieu sans exposition. Dans chaque groupe, 20 poissons excréteurs et 40 poissons cohabitants ont été utilisés. L'expérience s'est terminée trois semaines après l'exposition finale. Les taux d'excrétion n'ont pas été consignés.

Le pourcentage cumulé de mortalité des poissons excréteurs (entre 84 % et 100 %) et des poissons cohabitants (entre 27 % et 100 %) varie selon les souches (Frisch *et al.*, 2018b). Selon la souche, la mortalité a été constatée dès deux jours après l'exposition chez les poissons excréteurs et dès six jours après l'exposition chez les poissons cohabitants (Frisch *et al.*, 2018b). Chez les poissons-témoins, aucun signe clinique de maladie et aucune mortalité n'ont été constatés. Cette étude démontre la transmission horizontale de ces souches entre les saumoneaux atlantique norvégiens.

Frisch *et al.* (2018a) ont comparé la pathologie microscopique de saumoneaux atlantique en bassin d'élevage infectés par des isolats de *T. maritimum* isolates (TmarCan15-1, TmarCan16-1 and TmarCan16-5), comme il est indiqué dans Frisch *et al.* (2018A), à des résultats d'épidémies naturelles. Des échantillons ont été prélevés de lésions buccales, branchiales et cutanées de poissons malades infectés par l'exposition à des isolats canadiens (TmarCan15-1, TmarCan16-1, TmarCan16-5) en bassin d'élevage. Des lésions buccales primaires typiques de la pourriture de la bouche ont été constatées chez les poissons exposés (Frisch *et al.*, 2018a). Des lésions cutanées ont été constatées plus fréquemment dans le contexte expérimental que lors d'épidémies naturelles, et il a été suggéré d'attribuer cette différence aux doses utilisées ou à la manipulation effectuée pendant les expériences. Une autre conclusion importante est que l'exposition à *T. maritimum* dans ces conditions a entraîné une infection systémique confirmée par détection interne au moyen d'une analyse RT-PCR en temps réel et par isolement de la bactérie dans le rein.

Grâce au séquençage du génome complet de *T. maritimum*, (Perez-Pascual *et al.*, 2017) ont pu fournir quelques précisions sur les mécanismes de virulence potentiels de la bactérie. Plus particulièrement, ils ont identifié des gènes qui contribuent possiblement à la résistance au système immunitaire, l'invasion, la colonisation, la destruction des tissus de l'hôte et le pillage des nutriments (Perez-Pascual *et al.*, 2017). Il est particulièrement important de noter que la plupart des toxines prédites qui ont été identifiées à partir des isolats de *T. maritimum* utilisés ne se trouvent pas dans les génomes d'autres espèces de *Tenacibaculum* pathogènes communes. Il convient aussi de noter que l'étude n'a pas porté sur des isolats de *T. maritimum* provenant de la Colombie-Britannique.

Éclosions

Bien qu'on fasse mention d'incidences de mortalité élevée ou d'éclosions de pourriture de la bouche dans de nombreux documents originaux [p. ex., Hicks (1989), Ostland *et al.* (1999)]; un seul ouvrage publié, Frelier *et al.* (1994), répertorie un événement qu'on peut décrire comme étant une éclosion. Les augmentations initiales de la mortalité attribuable à la pourriture de la bouche atteignaient un sommet aussi tôt que sept à 14 jours après l'entrée dans l'eau salée et de nouveau lorsque les poissons atteignaient environ 400 [Ness, 2015 dans Powell et Podlasly (2015)].

Frelier *et al.* (1994) ont relevé une éclosion de pourriture de la bouche à Puget Sound en 1990 et en 1991. L'étude a été menée à la suite de signalements de mortalité élevée chez les saumoneaux atlantiques provenant de quatre élevages à Puget Sound (État de Washington) jusqu'à six mois après l'entrée dans l'eau salée. Les poissons ont étéensemencés lorsqu'ils étaient âgés de sept à 12 mois (pesant entre 50 et 80 g).

Des saumoneaux provenant de trois élevages (un de saumon atlantique, un de saumon quinnat et un de truite arc-en-ciel) situés à Puget Sound ont été examinés en vue d'y détecter la stomatite nécrosante (pourriture de la bouche) en 1990 et en 1991. Des éclosions de la maladie sont survenues d'avril à juillet, à des températures variant entre 8 et 12 °C et une salinité de 29 à 32 ppm. La mortalité cumulative en cage des jeunes poissons présentant des lésions orales caractéristiques pendant les six premières semaines après l'introduction s'élevait entre 5 % et 10 %, mais pouvait parfois s'élever à 30 %. Les poissons ont été examinés d'avril à août au cours des deux années (1990 et 1991).

La maladie n'a pas été détectée chez le saumon quinnat (n=241) ni en 1990 ni en 1991. Chez les saumoneaux atlantiques, des cas de stomatite ulcéreuse ont été relevés chez 13,4 % des 627 poissons examinés en 1990 et 9 % des 670 poissons examinés en 1991; chez la truite arc-en-ciel, ces pourcentages s'élevaient à 11,5 % des 260 poissons examinés et à 9,5 % des 26 poissons examinés en 1990 et 1991 respectivement. Pendant ces deux années, le pourcentage moyen de mortalité attribuable à la stomatite ulcéreuse était de 10 % pour tous les lieux d'échantillonnage. Frelier *et al.* (1994) soulignent qu'à la lumière des observations des ouvriers des fermes d'élevages, ce pourcentage pourrait avoir été sous-estimé. Les auteurs reconnaissent que des espèces autres que le saumon atlantique ont été touchées, mais ils affirment que les données sur ces espèces ne sont pas suffisantes pour estimer la susceptibilité relative par espèce. Les auteurs pourraient aussi ne pas attribuer de facteur responsable de la colonisation bactérienne initiale ou la promotion de la prolifération bactérienne. *Caprella* sp. a parfois été détectée dans la cavité orale des jeunes poissons, mais pas de façon systématique. De plus, les pratiques de ferme d'élevage, comme la taille et la forme des filets ou encore la taille des granulés, n'ont pas pu être attribuées à des éclosions.

GESTION DE LA SANTÉ

CONTRÔLE ET PRÉVENTION

Comme les facteurs contribuant à la pourriture de la bouche restent un grand mystère, la prévention, le contrôle et le traitement sont de plus en plus difficiles, particulièrement parce que l'agent causal n'a été identifié que récemment. On ne connaît pas les effets que les divers protocoles d'ensemencement pourraient avoir sur l'occurrence de la maladie ou quels sont les environnements qui favorisent l'infection et la prolifération de la maladie. Plusieurs facteurs ont été suggérés en tant que contributeurs de l'infection et de la maladie, comme les biofilms et le type d'alimentation, mais nous ne connaissons pas le rôle qu'ils pourraient jouer. Sans une interprétation juste de ces facteurs et des autres interactions, il est impossible de faire de la

prévention. Au mieux, il est probable que le stress joue un rôle dans le développement de la maladie (comme pour bien d'autres infections); la réduction du stress est possible. On a proposé qu'il pourrait y avoir des avantages à utiliser des agents stimulateurs du système immunitaire dans l'alimentation (Powell et Podlasly, 2015), bien que jusqu'à présent, aucun n'est fait l'objet d'essais.

Vaccins

Il n'existe aucun vaccin sur le marché pour *T. maritimum* chez le saumon atlantique (Frisch *et al.*, 2018b). Des vaccins expérimentaux ont été testés pour quelques souches de *T. maritimum* sur le saumon atlantique en Australie (Carson *et al.*, 1993; Carson *et al.*, 1994; van Gelderen *et al.*, 2009). Les résultats démontrent qu'ils sont très efficaces.

Frisch *et al.* (2018b) ont entrepris des études pour provoquer la pourriture de la bouche sur des isolats de *T. maritimum* provenant de saumon atlantique de la Colombie-Britannique. présentant des signes cliniques de la maladie afin d'établir un modèle d'essai en bassin dans le but de mettre à l'essai des vaccins cellulaires entiers avec adjuvant. Un vaccin expérimental a été testé, mais en raison des conditions de l'étude, il n'a pas permis de protéger les poissons (Frisch *et al.*, 2018b). Un vaccin a été mis à l'essai en Norvège et est en cours d'étude en Colombie-Britannique chez le saumon atlantique d'élevage. Par contre, son efficacité est faible (B. Milligan, comm. pers.).

