



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS)

Document de recherche 2022/030

Région de la capitale nationale

Évaluation du risque indirect pour la santé humaine des barbillons GloFish^{MD} Electric Green^{MD}, GloFish^{MD} Starfire Red^{MD}, GloFish^{MD} Sunburst Orange^{MD} et GloFish^{MD} Galactic Purple^{MD} (*Puntigrus tetrazona*) pour leur utilisation comme poissons d'ornement au Canada

Kassim Ali et Stephen Dugan

Bureau de l'évaluation et du contrôle des substances nouvelles
Direction de la sécurité des milieux
Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs
Santé Canada
269, avenue Laurier, Ottawa (Ontario) K1A 0K9

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 des avis scientifiques
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 le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du
ministère des Pêches et des Océans, 2023

ISSN 2292-4272

ISBN 978-0-660-48315-3 N° cat. Fs70-5/2023-030F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Ali, K. et Dugan, S. 2023. Évaluation du risque indirect pour la santé humaine des barbillons GloFish^{MD} Electric Green^{MD}, GloFish^{MD} Starfire Red^{MD}, GloFish^{MD} Sunburst Orange^{MD} et GloFish^{MD} Galactic Purple^{MD} (*Puntigrus tetrazona*) pour leur utilisation comme poissons d'ornement au Canada. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2023/030. iv + 22 p.

Also available in English :

Ali, K. and Dugan, S. 2023. *Indirect Human Health Risk Assessment of the GloFish[®] Electric Green[®], GloFish[®] Starfire Red[®], GloFish[®] Sunburst Orange[®], and the GloFish[®] Galactic Purple[®] Barbs (Puntigrus tetrazona), for use as ornamental aquarium fish in Canada.* DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2023/030. iv + 20 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	iv
INTRODUCTION	1
ÉVALUATION DES DANGERS	1
IDENTIFICATION ET CARACTÉRISATION DES LIGNÉES GB2011, RB2015, OB2019 ET PB2019 DE <i>PUNTIGRUS TETRAZONA</i>	1
Nomenclature binomiale	1
Taxinomie.....	1
Synonymes, noms communs et nom périmés	2
Caractérisation et justification de l'identification taxonomique	2
Historique des souches.....	2
Modifications génétiques : but, méthode, modifications génétiques et phénotypiques.....	2
Propriétés biologiques et écologiques	3
EFFETS SUR LA SANTÉ HUMAINE	3
Potentiel zoonotique.....	3
Allergénicité/toxigénicité.....	7
Historique d'utilisation	8
CARACTÉRISATION DES DANGERS	8
INCERTITUDE LIÉE À L'ÉVALUATION DES RISQUES INDIRECTS POUR LA SANTÉ HUMAINE.....	9
ÉVALUATION DE L'EXPOSITION	10
APERÇU	10
IMPORTATION	11
INTRODUCTION DE L'ORGANISME	12
DEVENIR DANS L'ENVIRONNEMENT	13
AUTRES UTILISATIONS POSSIBLES	14
CARACTÉRISATION DE L'EXPOSITION	14
INCERTITUDE LIÉE À L'ÉVALUATION DES RISQUES INDIRECTS DE L'EXPOSITION POUR LA SANTÉ HUMAINE	15
CARACTÉRISATION DU RISQUE	16
UTILISATION DÉCLARÉE.....	16
AUTRES UTILISATIONS POSSIBLES	17
CONCLUSION DE L'ÉVALUATION DES RISQUES	17
RÉFÉRENCES CITÉES	18

RÉSUMÉ

Une évaluation indirecte des risques pour la santé humaine a été menée sur quatre lignées de barbus de Sumatra (*Puntigrus tetrazona*) génétiquement modifiés, connus sous les noms de barbus GloFish^{MD} Electric Green^{MD} (GB2011), GloFish^{MD} Starfire Red^{MD} (RB2015), GloFish^{MD} Sunburst Orange^{MD} (OB2019) et GloFish^{MD} Galactic Purple^{MD} (PB2019), et visés par la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (LCPE). Les lignées GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 sont des lignées modifiées de barbus de Sumatra diploïdes, homozygotes ou hémizygotés, dotées de gènes codant pour différentes protéines fluorescentes. Les lignées GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 apparaissent respectivement en vert, rouge, orange ou violet sous la lumière ambiante (y compris la lumière du soleil). Les quatre lignées seront importées des États-Unis pour être utilisées comme poissons d'ornement dans les aquariums domestiques. La présente évaluation des risques portait sur la possibilité que les trois lignées aient des effets nocifs sur les humains au Canada, par rapport aux barbus de Sumatra de type sauvage, en conséquence d'une exposition dans l'environnement, y compris leur utilisation prévue dans les aquariums domestiques. La souche mère, *P. tetrazona*, est utilisée comme poisson d'aquarium domestique depuis les années 1950 sans qu'aucun effet néfaste sur la santé humaine n'ait été signalé. Rien ne semble indiquer qu'il existe un risque d'effet nocif sur la santé humaine aux niveaux d'exposition prévus pour la population canadienne découlant de l'utilisation des barbus de Sumatra GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 comme poisson d'ornement ou de toute autre utilisation potentielle répertoriée. En tant que tel, rien ne permet de penser que les barbus de Sumatra GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 présentent plus de risques pour la santé humaine que le type sauvage de *P. tetrazona*.