Des études ont aussi été entreprises ailleurs pour développer des vaccins pour d'autres espèces marines d'importance commerciale (Salati *et al.*, 2005; Khalil *et al.*, 2018). FM 95, un vaccin contre plusieurs maladies bactériennes, a été breveté en Espagne et est actuellement le seul vaccin commercial permettant de protéger les poissons contre *T. maritimum* (Santos *et al.*, 1999; Frisch *et al.*, 2018b). Ce vaccin a été créé spécifiquement pour le flétan noir et en raison de la diversité sérologique de *T. maritimum*, il ne serait pas efficace chez d'autres espèces (Toranzo *et al.*, 2005).

Traitement

Plusieurs médicaments et agents chimiques ont été testés pour le traitement des infections à *T. maritimum* sur diverses espèces de poisson, notamment le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂), le bronopol et le dioxyde de chlore stabilisé. Leur efficacité varie.

Le H₂O₂ a été mis à l'essai pour le traitement potentiel de la maladie chez le flétan noir infecté par *T. maritimum* (souche PC424.1) ainsi que pour vérifier son efficacité en tant qu'agent désinfectant pour tuer *T. maritimum* (Avendaño-Herrera *et al.*, 2006b). Cette souche croît à des températures élevées (20 °C) (Avendaño-Herrera *et al.*, 2006b). Le flétan noir infecté expérimentalement a été placé dans des réservoirs avec du H₂O₂ à une concentration de 30 ppm ou 240 ppm ou encore dans des réservoirs non traités pendant 30 minutes. On a observé une réduction de 99 % de *T. maritimum* cultivable dans la concentration la plus élevée et de 83,9 % dans la plus faible concentration (Avendaño-Herrera *et al.*, 2006b). Par contre, les deux groupes de poissons ont eu une mortalité cumulative de 100 % dans les sept jours suivant les tests (Avendaño-Herrera *et al.*, 2006b). Bien qu'une exposition de 30 minutes à une concentration de 240 ppm soit efficace pour supprimer la majorité des bactéries, il semble que le stress accélère la mortalité (Avendaño-Herrera *et al.*, 2006b).

Dans la même étude, quatre concentrations différentes de H₂O₂ (30, 60, 120 et 240 ppm) et trois durées d'exposition (15 minutes, 30 minutes et 24 heures) ont été mises à l'essai pour vérifier l'effet bactéricide. *T. maritimum* a été complètement tuée avec les concentrations de 120 et 240 ppm à une durée d'exposition de 15 minutes (Avendaño-Herrera *et al.*, 2006b). Aux concentrations les plus faibles et pour la même durée d'exposition, le traitement était totalement

inefficace. Aucune cellule de *T. maritimum* n'a été détectée après une exposition de 30 minutes et 24 heures, peu importe la concentration (Avendaño-Herrera *et al.*, 2006b). Après 24 heures, on a fait des essais avec les concentrations de 240 et 30 ppm pour voir si une réactivation pouvait survenir. Aucune réactivation n'a été observée à une concentration de 240 ppm. Par contre, à 30 ppm, le pathogène était revenu à raison de 10^3 CFU/mL (Avendaño-Herrera *et al.*, 2006b).

Le bronopol et le dioxyde de chlore stabilisé étaient efficaces pour bloquer *T. maritimum*. Ils étaient également non létaux pour cinq espèces marines élevées au Japon (Watanabe et Nishimura, 2010). Il est peu probable qu'ils soient des traitements efficaces pour la pourriture de la bouche puisque les durées d'exposition étaient de plusieurs heures et que les souches de *T. maritimum* étaient dérivées de poissons du Japon.

Fait intéressant, les études in vitro réalisées avec divers agents chimiothérapeutiques et des souches bactériennes provenant de différents hôtes et emplacements géographiques démontrent une tendance semblable en matière de susceptibilité. Cependant, les résultats sur le terrain ne sont pas toujours semblables même en utilisant le même médicament (Avendaño-Herrera *et al.*, 2006d).

Pour le saumon atlantique d'élevage en Colombie-Britannique., des antibiotiques ont été traditionnellement prescrits pour le traitement de la bactérie gram négatif causant la furonculose, la vibriose, la bouche rouge et la stomatite (Morrison et Saksida, 2013). Bien que la vaccination des poissons contre la furonculose, la vibriose, la bouche rouge ait permis de drastiquement réduire la nécessité d'administrer des antibiotiques, on prescrit encore majoritairement des antibiotiques pour traiter la pourriture de la bouche (Morrison et Saksida, 2013). La mortalité diminue dans les deux à trois jours suivant le début du traitement (B. Boyce, MOWI, 124-1334 Island Highway, Campbell River, C.-B., V9W 8C9, comm. pers., 2019; T. Hewison et P. Whittaker, Grieg Seafood, 1180 Ironwood St, Campbell River, C.-B., V9W 5P7, comm. pers., 2019).

Les seuls antibiotiques autorisés au Canada en aquaculture sont le chlorhydrate d'oxytracycline (Terramycin-Aqua), la triméthoprime et la poudre de sulfadiazine (Tribressen 40 %), la sulfadiméthoxine et l'ormétoprime (Romet 30), ainsi que le florfenicol (Aquaflor) (Santé Canada, 2010). Typiquement, le florfenicol et les sulfonamides potentialisés sont utilisés pour traiter la pourriture de la bouche.

La résistance aux antibiotiques a été démontrée chez plusieurs souches de *T. maritimum* provenant du flétan noir (*S. maximus*) et de la sole (*S. senegalensis*), dans des conditions de culture en Espagne (Avendaño-Herrera *et al.*, 2005; Avendaño-Herrera *et al.*, 2006d; Avendaño-Herrera *et al.*, 2007).

OCCURENCE EN COLOMBIE-BRITANNIQUE

SAUMON D'ÉLEVAGE

La pourriture de la bouche a été signalée chez le saumon atlantique élevé en C.-B., dans le cadre du Programme de vérification exécuté par le MPO (et le gouvernement de province avant décembre 2010) ainsi que par l'industrie en tant qu'événements liés à la santé des poissons et d'épisodes de mortalité. Les critères de diagnostic sont présentés dans la section « Méthodes diagnostiques ». Un résumé des diagnostics de pourriture de la bouche pour toutes les zones de surveillance de la santé du poisson est présenté ci-après.

Trois élevages (Althorpe, Hardwicke et Shaw Point) sont inclus dans la zone de surveillance 3.2 sur le site Web du gouvernement ouvert. Par contre, leurs permis ont été délivrés pour la zone 3.3. Pour le présent document, ils ont été inclus dans la zone 3.2.

La pourriture de la bouche n'a été diagnostiquée que chez le saumon quinnat et le saumon atlantique en Colombie-Britannique. Toutes les données détenues par le gouvernement sont présentées en fonction des zones de surveillance de la santé du poisson du MPO (Figure 1).

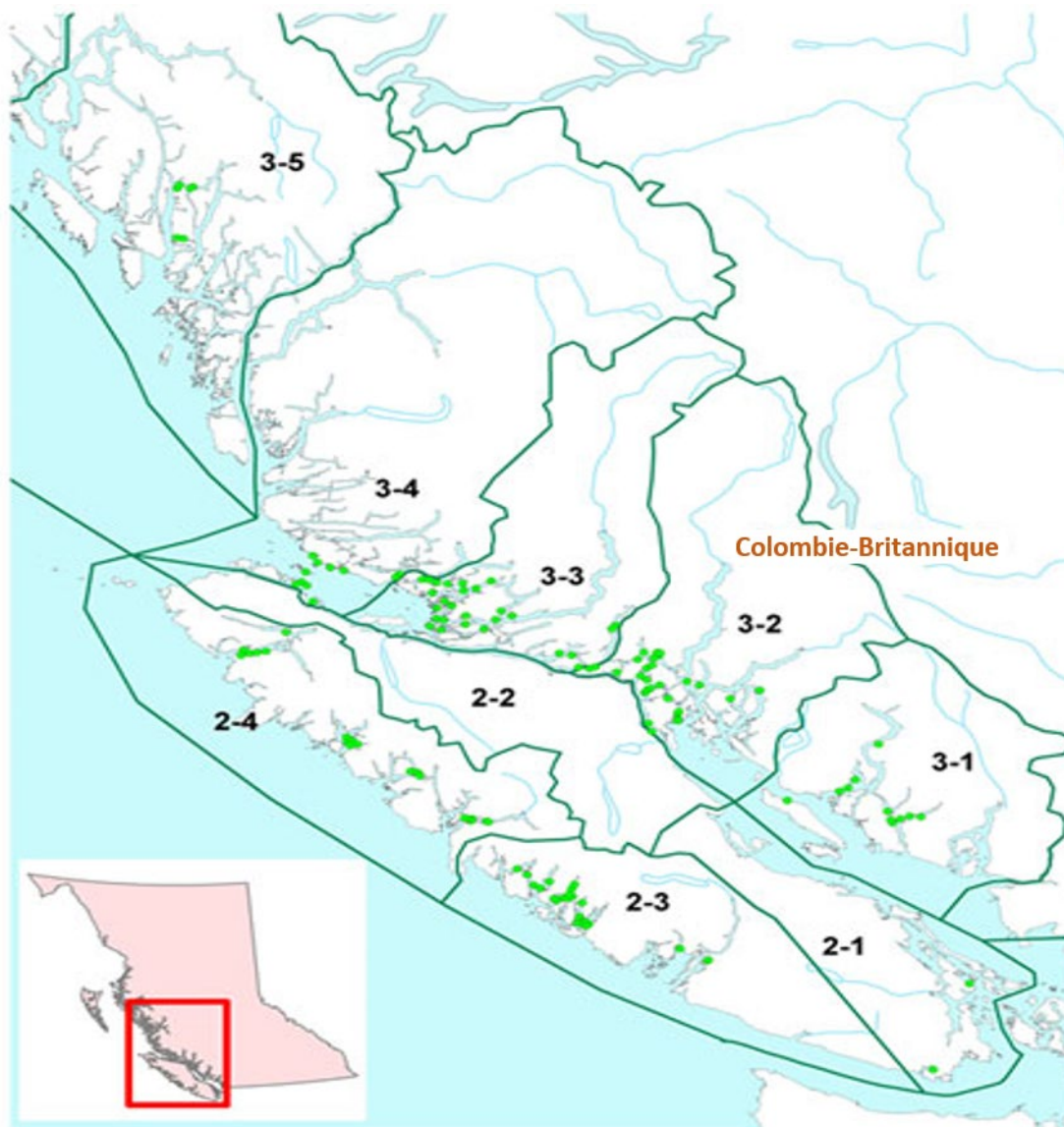


Figure 1. Carte des zones de surveillance de la santé des poissons de Pêches et Océans Canada (MPO). Reproduction de l'annexe 1-A (iii) du permis de pisciculture marine.

Programme de vérification et de surveillance de la santé du poisson

Le PVSSP est mené par le programme de réglementation de l'aquaculture en Colombie-Britannique (BC Aquaculture Regulatory Program, BCARP) du MPO en tant que suite du programme provincial avant que le MPO n'assume l'autorité réglementaire. Chaque trimestre, le MPO vérifie la surveillance régulière et la déclaration dans 30 fermes d'élevage au maximum

(Wade, 2017). Au cours de ces vérifications, des échantillons sont également prélevés à des fins de diagnostics, comme il est décrit dans Wade (2017).

Entre 2002 et 2018, un total de 1446 vérifications (en moyenne sept vérifications par mois) ont été effectuées dans des fermes d'élevage actifs de saumon atlantique de toutes les zones de surveillance de la santé du poisson en Colombie-Britannique; le plus petit nombre de vérifications a été effectué en décembre (n=74), le plus grand nombre en octobre (n=155) (Tableau 2).

Tableau 2. Nombre total et nombre moyen mensuel de vérifications effectuées dans les fermes d'élevage de saumon atlantique en Colombie-Britannique. de 2002 à 2018. Sources : Division de la gestion de l'aquaculture du MPO et site Web du gouvernement ouvert (en date du 29 mai 2019). Mise à jour de Jones (2019).

Mois	Nombre total de vérifications effectuées	Nombre moyen (fourchette) de vérifications effectuées
Janvier	109	7 (0-15)
Février	152	9 (0-15)
Mars	96	6 (0-14)
Avril	146	9 (0-19)
Mai	118	7 (0-14)
Juin	97	6 (0-12)
Juillet	123	7 (0-16)
Août	130	8 (0-14)
Septembre	103	6 (0-13)
Octobre	155	9 (0-19)
Novembre	143	9 (0-13)
Décembre	74	4 (0-8)
Total	1446	7 (0-19)

Saumon atlantique

En Colombie- Britannique 106 diagnostics de pourriture de la bouche ont été établis dans les fermes d'élevage, lors des vérifications de la santé du poisson effectuées entre 2002 et 2018. La pourriture de la bouche a été diagnostiquée chaque année depuis 2003 dans toutes les zones de surveillance de la santé des poissons où des vérifications ont été effectuées (Tableau 3). La pourriture de la bouche a été diagnostiquée dans 106 des 1446 vérifications (7,3 %).

Tableau 3. Sommaire des diagnostics de pourriture de la bouche posés au niveau des fermes d'élevage à partir des vérifications effectuées par le gouvernement provincial de la Colombie-Britannique. (2002-2010) et la Division de la gestion de l'aquaculture du MPO (2011-2018) chez des saumons atlantiques d'élevage. Les valeurs entre parenthèses indiquent le nombre de fermes d'élevage pour lesquels un diagnostic a été fait lors d'une vérification. Source : les données proviennent de la Division de la gestion de l'aquaculture du MPO et du site Web du gouvernement ouvert (en date du 29 mai 2019). Les tirets indiquent qu'il n'y a pas eu de vérification.

Année	Zone et sous-zone de surveillance de la santé des poissons									Σ _{année}
	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	
2002	0	-	0	0	0	0	0	0	-	0
2003	0	-	1 (1)	1 (1)	0	0	1 (1)	0	-	3 (3)
2004	-	-	2 (2)	0	0	0	1 (1)	1 (1)	0	4 (4)
2005	-	-	0	1 (1)	0	2 (2)	1 (1)	0	0	4 (4)
2006	-	-	0	3 (2)	0	0	2 (2)	1 (1)	0	6 (5)
2007	-	-	1 (1)	1 (1)	0	8 (7)	0	0	1 (1)	11 (10)
2008	-	-	3 (3)	1 (1)	0	3 (3)	2 (2)	3 (2)	0	12 (11)
2009	-	-	3 (3)	0	1 (1)	4 (3)	1 (1)	2 (1)	0	11 (9)
2010	-	-	0	0	0	0	1 (1)	0	-	1 (1)
2011	-	-	1 (1)	3 (3)	0	0	1 (1)	2 (2)	1 (1)	8 (8)
2012	-	-	2 (2)	0	0	0	1 (1)	1 (1)	0	4 (4)
2013	-	-	1 (1)	1 (1)	1 (1)	0	1 (1)	2 (1)	0	6 (5)
2014	-	-	0	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	2 (2)	0	6 (6)
2015	-	-	1 (1)	2 (2)	0	1 (1)	3 (3)	0	0	7 (7)
2016	-	-	3 (3)	3 (3)	0	0	0	4 (2)	0	10 (8)
2017	-	-	1 (1)	0	0	0	1 (1)	1 (1)	0	3 (3)
2018	-	-	2 (2)	4 (4)	0	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	10 (10)
Σ _{sous-zone}	0	-	21 (12)	21 (14)	3 (2)	20 (13)	18 (9)	20 (7)	3 (3)	106

Saumon du Pacifique

La pourriture de la bouche n'a pas été diagnostiquée à l'échelle de l'élevage chez le saumon du Pacifique en Colombie Britannique dans le cadre du Programme de vérification, entre 2002 et 2018.

Par contre, en 2009, des plaques sur les mâchoires caractéristiques à la pourriture de la bouche ont été observées chez trois petits (de 15 à 20 g) spécimens de saumon quinnat provenant d'une ferme d'élevage à Discovery Passage (zone de surveillance de la santé du poisson 3.2, Figure 1) (H. Manchester, comm. pers., 2019). Comme la vérification a eu lieu en juillet 2009 et en raison de la petite taille des poissons, il est probable qu'ils aient été introduits dans l'océan en juin de la même année. Dans le rapport de laboratoire, on décrit les lésions comme étant une stomatite ulcéreuse avec une abondance de bactéries filamenteuses. Des plaques buccales ont été observées sur chaque spécimen. Aucune lésion sur des organes internes n'a été relevée. À la lumière de cette vérification, le diagnostic à l'échelle de la ferme d'élevage était la maladie bactérienne du rein (MBR). Par contre, la pourriture de la bouche était présente. On n'observe habituellement pas de pourriture de la bouche chez le saumon quinnat lors des vérifications (H. Manchester, comm. pers., 2019).