INTRODUCTION

L'évaluation du risque pour la santé humaine qui suit a été menée sur les *Puntigrus tetrazona* GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019, quatre lignées génétiquement modifiées de barbus de Sumatra diploïdes, hémizygotes ou homozygotes, dotées de gènes codant pour des versions modifiées de protéines fluorescentes vertes, rouges, jaunes ou violet, respectivement. Les *P. tetrazona* de type sauvage sont largement utilisés au Canada et dans d'autres parties du monde comme poissons tropicaux d'ornement. L'évaluation des risques porte sur le potentiel d'effets nocifs pour l'humain au Canada des barbus de Sumatra GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019, comparativement au *P. tetrazona* de type sauvage, en conséquence d'une exposition dans l'environnement, y compris une exposition en milieu naturel ou dans le cadre de son utilisation prévue (c.-à-d. dans un aquarium domestique). Les lignées GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 sont de couleur verte, rouge, orange et violet, respectivement, lorsqu'ils sont exposés à la lumière ambiante, y compris la lumière du soleil, et seront importés des États-Unis pour être utilisés comme poissons d'ornement dans des aquariums domestiques. L'évaluation des risques a été menée en vertu de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (LCPE) et du *Règlement sur les renseignements concernant les substances nouvelles (organismes)*.

ÉVALUATION DES DANGERS

IDENTIFICATION ET CARACTÉRISATION DES LIGNÉES GB2011, RB2015, OB2019 ET PB2019 DE *PUNTIGRUS TETRAZONA*

Nomenclature binomiale

Puntigrus tetrazona (Bleeker 1855) GB2011, RB2015, OB2019, et PB2019

Taxinomie

Règne	Animal
Phylum	Chordés
Sous-phylum	Vertébrés
Superclasse	Actinoptérygiens
Catégorie	Téléostéens
Ordre	Cypriniformes
Famille	Cyprinidés
Genre	<i>Puntigrus</i>
Espèce	<i>Tétrazone</i>
Lignées	GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019

Synonymes, noms communs et nom périmés

Synonymes : *Barbodes tetrazona*, *Barbus tetrazona*, *Puntius tetrazona*, *Capoeta tetrazona*, *C. sumatranus*

Noms communs : Barbus, barbus de Sumatra

Noms commerciaux : GB2011 – barbu GloFish^{MD} Electric Green^{MD}

RB2015 – barbu GloFish^{MD} Starfire Red^{MD}

OB2019 – barbu GloFish^{MD} Sunburst Orange^{MD}

PB2019 – barbu GloFish^{MD} Galactic Purple^{MD}

Caractérisation et justification de l'identification taxonomique

Les *Puntigrus tetrazona* GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 sont des lignées de barbus de Sumatra diploïdes, hémizygotes ou homozygotes, génétiquement modifiées, dotées de constructions génétiques qui leur donnent une apparence verte (GB2011), rouge (RB2015), orange (OB2019) ou violet (PB2019) à la lumière ambiante, y compris au soleil. Les quatre lignées sont issues d'une souche domestique albinos (sans pigment noir sur le corps ou dans les yeux) de barbus de Sumatra. Pour retrouver leurs rayures, les lignées ont été croisées avec des barbus de Sumatra domestiques rayés dans les générations suivantes.

Les caractéristiques distinctives du type sauvage comprennent un motif de couleur unique de quatre barres noires sur un fond pâle avec la barre antérieure en travers de l'œil, la deuxième barre en avant de la base pelvienne, la troisième barre au-dessus de la nageoire anale et continuant sur elle, et la quatrième barre à la base de la caudale, avec également au moins la moitié basale de la nageoire dorsale noire. Bien qu'elles ne soient pas propres au genre, d'autres caractéristiques peuvent aider à leur identification, notamment un corps étendu et de forme rhomboïde, la dernière nageoire dorsale simple dentelée postérieurement, l'absence de barbillons rostraux, la présence de barbillons maxillaires, une ligne latérale complète ou non avec 18 à 23 écailles (Kottelat 2013). Le motif de couleur est presque identique à celui de *P. anchisporus*, cependant *P. tetrazona* diffère avec un corps plus allongé et une ligne latérale incomplète (Nico *et al.* 2019).