Il est important de souligner que les conclusions microscopiques contribuant au diagnostic de la pourriture de la bouche chez le saumon quinnat (soit la stomatite ulcéreuse avec une abondance de bactéries filamenteuses) sont les mêmes chez les saumoneaux atlantique.

Événements liés à la santé des poissons

Un événement lié à la santé des poissons est défini comme étant une « éclosion de maladie, soupçonnée ou déclarée, dans une installation d'aquaculture qui nécessite l'intervention d'un vétérinaire et toutes les mesures d'atténuation pour réduire l'incidence et le risque associé à l'événement » dans le permis de pisciculture marine délivré en vertu de la *Loi sur les pêches* (MPO, 2015).

La production de rapports à ce sujet a commencé à l'automne 2002 (Wade, 2017). Toutefois, de 2013 jusqu'à la fin du troisième trimestre de 2015, la déclaration des épisodes n'était pas obligatoire, mais elle est redevenue une condition de permis à compter du quatrième trimestre de 2015 (Wade, 2017). Les conditions de permis stipulent que lorsqu'un ESP se produit, le titulaire de permis doit prendre des mesures pour le gérer, évaluer les mesures d'atténuation et soumettre un avis d'ESP et les mesures de gestion thérapeutiques au Ministère (DFO, 2015).

Saumon atlantique

Entre 2002 et 2018, 61 ESP attribués à la pourriture de la bouche ont été signalés dans des fermes d'élevage de saumon atlantique en Colombie-Britannique (Tableau 4). Toutes les zones et sous-zones de surveillance de la santé du poisson ayant des données d'ESP pour la maladie (zones 2,3, 2,4, 3,1 à 3,5) ont signalés des ESP attribuables à la pourriture de la bouche, principalement dans la zone 2.4 (130 des 537 cas).

Tableau 4. Résumé des événements liés à la santé des poissons (ESP) (2002-2018) attribuables à la pourriture de la bouche chez le saumon atlantique d'élevage et signalés par l'industrie. Les tirets indiquent que les ESP n'étaient pas assujettis à une déclaration obligatoire. Les valeurs entre parenthèses indiquent le nombre de fermes d'élevage pour lesquels un ESP a été signalé. Sources : Division de la gestion de l'aquaculture et site Web du gouvernement ouvert (en date du 6 juin 2019).

Année	Zone et sous-zone de surveillance de la santé des poissons									Σ _{année}
	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	
2002	0	0	1 (1)	0	0	1 (1)	1 (1)	0	0	3 (3)
2003	0	0	14 (6)	7 (3)	0	1 (1)	3 (2)	1 (1)	0	26 (13)
2004	0	0	12 (5)	3 (2)	0	5 (4)	1 (1)	13 (6)	3 (2)	37 (20)
2005	0	0	14 (8)	8 (3)	0	26 (7)	1 (1)	3 (2)	6 (1)	58 (22)
2006	0	0	13 (5)	5 (3)	0	11 (5)	3 (3)	20 (6)	0	52 (22)
2007	0	0	2 (1)	18 (3)	2 (1)	29 (9)	2 (1)	0	1 (1)	54 (16)
2008	0	0	12 (7)	24 (3)	1 (1)	3 (3)	2 (1)	3 (2)	0	45 (17)
2009	0	0	4 (3)	9 (6)	4 (2)	15 (6)	1 (1)	1 (1)	0	34 (19)
2010	0	0	6 (6)	8 (4)	3 (2)	17 (5)	10 (6)	8 (2)	1 (1)	53 (26)
2011	0	0	7 (6)	20 (4)	3 (1)	7 (4)	5 (3)	23 (6)	1 (1)	66 (25)
2012	0	0	5 (5)	12 (2)	3 (1)	0	9 (3)	9 (3)	0	38 (14)
2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2016	0	0	5 (5)	8 (8)	0	0	9 (9)	2 (2)	2 (2)	26 (26)
2017	0	0	5 (5)	2 (2)	3 (2)	3 (3)	3 (3)	3 (3)	1 (1)	20 (19)
2018	0	0	4 (4)	6 (6)	0	1 (1)	9 (9)	3 (3)	2 (2)	25 (25)
Σ _{sous-zone}	0	0	104 (17)	130 (14)	19 (4)	119 (20)	59 (18)	89 (8)	17 (4)	537

Saumon du Pacifique

De 2002 à 2018, à l'exclusion de 2013 à 2015, deux ESP (2002 et 2009) attribuables à la pourriture de la bouche ont été signalés chez le saumon quinnat en Colombie-Britannique; dans la zone 3.1 (BCSFA, 2010; MPO, 2019b).

Épisodes de mortalité

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

Entre 2011 et 2018, quatre épisodes de mortalité ont été attribués à la pourriture de la bouche dans des fermes d'élevage de saumon atlantique en Colombie-Britannique (MPO, 2019a). Deux épisodes sont survenus dans une ferme d'élevage de la zone 2.3 (un en 2014 et un en 2016), et les deux autres sont survenus dans une ferme d'élevage de la zone 3.3 (en 2018). Bien que ces épisodes de mortalité soient attribuables à des maladies infectieuses, des facteurs autres que la maladie (comme la qualité de l'eau) ont pu jouer un rôle dans ces épisodes.

LACUNES DANS LES CONNAISSANCES

En raison de leur importance commerciale, beaucoup d'efforts ont été déployés pour étudier la pathologie, la génétique, les voies de transmission, etc. des souches de *T. maritimum* causant la tenacibaculose. Malgré ces efforts, il y a tout de même des lacunes dans les connaissances. Bien que ces études soient fort utiles, il est évident que les infections à *T. maritimum* causant la pourriture de la bouche n'ont pas la même pathologie que la tenacibaculose chez d'autres espèces et dans d'autres régions. D'autres travaux sont nécessaires pour comprendre les différences entre les souches de *T. maritimum* qui causent la pourriture de la bouche dans cette région. Les plus importantes lacunes dans les connaissances en matière d'évaluation des risques sont les suivantes :

- Voies de transmission;
- Réservoir naturels et vecteurs;
- Interactions entre les souches de *T. maritimum* causant la pourriture de la bouche et d'autres agents infectieux;
- Mécanismes de virulence;
- Susceptibilité du saumon atlantique à différentes souches de *T. maritimum* causant la pourriture de la bouche;
- Susceptibilité du saumon du Pacifique et d'autres espèces marines du Pacifique aux souches de *T. maritimum* causant la pourriture de la bouche;
- Pouvoir pathogène et répartition géographique des souches;
- Facteurs environnementaux et biologiques contribuant à l'infection et aux éclosions chez le saumon atlantique.

SOMMAIRE

Il n'y a pas beaucoup d'ouvrages sur la pourriture de la bouche. En effet, l'épidémiologie de la maladie est pratiquement inconnue. Ce n'est qu'en 2018 que l'agent causal et que les postulats de Koch ont été confirmés. Malgré l'exhaustivité des études, il reste beaucoup de travail à effectuer pour comprendre le pouvoir pathogène, la répartition géographique, les réservoirs, les voies de transmission et les facteurs contributifs des souches. La pourriture de la bouche est une maladie complexe sur laquelle nous n'avons pas beaucoup de données.

Étant donné qu'il y a beaucoup d'ouvrages traitant de certains aspects de *T. maritimum* à l'échelle mondiale, il est possible d'utiliser l'information pour évaluer le risque de transfert du saumon atlantique d'élevage au saumon rouge du fleuve Fraser. Par contre, il existe de grandes différences entre les souches de *T. maritimum* causant la pourriture de la bouche et celles causant la tenacibaculose : signes cliniques différents; températures de culture inférieures pour les souches causant la pourriture de la bouche; différences antigéniques importantes entre les isolats de la Colombie-Britannique et les souches de référence de *T. maritimum*; différences en matière de génétique, de réponse anticorps et de pathologie pour les souches de *T. maritimum* en Colombie-Britannique comparativement à d'autres souches causant la tenacibaculose.

Il est probable que les facteurs environnementaux comme la température et la salinité ont une incidence sur l'occurrence de la pourriture de la bouche. Les fourchettes exactes ne sont pas connues, mais des éclosions sont survenues à Puget Sound lorsque les températures de l'eau étaient entre 8 et 12 °C et que la salinité variait entre 29 et 32 ppm. La fourchette de

températures pour *T. maritimum* est déclarée de 15 à 35 °C, avec une température optimale de 30 °C.