Historique des souches

Les lignées déclarées (GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019) ont été produites par micro-injection de cassettes d'expression contenant les transgènes correspondants dans des blastomères de *P. tetrazona*. Des précisions concernant la mise au point de la souche et l'historique des lignées déclarées ont été fournies par le déclarant aux seules fins de l'examen et de l'évaluation des risques en cours, mais ces renseignements sont désignés comme des renseignements commerciaux confidentiels et ne figurent pas dans le présent rapport. Les stocks de géniteurs pour les lignées GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 sont conservés séparément, le même protocole de reproduction étant utilisé pour les quatre lignées.

Modifications génétiques : but, méthode, modifications génétiques et phénotypiques

Les lignées déclarées qui ont été modifiées pour afficher une couleur verte (GB2011), rouge (RB2015), orange (OB2019) ou violet (PB2019) sous la lumière ambiante, y compris la lumière du soleil, sont destinées à un usage par le grand public à des fins d'exposition dans un aquarium domestique uniquement. Comme pour le *P. tetrazona* de type sauvage, qui est une espèce non alimentaire utilisée en toute sécurité dans les aquariums du monde entier depuis

environ 70 ans, les lignées GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 ne sont pas destinées à un usage alimentaire.

Selon les renseignements fournis par la société déclarante, outre le fait que les poissons GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 apparaissent en couleur verte, rouge, orange et violet sous la lumière ambiante, les quatre lignées ont un taux de réussite de la reproduction inférieur à celui de leurs frères et sœurs barbus non transgéniques. La société déclarante a également fourni les résultats d'un essai de tolérance à la température qui a montré une sensibilité variable aux basses températures pour les quatre lignées, GB2011 et OB2019 étant plus sensibles que les barbus non transgéniques. Cependant, il n'y avait pas de différence dans la sensibilité à la température entre les lignées RB2015 et PB2019 par rapport à leurs frères et sœurs non transgéniques.

Propriétés biologiques et écologiques

Le barbu de Sumatra est un cyprinidé tropical dont l'aire de répartition géographique s'étend à la péninsule malaise, à Sumatra, à Bornéo et à de nombreuses autres régions d'Asie. On les trouve généralement dans des cours d'eau peu profonds, clairs ou turbides, dans des bassins situés à proximité de cours d'eau ou de lacs, ou dans de petits affluents caractérisés par un écoulement modéré de l'eau sur des fonds de sable, de gravier et de boue, ainsi que dans les parties moyennes et inférieures des bassins fluviaux (Barik *et al.* 2018; Lumbantobing 2020). Leur régime alimentaire se compose principalement de phytoplancton, d'insectes aquatiques et terrestres, ainsi que d'autres invertébrés (Nico *et al.* 2019).

La longueur maximale du barbu de Sumatra est de 5 cm avec une longueur de corps de 2 cm (Tamaru *et al.* 1997). Ils sont caractérisés par leur couleur jaune brunâtre avec quatre bandes verticales sur le corps et par leurs nageoires et leur museau rouges (Barik *et al.* 2018).

Les barbus de Sumatra sont reconnus pour former des bancs et ont été signalés comme agressifs envers des individus de la même espèce ou d'espèces différentes dans les aquariums domestiques (Sloman *et al.* 2011). Ils forment des liens de couple pendant le frai et leurs œufs sont déposés sur la végétation aquatique submergée, jusqu'à 500 étant libérés par période de frai (Nico *et al.* 2019). Les barbus de Sumatra atteignent leur maturité sexuelle à l'âge de six à sept semaines environ et leur reproduction a lieu lorsque les températures se situent constamment entre 23 °C et 28 °C, la température idéale étant de 25 °C. Les œufs éclosent en trois jours à une température constante de 25 °C et 27 °C. Les alevins nouvellement éclos ne nagent pas pendant deux jours et se nourrissent des vésicules vitellines, qui sont entièrement absorbées trois jours après l'éclosion (Tamaru *et al.* 1997).

EFFETS SUR LA SANTÉ HUMAINE

Potentiel zoonotique

Les recherches internes de la littérature scientifique n'ont permis de recenser aucun signalement de zoonose ou d'autres effets nocifs attribuables aux *P. tetrazona* de type sauvage ou à d'autres lignées GloFish^{MD} disponibles dans le commerce. Bien que rares, des cas d'infections zoonotiques découlant d'un contact avec des poissons tropicaux d'ornement ont été signalés, en plus de zoonoses indirectes attribuables à l'ingestion d'aliments ou d'eau potable contaminés par des agents pathogènes et des parasites associés à des poissons d'ornement ou d'aquarium. Il existe peu de signalements de zoonoses causées par des agents pathogènes parasitaires, fongiques et viraux provenant d'organismes aquatiques, les bactéries étant signalées comme les principaux agents étiologiques des infections zoonotiques (Iqbal *et al.* 2018). Les maladies bactériennes sont extrêmement courantes chez les poissons d'ornement et