Récemment, il a été démontré que les isolats de *T. maritimum* provenant de poissons atteints de pourriture de la bouche clinique sont étroitement liés à une souche (NLF-15, élevé à 12 °C) à une souche présente chez la lompe norvégienne et à une souche présente chez le saumon atlantique du Chili (Ch-2402, élevé à 14 °C). Les isolats canadiens provenaient de poissons élevés à des températures variant entre 8,7 et 14,7 °C.

Lors d'une expérience de cohabitation, il a été démontré que *Tenacibaculum maritimum* causant la pourriture de la bouche se transfère horizontalement entre les poissons. Les essais en bassin réalisés avec divers isolats de la Colombie-Britannique ont permis de reproduire une maladie ressemblant à la pourriture de la bouche chez de saumoneaux atlantique.

Entre 2002 et 2018, à la suite des vérifications de la santé des poissons réalisées dans des fermes d'élevage de saumon atlantique en Colombie-Britannique 106 diagnostics de pourriture de la bouche ont été établis à l'échelle des fermes d'élevage. De 2002 à 2013 et de 2015 à 2018, 537 ESP attribuables à la pourriture de la bouche ont été signalés dans les fermes d'élevage de saumon atlantique en Colombie-Britannique.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Abd El-Galil, M. A. A. and Hashiem, M. 2011. Tenacibaculosis in Picasso triggerfish (*Rhinecanthus assasi*) and black damselfish (*Neoglyphieodon meles*) of Red Sea at Hurghada, Egypt. Life Science Journal 8(4): 1166-1171.
- Abd El-Galil, M. A. A. and Hashiem, M. 2012. Epidemiological and bacteriological studies on tenacibaculosis in some Red Sea fishes, Egypt. IJES 3: 25-32.
- Alsina, M. and Blanch, A. R. 1993. First isolation of *Flexibacter maritimus* from cultivated turbot (*Scophthalmus maximus*). Bull. Eur. Assoc. Fish Pathol. 13(5): 157.
- Anonymous. 1996. Proceedings of the mouthrot workshop Campbell River, B.C., October 12, 1995. Victoria. British Columbia Ministry of Agriculture, Fisheries, and Food, Aquaculture and Commercial Fisheries Branch.
- Apablaza, P., Frisch, K., Brevik, O. J., Smage, S. B., Vallestad, C., Duesund, H., Mendoza, J. and Nylund, A. 2017. Primary isolation and characterization of *Tenacibaculum maritimum* from Chilean Atlantic salmon mortalities associated with a *Pseudochattonella* spp. algal bloom. J. Aquat. Anim. Health 29(3): 143-149.
- Austin, B. and Austin, D. A. 2012. Bacterial Fish Pathogens. Diseases of Farmed and Wild Fish. Fifth Edition. Springer, 652 p.
- Avendaño-Herrera, R. 2005. Avances en el conocimiento del patógeno de peces *Tenacibaculum maritimum*: implicaciones en el diagnóstico y prevención de la enfermedad. Thesis (PhD) Microbiología y Parasitología, Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela, España. 1-312 p.
- Avendaño-Herrera, R., Irgang, R., Magarinos, B., Romalde, J. L. and Toranzo, A. E. 2006a. Use of microcosms to determine the survival of the fish pathogen *Tenacibaculum maritimum* in seawater. Environ. Microbiol. 8(5): 921-928.
- Avendaño-Herrera, R., Magariños, B., Irgang, R. and Toranzo, A. E. 2006b. Use of hydrogen peroxide against the fish pathogen *Tenacibaculum maritimum* and its effect on infected turbot (*Scophthalmus maximus*). Aquaculture 257(1-4): 104-110.

-
- Avendaño-Herrera, R., Magariños, B., López-Romalde, S., Romalde, J. L. and Toranzo, A. E. 2004a. Phenotypic characterization and description of two major O-serotypes in *Tenacibaculum maritimum* strains from marine fishes. *Dis. Aquat. Org.* 58: 1-8.
- Avendaño-Herrera, R., Magariños, B., Toranzo, A. E., Beaz, R. and Romalde, J. L. 2004b. Species-specific polymerase chain reaction primer sets for the diagnosis of *Tenacibaculum maritimum* infection. *Dis. Aquat. Org.* 62(1-2): 75-83.
- Avendaño-Herrera, R., Núñez, S., Barja, J. L. and Toranzo, A. E. 2007. Evolution of drug resistance and minimum inhibitory concentration to enrofloxacin in *Tenacibaculum maritimum* strains isolated in fish farms. *Aquaculture International* 16(1): 1-11.
- Avendaño-Herrera, R., Núñez, S., Magariños, B. and Toranzo, A. E. 2004c. A non-destructive method for rapid detection of *Tenacibaculum maritimum* in farmed fish using nested PCR amplification. *Bull. Eur. Assoc. Fish Pathol.* 24(6): 280-286.
- Avendaño-Herrera, R., Toranzo, A. E. and Magarinos, B. 2006c. A challenge model for *Tenacibaculum maritimum* infection in turbot, *Scophthalmus maximus* (L.). *J. Fish Dis.* 29: 371-374.
- Avendaño-Herrera, R., Toranzo, A. E. and Magariños, B. 2006d. Tenacibaculosis infection in marine fish caused by *Tenacibaculum maritimum*: a review. *Dis. Aquat. Org.* 71: 255-266.
- Avendaño-Herrera, R., Toranzo, A. E., Romalde, J. L., Lemos, M. L. and Magarinos, B. 2005. Iron uptake mechanisms in the fish pathogen *Tenacibaculum maritimum*. *Appl. Environ. Microbiol.* 71(11): 6947-6953.
- Bardon-Albaret, A., Vidal-Dupiol, J., Maamaatuaiahutapu, M., David, R., Lau, C., Magré, K., Sicard, J., Belliard, C., Levy, P., Piquemal, D. and Saulnier, D. 2016. Investigations on predictive biomarkers of resistance to *Tenacibaculum maritimum* by transcriptome analysis of targeted tissues from juvenile batfish (*Platax orbicularis*). 4th International Symposium on Genomics in Aquaculture GIA 2016. Athens, Greece.
- Barker, D. E., Braden, L. M., Coombs, M. P. and 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.
- Baxa, D. V., Kawai, K. and Kusada, R. 1988a. Chemotherapy of *Flexibacter maritimus* infection. *Rep. Usa. Mar. Biol. Inst. Kochi. Univ.* 10: 9-14.
- Baxa, D. V., Kawai, K. and Kusada, R. 1988b. In vitro and in vivo activities of *Flexibacter maritimus* toxins. *Rep. Usa. Mar. Biol. Inst. Kochi. Univ.* 10: 1-8.
- Baxa, D. V., Kawai, K. and Kusud, R. 1986. Characteristics of gliding bacteria isolated from diseased cultured flounder, *Paralichthys olivaceous*. *Fish Pathol.* 21(4): 251-258.
- BCSFA. 2010. [Fish Health Events \(2002-2010\)](#).
- Bernardet, J.-F. 1998. *Cytophaga*, *Flavobacterium*, *Flexibacter* and *Chryseobacterium* infections in cultured marine fish. *Fish Pathol.* 33(3): 229-238.
- Bernardet, J.-F. 2010. Family I. Flavobacteriaceae Reichenbach 1992. In Krieg NR, et al. (ed), *Bergey's manual of systematic bacteriology*. 2nd ed. Vol. 4. Springer, New York, NY.
- Bernardet, J.-F., Campbell, A. C. and Buswell, J. A. 1990. *Flexibacter maritimus* is the agent of 'black patch necrosis' in Dover sole in Scotland. *Dis. Aquat. Org.* 8: 233-237.
-

-
- Bernardet, J.-F., Kerouault, B. and Michel, C. 1994. Comparative study on *Flexibacter maritimum* strains isolated from farmed sea bass (*Dicentrarchus labrax*) in France. *Fish Pathol.* 29(2): 105-111.
- Bernardet, J.-F. and Nakagawa, Y. 2006. An Introduction to the Family Flavobacteriaceae. *In* The Prokaryotes: Volume 7: Proteobacteria: Delta, Epsilon Subclass. Dworkin, M., Falkow, S., Rosenberg, E., Schleifer, K.-H. and Stackebrandt, E. (eds.). Springer New York, New York, NY. pp 455-480.
- Bohórquez, J., McGenity, T. J., Papaspyrou, S., García-Robledo, E., Corzo, A. and Underwood, G. J. C. 2017. Different types of diatom-derived extracellular polymeric substances drive changes in heterotrophic bacterial communities from intertidal sediments. *Front. Microb.* 8(245): 1-16.
- Bornø, G. and Lie, M. L. 2015. The health situation in Norwegian aquaculture 2014. *In* Fish Health Report. Oslo, Norway. 1-37 p.
- Brosnahan, C. L., Munday, J. S., Ha, H. J., Preece, M. and Jones, J. B. 2018. New Zealand rickettsia-like organism (NZ-RLO) and *Tenacibaculum maritimum*: Distribution and phylogeny in farmed Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *J. Fish Dis.* 42(1): 85-95.
- Campbell, A. C. and Buswell, J. A. 1982. An investigation into the bacterial aetiology of 'black patch necrosis' in Dover sole, *Solea solea* L. *J. Fish Dis.* 5: 495-508.
- Carson, J., McCosh, P. and Schmidtke, L. 1992. Pathogenicity of *Flexibacter maritimus* in Rainbow trout. *In* SALTAS Research Review Seminar. Hobart, Australia. April 29th, 1992. pp 89-99.
- Carson, J., Schmidtke, L. and Lewis, T. 1994. Development of a vaccine against disease: results of efficacy testing of three types of vaccine. *In* Valentine, P. (ed.) The SALTAS 1994 Research and Development Review Seminar. Hobart, Tasmania. SALTAS. pp 149-158.
- Carson, J., Schmidtke, L. M. and McCosh, P. 1993. A salmonid vaccine against *Flexibacter maritimus* – dream or reality? *In* Valentine, P. (ed.) Seeking and Solving: Papers from the SALTAS 1993 Research and Development Review Seminar. Hobart, Tasmania. SALTAS. pp 113-120.
- Castro, N., Magarinos, B., Nunez, S. and Toranzo, A. E. 2007. Reassessment of the *Tenacibaculum maritimum* serotypes causing mortalities in cultured marine fish. *Bull. Eur. Ass. Fish Pathol.* 27(6): 229-233.
- Cepeda, C. and Santos, Y. 2002. First isolation of *Flexibacter maritimus* from farmed Senegalese sole (*Solea senegalensis*, Kaup) in Spain. *Bull. Eur. Assn. Fish P.* 22(6): 388-392.
- Chen, M. F., Henry-Ford, D. and Groff, J. M. 1995. Isolation and characterization of *Flexibacter maritimus* from marine fishes of California. *J. Aquat. Anim. Health* 7: 318-326.
- Cohen, B. I. 2012. Recommendations, summary, process. *In* The uncertain future of Fraser River Sockeye. Minister of Public Works and Government Services Canada. Publishing and Depository Services, Ottawa, ON. Vol 3: 211 p.
- Declercq, A. M., Haesebrouck, F., Van den Broeck, W., Bossier, P. and Decostere, A. 2013. Columnaris disease in fish: a review with emphasis on bacterium-host interactions. *Vet. Res.* 44(1): 27-27.
-

-
- Delannoy, C. M. J., Houghton, J. D. R., Fleming, N. E. C. and Ferguson, H. W. 2011. Mauve Stingers (*Pelagia noctiluca*) as carriers of the bacterial fish pathogen *Tenacibaculum maritimum*. *Aquaculture* 311(1-4): 255-257.
- Devesa, S., Barja, J. L. and Toranzo, A. E. 1989. Ulcerative skin and fin lesions in reared turbot, *Scophthalmus maximus* (L.). *J. Fish Dis.* 12: 323-333.
- DFO. 2015. Marine finfish aquaculture licence under the Fisheries Act. Aquaculture Management Division. Fisheries and Oceans Canada. 59 p.
- Downes, J. K., Yatabe, T., Marcos-Lopez, M., Rodger, H. D., MacCarthy, E., O'Connor, I., Collins, E. and Ruane, N. M. 2018. Investigation of co-infections with pathogens associated with gill disease in Atlantic salmon during an amoebic gill disease outbreak. *J. Fish Dis.* 41: 1217- 1227.
- Failde, L. D., Losada, A. P., Bermudez, R., Santos, Y. and Quiroga, M. I. 2013. *Tenacibaculum maritimum* infection: pathology and immunohistochemistry in experimentally challenged turbot (*Psetta maxima* L.). *Microb. Pathog.* 65: 82-88.
- Ferguson, H. W., Delannoy, C. M. J., Hay, S., Nicolson, J., Sutherland, D. and Crumlish, M. 2010. Jellyfish as vectors of bacterial disease for farmed salmon (*Salmo salar*). *J. Vet. Diagn. Invest.* 22: 376-382.
- Fernandez-Alvarez, C., Torres-Corral, Y. and Santos, Y. 2018. Comparison of serological and molecular typing methods for epidemiological investigation of *Tenacibaculum* species pathogenic for fish. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 102(6): 2779-2789.
- Florio, D., Gridelli, S., Fioravanti, M. L. and Zanoni, R. G. 2016. First isolation of *Tenacibaculum maritimum* in a captive Sand Tiger Shark (*Carcharias taurus*). *J. Zoo Wildl. Med.* 47(1): 351-353.
- Foreman, M. G. G., Chandler, P. C., Stucchi, D. J., Garver, K. A., Guo, M., Morrison, J. and Tuele, D. 2015. [The ability of hydrodynamic models to inform decisions on the siting and management of aquaculture facilities in British Columbia](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2015/005. vii + 49 p.
- Frelief, P. F., Elston, R. A., Loy, J. K. and Mincher, C. 1994. Macroscopic and microscopic features of ulcerative stomatitis in farmed Atlantic salmon *Salmo salar*. *Dis. Aquat. Org.* 18: 227-231.
- Fringuelli, E., Savage, P. D., Gordon, A., Baxter, E. J., Rodger, H. D. and Graham, D. A. 2012. Development of a quantitative real-time PCR for the detection of *Tenacibaculum maritimum* and its application to field samples. *J. Fish Dis.* 35(8): 579-590.
- Frisch, K. 2018. Mouthrot in farmed Atlantic salmon. Thesis (Degree of Philosophiae Doctor) Department of Biological Sciences, University of Bergen. 1-139 p.
- Frisch, K., Smage, S. B., Brevik, O. J., Duesund, H. and Nylund, A. 2017. Genotyping of *Tenacibaculum maritimum* isolates from farmed Atlantic salmon in Western Canada. *J. Fish Dis.* 41(1): 131-137.
- Frisch, K., Smage, S. B., Johansen, R., Duesund, H., Brevik, O. J. and Nylund, A. 2018a. Pathology of experimentally induced mouthrot caused by *Tenacibaculum maritimum* in Atlantic salmon smolts. *PLoS One* 13(11): e0206951.

-
- Frisch, K., Smage, S. B., Vallestad, C., Duesund, H., Brevik, O. J., Klevan, A., Olsen, R. H., Sjaatil, S. T., Gauthier, D., Brudeseth, B. and Nylund, A. 2018b. Experimental induction of mouthrot in Atlantic salmon smolts using *Tenacibaculum maritimum* from Western Canada. *J. Fish Dis.* 41: 1247-1258.
- Grant, A. A. M. and Jones, S. R. M. 2010. [Pathways of effects between wild and farmed finfish and shellfish in Canada: potential factors and interactions impacting the bi-directional transmission of pathogens](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2010/018. vi + 58 p.
- Habib, C., Houel, A., Lunazzi, A., Bernardet, J. F., Olsen, A. B., Nilsen, H., Toranzo, A. E., Castro, N., Nicolas, P. and Duchaud, E. 2014. Multilocus sequence analysis of the marine bacterial genus *Tenacibaculum* suggests parallel evolution of fish pathogenicity and endemic colonization of aquaculture systems. *Appl. Environ. Microbiol.* 80(17): 5503-5514.
- Handler, J., Soltani, M. and Percival, S. 1997. The pathology of *Flexibacter maritimus* in aquaculture species in Tasmania, Australia. *J. Fish Dis.* 20: 159-186.
- Hicks, B. 1989. British Columbia salmonid disease handbook. British Columbia salmon farming manual. Vol. 1. B.C. Ministry of Agriculture and Fisheries, Vancouver, BC. 1-44 p.
- Hilger, I., Ullrich, S. and Anders, K. 1991. A new ulcerative flexibacteriosis-like disease ('yellow pest') affecting young Atlantic cod *Gadus morhua* from the German Wadden Sea. *Dis. Aquat. Org.* 11: 19-29.
- ICES. 2019. *Tenacibaculum maritimum*, causal agent of tenacibaculosis in marine fish. In Identification Leaflets for Diseases and Parasites of Fish and Shellfish, No. 70. Copenhagen, Denmark. 70. 5 p.
- Jang, H. Y., Jeong, J. B., Yeo, I. K., Kim, K. Y., Harikrishnan, R. and Heo, M. S. 2009. Biological characterization of *Tenacibaculum maritimum* isolated from cultured olive flounder in Korea and sensitivity against native plant extracts. *J. Fish Pathol.* 22(1): 53-65.
- Jansson, E. and Vennerström, P. 2014. Infectious diseases of coldwater fish in marine and brackish waters. Wallingford, Oxon, UK. CABI. 1-63 p.
- Jones, S. R. M. 2019. [Caractérisation de la bactérie *Piscirickettsia salmonis* et de la septicémie rickettsienne des salmonidés pour informer les évaluations des risques de transfert d'agents pathogènes en Colombie-Britannique](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech.2019/020. v + 22 p.
- Kent, M. L. 1992. Diseases of seawater netpen-reared salmonid fishes in the Pacific Northwest. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* Vol. 116. DFO. PBS, Nanaimo, BC. 1-76 p.
- Kent, M. L. and Poppe, T. T. 1998. Diseases of seawater netpen-reared salmonid fishes. DFO. PBS, Nanaimo, B.C. 66 p.
- Khalil, R. H., Diab, A. M., Shakweer, M. S., Ghetas, H. A., Khallaf, M. M. and Omar, A. A. E. D. 2018. New perspective to control of tenacibaculosis in sea bass *Dicentrarchus labrax* L. *Aquaculture Res.* 49(7): 2357-2365.
- Kirchman, D. L. 2002. The ecology of Cytophaga–Flavobacteria in aquatic environments. *FEMS Microbiol. Ecol.* 39(2): 91-100.
- Kolygas, M. N., Gourzioti, E., Vatsos, I. N. and Athanassopoulou, F. 2012. Identification of *Tenacibaculum maritimum* strains from marine farmed fish in Greece. *Vet. Rec.* 170(24): 623.