sont le plus souvent attribuables à des bactéries qui sont omniprésentes dans les milieux aquatiques et qui agissent comme pathogènes opportunistes secondaires aux stress (Roberts *et al.* 2009). Le contact est la principale voie de transmission d'infections bactériennes à l'humain, lesquelles résultent de la manipulation d'organismes aquatiques (Lowry et Smith 2007). Les jeunes enfants, les femmes enceintes et les personnes immunodéprimées présentent un risque plus élevé de contracter ces infections (Dinç *et al.* 2015). Les enfants ont souvent des pratiques d'hygiène moins rigoureuses et sont plus susceptibles de contracter des maladies graves que les adultes (Dunn *et al.* 2015). Si la plupart des infections sont autolimitatives, les cas plus graves sont associés à une déficience immunitaire, à une infection par des souches très virulentes, à un contact avec un inoculum important, à la profondeur de la pénétration cutanée ou à une combinaison de ces facteurs (Haenen *et al.* 2020). Les espèces bactériennes les plus courantes chez les poissons tropicaux qui peuvent causer des maladies chez l'humain sont *Aéromonas* sp., *Mycobacterium marinum*, *Salmonella* sp. et *Streptococcus iniae* (CDC 2015). Les infections que l'on signale le plus souvent sont attribuables à *M. marinum* (Weir *et al.* 2012).

Chez l'humain, *M. marinum* est l'agent pathogène du granulome des aquariums, qui entraîne des lésions ulcéreuses sur la peau ou l'apparition de nodules granulomateux. Ces lésions sont généralement limitées aux extrémités distales comme les mains, les jambes et les pieds, car la température de croissance optimale de *M. marinum* varie entre 26 °C et 32 °C (Mutoji et Ennis 2012; Gauthier 2015). Toutefois, les lésions cutanées nodulaires peuvent évoluer vers la ténosynovite, l'arthrite et l'ostéomyélite (Hashish *et al.* 2018). De plus, de rares cas de mycobactériose systémique ont été signalés chez des personnes immunodéprimées (Lowry et Smith 2007). Les infections sont généralement contractées lorsque des blessures et des abrasions cutanées sont exposées à de l'eau contaminée (Gauthier 2015). Chez l'humain, la mycobactériose est classée en quatre types (I à IV). Le type I se voit chez les patients immunocompétents avec des signes cliniques comprenant des lésions superficielles accompagnées de nodules croûteux et ulcérés ou des plaques verruqueuses. Les lésions sont constituées de petites papules indolores de couleur rouge-bleuâtre mesurant environ 1 à 2 cm de diamètre. Les signes se développent sur quelques semaines ou quelques mois. Le type II survient chez les personnes immunodéprimées et comporte des lésions avec abcès, nodules inflammatoires et granulomes. Les lésions peuvent être des granulomes sous-cutanés uniques ou multiples, avec ou sans ulcération. Dans le type III, les infections se produisent dans les tissus profonds avec ou sans lésions cutanées et des signes cliniques comprenant l'arthrite, la ténosynovite, l'ostéomyélite et la bursite. Le type IV est très rare, mais peut se produire chez les patients souffrant d'une maladie pulmonaire (Delghandi *et al.* 2020).

Il est probable que presque toutes les espèces de poissons soient sensibles à *Mycobacterium* sp. avec des niveaux de mortalité allant de 10 % à 100 % des poissons infectés (Delghandi *et al.* 2020). *M. marinum*, *M. chelonae* et *M. fortuitum* sont les espèces les plus fréquemment rapportées comme étant à l'origine de la mycobactériose des piscines (Phillips Savage *et al.* 2022). Cependant, d'autres exemples d'espèces de *Mycobacterium* reconnues comme causant des infections chez les poissons comprennent *M. abscessus*, *M. flavescens*, *M. gordonae*, *M. haemophilum*, *M. kansasii* et *M. peregrinum* (Cardoso *et al.* 2019; Pate *et al.* 2019; Puk et Guz 2020). Řehulka *et al.* (2006) ont observé des cas de symptômes de poissons de nature tuberculeuse chez les *P. tetrazona*, mais ont signalé n'avoir isolé que *M. chelonae*. Phillips Savage *et al.* (2022) ont examiné 122 poissons tropicaux provenant de 24 détaillants de l'île de Trinidad pour déterminer la prévalence de *Mycobacterium* sp. dans l'industrie locale des poissons d'ornement. Cinq des poissons échantillonnés étaient des barbus GloFish^{MD}, dont trois ont été déclarés présumés positifs sur la base d'une coloration acido-basique sur banc (Kinyoun) ou histologique (Ziehl-Neelsen). Cependant, aucun des trois cas présumés positifs n'a été confirmé par un test PCR en temps réel. En outre, quatre des six variétés de barbus de

type sauvage étaient également présumées positives sur la base d'un test à colorant résistant à l'acide.