-
- Labrie, L., Ng, J., Tan, Z., Komar, C., Ho, E. and Grisez, L. 2008. Nocardial infections in fish: an emerging problem in both freshwater and marine aquaculture systems in Asia. *Diseases in Asian Aquaculture VI*: 297-312.
- Levipan, H. A., Tapia-Cammas, D., Molina, V., Irgang, R., Toranzo, A. E., Magarinos, B. and Avendaño-Herrera, R. 2019. Biofilm development and cell viability: An undervalued mechanism in the persistence of the fish pathogen *Tenacibaculum maritimum*. *Aquaculture* 511: 1-8.
- Loch, T. P. and Faisal, M. 2015. Emerging flavobacterial infections in fish: A review. *J. Adv. Res.* 6(3): 283-300.
- Lopez, J. R., Nunez, S., Magarinos, B., Castro, N., Navas, J. I., de la Herran, R. and Toranzo, A. E. 2009. First isolation of *Tenacibaculum maritimum* from wedge sole, *Dicologlossa cuneata* (Moreau). *J. Fish Dis.* 32(7): 603-610.
- Ludwig, W., Euzéby, J. and Whitman, W. B. 2010. Road map of the phyla *Bacteroidetes*, *Spirochaetes*, *Tenericutes (Mollicutes)*, *Acidobacteria*, *Fibrobacteres*, *Fusobacteria*, *Dictyoglomi*, *Gemmatimonadetes*, *Lentisphaerae*, *Verrucomicrobia*, *Chlamydiae*, and *Planctomycetes*. In Krieg N.R. et al. (eds) *Bergey's Manual® of Systematic Bacteriology*. Volume 4. 2nd ed. Springer, New York, NY. pp 1-19.
- Mabrok, M., Machado, M., Serra, C. R., Afonso, A., Valente, L. M. P. and Costas, B. 2016. Tenacibaculosis induction in the Senegalese sole (*Solea senegalensis*) and studies of *Tenacibaculum maritimum* survival against host mucus and plasma. *J. Fish Dis.* 39(12): 1445-1455.
- Magarinos, B., Pazos, F., Santos, Y., Romalde, J. L. and Toranzo, A. E. 1995. Response of *Pasteurella piscicida* and *Flexibacter maritimus* to skin mucus of marine fish. *Dis. Aquat. Org.* 21: 103-108.
- Magi, G. E., Avendaño-Herrera, R., Magariños, B., Toranzo, A. E. and Romalde, J. L. 2007. First reports of flexibacteriosis in farmed tub gurnard (*Chelidonichthys lucernus* L.) and wild turbot (*Scophthalmus maximus*) in Italy. *Bull. Eur. Ass. Fish Pathol.* 27(5): 177-184.
- Masumura, K. and Wakabayashi, H. 1977. An outbreak of gliding bacterial disease in hatchery-born Red Seabream (*Pagrus major*) and Gilthead (*Acanthopagrus schlegeli*) fry in Hiroshima. *Fish Pathol.* 12(3): 171-177.
- McVicar, A. H. and White, P. G. 1979. Fin and skin necrosis of cultivated Dover sole *Solea solea* (L.). *J. Fish Dis.* 2: 557-562.
- McVicar, A. H. and White, P. G. 1982. The prevention and cure of an infectious disease in cultivated juvenile Dover sole, *Solea Solea* (L.). *Aquaculture* 26: 213-222.
- Mimeault, C., Wade, J., Foreman, M. G. G., Chandler, P. C., Aubry, P., Garver, K. A., Grant, S. C. H., Holt, C., Jones, S., Johnson, S., Trudel, M., Burgetz, I. J. and Parsons, G. J. 2017. [Assessment of the risk to Fraser River Sockeye Salmon due to Infectious Hematopoietic Necrosis Virus \(IHNV\) transfer from Atlantic Salmon farms in the Discovery Islands, British Columbia](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/075. vii + 75 p.
- Morrison, D. B. and Saksida, S. 2013. Trends in antimicrobial use in Marine Harvest Canada farmed salmon production in British Columbia (2003-2011). *Can. Vet. J.* 54(12): 1160-1163.
- MPO. 2015. [Permis d'aquaculture de poissons marins en vertu de la Loi sur les pêches](#). Division de la gestion de l'aquaculture.
-

-
- MPO. 2019a. [Épisodes de mortalité dans des sites de piscicultures marine de la Colombie-Britannique 2011 et en cours.](#)
- MPO. 2019b. [Événements liés à la santé du poisson signalés sur des sites de pisciculture marine de la Colombie-Britannique 2016 et en cours.](#)
- MPO. 2019c. [Résultats des vérifications de la santé du poisson effectuées par le MPO pour chaque installation des sites d'aquaculture de poissons marins de la C.-B. 2011 et en cours.](#)
- Nekouei, O., Vanderstichel, R., Kaukinen, K. H., Thakur, K., Ming, T., Patterson, D. A., Trudel, M., Neville, C. and Miller, K. M. 2019. Comparison of infectious agents detected from hatchery and wild juvenile Coho salmon in British Columbia, 2008-2018. PLOS-ONE 14(9): e0221956.
- Nekouei, O., Vanderstichel, R., Ming, T., Kaukinen, K. H., Thakur, K., Tabata, A., Laurin, E., Tucker, S., Beacham, T. D. and Miller, K. M. 2018. Detection and assessment of the distribution of infectious agents in juvenile Fraser River Sockeye Salmon, Canada, in 2012 and 2013. Front. Microbiol. 9: 1-16.
- Nishioka, T., Watanabe, K. and Sano, M. 2009. A bath challenge method with *Tenacibaculum maritimum* for Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. Fish Pathol. 44(4): 178-181.
- Olsen, A. B., Gulla, S., Steinum, T., Colquhoun, D. J., Nilsen, H. K. and Duchaud, E. 2017. Multilocus sequence analysis reveals extensive genetic variety within *Tenacibaculum* spp. associated with ulcers in sea-farmed fish in Norway. Vet. Microbiol. 205: 39-45.
- Olsen, A. B., Nilsen, H., Sandlund, N., Mikkelsen, H., Sorum, H. and Colquhoun, D. J. 2011. *Tenacibaculum* sp. associated with winter ulcers in sea-reared Atlantic salmon *Salmo salar*. Dis. Aquat. Org. 94(3): 189-199.
- Ostland, V. E., Morrison, D. and Ferguson, H. W. 1999. *Flexibacter maritimus* associated with a bacterial stomatitis in Atlantic salmon smolts reared in net-pens in British Columbia. J. Aquat. Anim. Health 11(1): 35-44.
- Pazos, F., Nunez, S. and Toranzo, A. E. 1993. Increasing occurrence of *Flexibacter maritimus* in the marine aquaculture of Spain. FHS/AFS News 21: 1-2.
- Pepin, J. F. and Emery, E. 1993. Marine Cytophaga-like bacteria (CLB) isolated from diseased reared sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) from French Mediterranean Coast. Bull. Eur. Assoc. Fish Pathol. 13(5): 165.
- Perez-Pascual, D., Lunazzi, A., Magdelenat, G., Rouy, Z., Roulet, A., Lopez-Roques, C., Larocque, R., Barbeyron, T., Gobet, A., Michel, G., Bernardet, J. F. and Duchaud, E. 2017. The complete genome sequence of the fish pathogen *Tenacibaculum maritimum* provides insights into virulence mechanisms. Front. Microbiol. 8: 1542.
- Powell, J. and Podlasly, T. 2015. Workshop Report and Synopsis. In *Tenacibaculum maritimum: Current Knowledge and Future Directions*. BC Center for Aquatic Health Sciences workshop. Campbell River Maritime Heritage Centre, Campbell River, BC. February 15-16, 2015. pp 41.
- Powell, M., Carson, J. and Gelderen, R. v. 2004. Experimental induction of gill disease in Atlantic salmon *Salmo salar* smolts with *Tenacibaculum maritimum*. Dis. Aquat. Org. 61: 179-185.
- Powell, M. D., Harris, J. O., Carson, J. and Hill, J. V. 2005. Effects of gill abrasion and experimental infection with *Tenacibaculum maritimum* on the respiratory physiology of Atlantic salmon *Salmo salar* affected by amoebic gill disease. Dis. Aquat. Org. 63: 169-174.