Bien que la plupart des cas d'infections liées aux poissons chez l'homme soient causés par *M. marinum*, les aquariophiles amateurs doivent également être conscients du potentiel zoonotique d'autres espèces de *Mycobacterium* (Puk et Guz 2020). Chez les personnes immunodéprimées et les enfants, *M. haemophilum* a été associé aux infections sous-cutanées, à la lymphadénite, à l'arthrite septique, à l'ostéomyélite, à la pneumonite et aux maladies disséminées (Emmerich *et al.* 2019; Franco-Paredes *et al.* 2019). Cameselle-Martínez *et al.* (2007) ont signalé une infection cutanée par *M. haemophilum* à la suite d'une morsure de poisson d'aquarium chez un patient gravement immunodéprimé atteint du sida. L'infection a été traitée avec succès après un traitement combiné de six antibiotiques. *M. abscessus*, *M. chelonae*, *M. fortuitum* et *M. peregrinum* sont également associés à des infections cutanées chez les humains (Kamijo *et al.* 2012; Franco-Paredes *et al.* 2019). Li *et al.* (2014) ont fait état d'un traitement efficace par antibiotiques d'une infection cutanée à *M. chelonae* située sur le bras gauche d'une femme de 82 ans qui s'adonne à l'élevage de poissons tropicaux dans ses loisirs. Bien que les infections mycobactériennes cutanées puissent être guéries avec succès au moyen d'antibiotiques, le choix des combinaisons antibactériennes et la durée du traitement dépendent de l'espèce (Franco-Paredes *et al.* 2018).

Les infections zoonotiques dues à *S. iniae* sont opportunistes et ont le plus souvent été associées à des plaies punctiformes attribuables à la manipulation et à la préparation de poissons infectés par des personnes présentant des conditions médicales sous-jacentes comme le diabète sucré, un rhumatisme cardiaque chronique ou une cirrhose (Baiano et Barnes 2009; Haenen *et al.* 2020). Lors de la manipulation de poissons infectés vivants ou récemment morts, *S. iniae* peut provoquer une maladie grave, notamment une septicémie, une endocardite, de l'arthrite, une méningite, de la fièvre, une distension abdominale et une pneumonie (Lowry et Smith 2007; Boylan 2011; Gauthier 2015; Haenen *et al.* 2020). Les personnes immunodéprimées ou présentant des plaies ouvertes pourraient être infectées par *S. iniae* lorsqu'elles manipulent des poissons ou nettoient un aquarium (CDC 2015). Toutefois, la documentation scientifique ne fait état d'aucune infection à streptocoques chez l'être humain attribuée au barbu à la suite d'une exposition à un aquarium domestique.

Aeromonas spp. sont des pathogènes opportunistes qui sont associés à un certain nombre de maladies chez les poissons d'ornement (Hossain *et al.* 2018). *Aeromonas hydrophila* est l'espèce du genre *Aeromonas* la plus souvent signalée présentant un potentiel zoonotique, les espèces *A. sobria* et *A. caviae* ayant aussi été signalées (Boylan 2011). Les eaux qui présentent une teneur élevée en éléments nutritifs peuvent favoriser des proliférations de bactéries pouvant infecter les humains en présence de blessures ou en cas d'ingestion; ces infections sont toutefois rares et touchent ordinairement des personnes immunodéprimées (Boylan 2011). Chez les humains, l'exposition à *A. hydrophila* peut entraîner des infections cutanées locales et, parfois, une maladie diarrhéique (Haenen *et al.* 2020). *A. hydrophila* était l'une des espèces de bactéries isolées d'écouvillons nasopharyngés d'un garçon de 11 mois atteint de fibrose kystique (Cremonesini et Thomson 2008). Les auteurs pensent que l'infection était le résultat d'une propagation par aérosol de la bactérie attribuable au processus d'aération des aquariums de la maison car les isolations d'*A. hydrophila* n'ont cessé qu'après le retrait des aquariums. Bien que Cremonesini et Thomson (2008) n'aient pas nommé l'espèce de poisson présent dans l'aquarium, il n'y a pas de cas rapporté d'infections zoonotiques à *A. hydrophila* attribuées à une exposition à *P. tetrazona*. Parmi les *Aeromonas* spp. pathogènes, *A. veronii* semble présenter la plus vaste gamme d'hôtes, car des espèces allant des invertébrés aux mammifères, y compris les humains, ont montré une sensibilité à cet agent pathogène (Lazado et Zilberg 2018). Walczak *et al.* (2017) ont signalé des infections de *P. tetrazona* par *A.*

hydrophila et *A. veronii*. Toutefois, une recherche documentaire effectuée à l'interne n'a révélé aucun cas d'infection zoonotique à *A. veronii* à la suite d'une exposition à des poissons d'ornement.

Une infection à *Salmonella* peut survenir en cas de contact avec l'habitat d'un animal, comme un aquarium (CDC 2015). Bien que *Salmonella* ne soit pas un agent pathogène connu chez les poissons tropicaux, ceux-ci peuvent servir de réservoir bactérien et excréter *Salmonella* dans leurs excréments en période de stress (Gaulin *et al.* 2005). Musto *et al.* (2006) ont recensé en Australie 78 cas d'infections par la bactérie *Salmonella* Paratyphi B, biovar Java, chez des personnes qui possédaient des aquariums contenant des poissons tropicaux. Les infections touchaient surtout des enfants (l'âge médian des cas était de trois ans) qui avaient été exposés à l'eau d'un aquarium, et ont causé de la diarrhée, de la fièvre, des crampes abdominales, des vomissements, des selles sanguinolentes, des maux de tête et des myalgies. Les types de poissons tropicaux signalés dans cette étude étaient notamment les tétras, les guppys et les anges de mer. De la même manière, parmi les 53 cas de *Salmonella* Paratyphi B, biovar Java rapportés dans la province de Québec de janvier 2000 à juin 2003, 33 personnes infectées étaient propriétaires d'un aquarium et 21 des tests de dépistage pour aquariums avaient obtenu des résultats positifs à *Salmonella* (Gaulin *et al.* 2005). Cependant, les auteurs n'ont identifié aucune des espèces de poissons tropicaux possédées par les personnes infectées. Une recherche documentaire interne n'a révélé aucun cas d'infection zoonotique à *Salmonella* attribuée à une exposition à *P. tetrazona*.

Les barbues de Sumatra ont été signalés comme étant sensibles à l'agent pathogène bactérien émergent *Erysipelothrix piscisicarius*, qui est l'agent étiologique de la maladie des poissons d'ornement, l'érysipèle de la piscine (Chang *et al.* 2021). Chang *et al.* (2021) ont rapporté un taux de mortalité de 83 % au jour 16 suite à un défi d'immersion d'une heure dans une concentration de $2,1 \times 10^7$ UFC/mL d'*E. piscisicarius*. Un autre membre de ce genre, *E. rhusiopathiae*, est un agent zoonotique connu qui cause l'érysipèle chez l'homme (Pomaranski *et al.* 2020). Bien que l'on ne sache pas si *E. piscisicarius* possède également un potentiel zoonotique similaire, il est possible que les cas d'érysipèle humain attribués à *E. rhusiopathiae* attrapés de poissons soient le résultat d'une mauvaise identification avant la découverte de la première espèce (Chang *et al.* 2021). Une recherche documentaire interne n'a révélé aucun cas d'infection zoonotique à *E. rhusiopathiae* attribuée à une exposition à *P. tetrazona*.

Les infections zoonotiques surviennent principalement par l'intermédiaire de plaies, de coupures, d'éraflures, d'égratignures ou d'irritations de la peau (Boylan 2011). Les infections peuvent être évitées par le port de gants lors de la manipulation des poissons ou du nettoyage des aquariums, de même qu'en évitant tout contact avec de l'eau potentiellement contaminée en présence de plaies cutanées ouvertes. Il est également fortement recommandé de se laver les mains et la peau avec de l'eau savonneuse après tout contact avec de l'eau d'aquarium et des poissons. En outre, les personnes dont le système immunitaire est déprimé ou qui souffrent de pathologies sous-jacentes, de même que les enfants, devraient éviter de nettoyer des aquariums ou de manipuler des poissons (Haenen *et al.* 2013; 2020).

Aucun rapport n'associe spécifiquement les organismes déclarés ou le *P. tetrazona* de type sauvage à des parasites ayant des effets significatifs sur la santé humaine. Des évaluations sanitaires de routine (nécropsie, microbiologie) ont été réalisées sur des échantillons limités de six poissons de chaque couleur et un examen histologique a été réalisé sur six autres poissons de chaque couleur dans un laboratoire de diagnostic des maladies des poissons de l'Université de Floride en 2011 (GB2011), 2015 (RB2015), 2018 (OB2019) et 2019 (PB2019).

Les rapports n'ont pas examiné les poissons de type sauvage dans ces études, mais ont déclaré que les résultats n'étaient pas liés à la nature transgénique des poissons, car les parasites peuvent être couramment trouvés dans les poissons d'ornement (Florindo *et al.* 2017a,b; Iqbal *et al.* 2018; Trujillo-González *et al.* 2018). On a signalé l'isolement du parasite de poisson *Cryptosporidium huwi* chez le barbu de Sumatra, mais il n'existe aucun rapport d'infections humaines avec cette espèce de *Cryptosporidium* (Golomazou *et al.* 2021; Ryan *et al.* 2021). En outre, aucune croissance bactérienne n'a été observée après 48 heures (à 28 °C) dans les échantillons de cerveau et de rein antérieur placés sur des plaques de gélose au sang (TSA + 5 % de sang de mouton) pour les quatre lignées déclarées.