-
- Rahman, T., Suga, K., Kanai, K. and Sugihara, Y. 2014. Biological and serological characterization of a non-gliding strain of *Tenacibaculum maritimum* isolated from a diseased puffer fish *Takifugu rubripes*. *Fish Pathol.* 49(3): 121-129.
- Salati, F., Cubadda, C., Viale, I. and Kusuda, R. 2005. Immune response of sea bass *Dicentrarchus labrax* to *Tenacibaculum maritimum* antigens. *Fisheries Science* 71: 563-567.
- Santé Canada. 2010. [Liste des drogues approuvés au Canada pour les animaux aquatiques destinés à la consommation.](#)
- Santos, Y., Pazos, F. and Barja, J. L. 1999. *Flexibacter maritimus*, causal agent of *flexibacteriosis* in marine fish. In ICES Identification Leaflets for Diseases and Parasites of Fish and Shellfish. Copenhagen, Denmark. 55. 1-5 p.
- Sawyer, E. S. 1976. An outbreak of myxobacterial disease in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) reared in a Maine estuary. *J. Wildl. Dis.* 12(4): 575-578.
- Småge, S. B., Brevik, Ø. J., Frisch, K., Watanabe, K., Duesund, H. and Nylund, A. 2017. Concurrent jellyfish blooms and tenacibaculosis outbreaks in Northern Norwegian Atlantic salmon (*Salmo salar*) farms. *PLOS ONE* 12(11): e0187476.
- Småge, S. B., Frisch, K., Brevik, O. J., Watanabe, K. and Nylund, A. 2016. First isolation, identification and characterisation of *Tenacibaculum maritimum* Norway, isolated from diseased farmed sea lice cleaner fish *Cyclopterus lumpus* L. *Aquaculture* 464: 178-184.
- Småge, S. B., Frisch, K., Vold, V., Duesund, H., Brevik, Ø. J., Olsen, R. H., Sjaatil, S. T., Klevan, A., Brudeseth, B., Watanabe, K. and Nylund, A. 2018. Induction of tenacibaculosis in Atlantic salmon smolts using *Tenacibaculum finnmarkense* and the evaluation of a whole cell inactivated vaccine. *Aquaculture and Fisheries Management* 495: 858-864.
- Soltani, M. and Burke, C. M. 1994. Responses of fish-pathogenic *Cytophaga flexibacter*-like (CFLB) to environmental conditions. *Bull. Eur. Assoc. Fish Pathol.* 14(6): 185-187.
- Soltani, M., Munday, B. L. and Burke, C. M. 1996. The relative susceptibility of fish to infections by *Flexibacter columnaris* and *Flexibacter maritimus*. *Aquaculture* 140: 259-264.
- Suzuki, M., Nakagawa, Y., Harayama, S. and Yamamoto, S. 2001. Phylogenetic analysis and taxonomic study of marine *Cytophaga*-like bacteria: proposal for *Tenacibaculum* gen. nov. with *Tenacibaculum maritimum* comb. nov. and *Tenacibaculum ovolyticum* comb. nov., and description of *Tenacibaculum mesophilum* sp. nov. and *Tenacibaculum amylolyticum* sp. nov. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 51: 1639-1652.
- Teeling, H., Fuchs, B. M., Becher, D., Klockow, C., Gardebrecht, A., Benneke, C. M., Kassabgy, M., Huang, S., Mann, A. J., Waldmann, J., Weber, M., Klindworth, A., Otto, A., Lange, J., Bernhardt, J., Reinsch, C., Hecker, M., Peplies, J., Bockelmann, F. D., Callies, U., Gerdt, G., Wichels, A., Wiltshire, K. H., Glöckner, F. O., Schweder, T. and Amann, R. 2012. Substrate-controlled succession of marine bacterioplankton populations induced by a phytoplankton bloom. *Science* 336(6081): 608-611.
- Teeling, H., Fuchs, B. M., Benneke, C. M., Krüger, K., Chafee, M., Kappelmann, L., Reintjes, G., Waldmann, J., Quast, C., Glöckner, F. O., Lucas, J., Wichels, A., Gerdt, G., Wiltshire, K. H. and Amann, R. I. 2016. Recurring patterns in bacterioplankton dynamics during coastal spring algae blooms. *Elife* 5: e11888.
- Toranzo, A. E., Magariños, B. and Romalde, J. L. 2005. A review of the main bacterial fish diseases in mariculture systems. *Aquaculture* 246: 37-61.

-
- van Gelderen, R., Carson, J. and Nowak, B. 2009. Experimental vaccination of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) against marine flexibacteriosis. *Aquaculture* 288(1): 7-13.
- van Gelderen, R., Carson, J. and Nowak, B. 2010. Experimentally induced marine flexibacteriosis in Atlantic salmon smolts *Salmo salar*. I. Pathogenicity. *Dis. Aquat. Organ.* 91(2): 121-128.
- van Gelderen, R., Carson, J. and Nowak, B. 2011. Experimentally induced marine flexibacteriosis in Atlantic salmon smolts *Salmo salar*. II. Pathology. *Dis. Aquat. Org.* 95(2): 125-135.
- Vinogradov, E., MacLean, L. L., Crump, E. M., Perry, M. B. and Kay, W. W. 2003. Structure of the polysaccharide chain of the lipopolysaccharide from *Flexibacter maritimus*. *European J. Biochem.* 270(8): 1810-1815.
- Wade, J. 2017. [British Columbia farmed Atlantic Salmon health management practices](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/072. vi + 55 p.
- Wakabayashi, H., Hikida, M. and Masumura, K. 1984. *Flexibacter* infection in cultured marine fish in Japan. *Helgol. Meeresunters.* 37: 587-593.
- Wakabayashi, H., Hikida, M. and Masumura, K. 1986. *Flexibacter maritimus* sp. nov., a pathogen of marine fishes. *International Journal of Systematic Bacteriology* 36(3): 396-398.
- Watanabe, K. and Nishimura, T. 2010. Antibacterial effect of chemical reagents against *Tenacibaculum maritum*. *Fish Pathol.* 45: 66-68.
- Woo, P. T. K. and Bruno, D. W. 2011. *Fish diseases and disorders, Vol. 3. Viral, bacterial and fungal infections*. Wallingford, Oxfordshire; Cambridge, MA.
- Woo, P. T. K., Bruno, D. W. and Lim, L. H. S. 2002. *Diseases and disorders of finfish in cage culture*. CABI Publishing, Wallingford, Oxfordshire, UK.
- Zhang, X. Y., Xie, B. B., Qin, Q. L., Liu, A., Chen, X. L., Zhou, B. C. and Zhang, Y. Z. 2012. Draft genome sequence of strain P7-3-5, a new *Flavobacteriaceae* bacterium isolated from intertidal sand. *J. Bacteriol.* 194(23): 6632.