Allergénicité/toxigénicité

Des analyses internes des séquences d'acides aminés de toutes les protéines fluorescentes exprimées ont été effectuées à l'aide de la base de données [AllergenOnline](#) (v21; 14 février 2021). Comme pour les analyses précédentes sur ces protéines fluorescentes réalisées sur les lignées GloFish^{MD} précédemment déclarées, aucune correspondance présentant une identité supérieure à 35 % ni aucune correspondance exacte pour les segments de 80 et de 8 acides aminés, respectivement, n'a été trouvée pour l'une ou l'autre des protéines fluorescentes. Les analyses menées pour tous les autres cadres de lecture ont permis de constater le même résultat positif avec une fenêtre glissante de 80mer pour un cadre de lecture ouvert (ORF) putatif dans le sens 5' → 3' (cadre 3) dans les séquences de la cassette d'expression pour GB2011 et 5' → 3' (cadres 1 et 2) pour PB2019. On a constaté que le ORF de GB2011 présentait une identité de 35,03 % avec une protéine isoforme X1 de la chaîne de collagène alpha-1(I) du barramundi (*Lates calcarifer*). Cependant, l'alignement complet n'a donné lieu qu'à une identité de 35,4 % et la valeur E (valeur d'attente) était élevée, soit de 99. Les ORF de PB2019 ont tous une identité de 35,03 % avec la sérine protéase du champignon *Aspergillus Niger*. Les alignements complets ont donné lieu à 33,0 % d'identités avec des valeurs E élevées de 630 et 1800. La réactivité croisée exige généralement que les correspondances soient identiques à 40 % sur 80 acides aminés, avec un score de valeur E de 1e à 15 ou moins (Dr Richard Goodman, université de Lincoln-Nebraska, communication personnelle). Ainsi, une réactivité croisée allergique n'est pas probable pour aucun des trois ORF putatifs pour lesquels il y avait une correspondance dans la base de données en ligne. De plus, les analyses BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) sur les séquences d'acides aminés avec BLASTP n'ont trouvé aucune similarité significative avec une protéine connue pour GB2011 alors que 57,2 % d'identités avec la même construction synthétique ont été trouvées pour les séquences trouvées dans PB2019. Les analyses des séquences nucléotidiques insérées pour prédire les sites d'initiation de la traduction à l'aide d'un programme [en ligne](#) n'ont permis de trouver que des sites associés aux protéines fluorescentes attendues. Par conséquent, ces ORF putatifs n'aboutiraient très probablement pas à une protéine exprimée chez GB2011 ou PB2019.

L'identité de plus de 35 % pour les segments de 80 acides aminés est suggérée par la Commission Codex Alimentarius pour évaluer les protéines nouvellement exprimées produites par les plantes à ADN recombiné (OMS/FAO, 2009). De même, les résultats fournis par la société déclarante à partir d'analyses utilisant [le site Web Allermatch^{MD}](#) n'ont décelé aucune correspondance pour les alignements par fenêtre glissante de 80 acides aminés utilisant le seuil de 35 % ou les correspondances exactes utilisant des segments de 8 acides aminés.

Les analyses BLAST des séquences de protéines fluorescentes insérées n'ont révélé aucune homologie avec des séquences de toxines ou d'allergènes potentiels. Aucun effet nocif n'a été observé chez des rats mâles alimentés avec de la protéine verte fluorescente (GFP) pure ou avec du canola exprimant la protéine GFP pendant 26 jours (Richards *et al.* 2003). En outre,

rien n'indique que les lignées GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 ou le *P. tetrazona* de type sauvage pourraient produire des matières toxiques ou autres matières dangereuses susceptibles de s'accumuler dans l'environnement ou d'être absorbées par des humains ou d'autres organismes dans l'environnement.

Historique d'utilisation

GB2011 et RB2015 ont reçu leurs décisions d'application de la loi par la Food and Drug Administration des États-Unis (USFDA) en 2011 et 2016, respectivement. Le GB2011 a été le premier barbu GloFish^{MD} à être introduit sur le marché et est disponible commercialement aux États-Unis depuis 2012. Les lignées PB2019 et OB2019 ont obtenu leur pouvoir discrétionnaire d'application de l'USFDA en 2020. Les protéines fluorescentes utilisées dans GB2011, RB2015 et OB2019 ont été utilisées dans d'autres lignées GloFish^{MD} dès 2006, tandis que la protéine fluorescente présente dans PB2019 est utilisée depuis au moins sept ans. Les barbues de type sauvage sont vendus comme poissons d'aquarium depuis les années 1950 (Innes 1950).

CARACTÉRISATION DES DANGERS

Le potentiel de danger pour la santé humaine présenté par les barbues GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 est jugé faible (tableau 1) pour les raisons suivantes :

1. Les GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 sont des poissons tropicaux génétiquement modifiés contenant des constructions transgéniques dans un seul site d'insertion (bien qu'il puisse y avoir d'autres modèles d'insertion dans la population), lesquelles sont intégrées de manière stable grâce à de multiples croisements.
2. Les méthodes utilisées pour produire les combattants GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 ne soulèvent aucune préoccupation indirecte pour la santé humaine. Cependant, la possibilité d'effets involontaires de l'utilisation de CRISPR/Cas9 dans certaines des lignées demeure inconnue. Même si certains des organismes sources d'où provient le matériel génétique inséré semblent produire des toxines, rien n'indique que le matériel génétique inséré ou les protéines exprimées dans ces lignées soient associés à une toxicité ou à une pathogénicité chez les humains.
3. Bien que des cas d'infections zoonotiques associées aux poissons tropicaux d'aquarium aient été signalés, en particulier chez des personnes immunodéprimées et des enfants, aucun cas n'a été attribué à l'une ou l'autre des lignées de GloFish^{MD} ou de barbues de Sumatra disponibles dans le commerce.
4. L'identité de séquence des transgènes insérés ne correspond à aucun allergène connu. Les séquences d'acides aminés des quatre protéines fluorescentes sont identiques à celles utilisées dans les lignées GloFish^{MD} évaluées précédemment. Bien que les analyses effectuées sur les autres cadres de lecture potentiels aient relevé la même correspondance potentielle pour GB2011 et PB2019, les résultats indiquent qu'il y a peu de preuves d'une réactivité croisée.
5. Il existe un historique d'utilisation sûre pour les lignées déclarées (limité pour OB2019 et PB2019 en raison de leur introduction récente, aucun souci d'innocuité n'est anticipé comparativement à GB2011 et RB2015) aux États-Unis et l'espèce de type sauvage a été utilisée en toute sécurité dans le monde entier comme poisson d'aquarium ornemental depuis les années 1950.

Tableau 1. Considérations relatives à la gravité des dangers (pour la santé humaine).

DANGER	CONSIDÉRATIONS
Élevé	<ul style="list-style-type: none"> Les effets chez l'humain en bonne santé sont graves, durent longtemps ou provoquent des séquelles ou la mort. Les traitements prophylactiques n'existent pas ou ne présentent que peu de bienfaits. Risque élevé d'effets à l'échelle de la communauté.
Moyenne	<ul style="list-style-type: none"> Les effets sur la santé humaine devraient être modérés, mais se résorbent rapidement chez les personnes en bonne santé ou grâce à des traitements prophylactiques efficaces. Risque possible d'effets à l'échelle communautaire.
Faible	<ul style="list-style-type: none"> Aucun effet sur la santé humaine ou des effets légers, asymptomatiques ou bénins chez les personnes en bonne santé. Il existe des traitements prophylactiques efficaces. Aucune possibilité d'effets à l'échelle communautaire.

INCERTITUDE LIÉE À L'ÉVALUATION DES RISQUES INDIRECTS POUR LA SANTÉ HUMAINE

Le tableau 2 présente le classement de l'incertitude liée à l'évaluation des dangers indirects pour la santé humaine. Des renseignements appropriés ont été fournis par le déclarant ou obtenus auprès d'autres sources ayant confirmé l'identification des organismes déclarés. Des informations adéquates ont également été fournies, décrivant de manière bien détaillée les méthodes utilisées pour modifier génétiquement le *P. tetrazona* de type sauvage. Les analyses de la séquence des constructions transgéniques insérées pour les quatre lignées déclarées ne correspondaient à aucune toxine, et aucun effet nocif attribué aux protéines insérées n'a été signalé chez les humains.

Bien qu'aucun effet nocif directement attribuable aux organismes déclarés n'ait été signalé chez l'humain, des renseignements de substitution trouvés dans la documentation portant sur d'autres poissons d'ornement semblent indiquer que la transmission d'agents pathogènes humains est possible. Toutefois, de tels cas d'infection sont communs à tous les poissons d'ornement et ne sont pas uniques au barbu de Sumatra. Les protéines fluorescentes insérées sont utilisées dans d'autres lignées de GloFish^{MD} depuis plusieurs années et aucun effet indésirable sur la santé humaine n'a été signalé. Par conséquent, en combinant à la fois des données empiriques sur les organismes déclarés, des données de substitution tirées de la littérature scientifique sur d'autres poissons d'ornement d'aquarium et l'absence d'effets nocifs corroborée par l'historique d'utilisation sans danger pour d'autres lignées de GloFish^{MD}, les risques indirects pour la santé humaine des lignées GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 sont évalués comme étant **faibles** avec une **faible incertitude**. L'insertion de cassettes d'expression CRISPR/Cas9 a été tentée dans les lignées OB2019 et PB2019. Cependant, les analyses moléculaires effectuées par la société déclarante ont indiqué que les intégrations ne résultaient pas de l'utilisation de CRISPR. Cependant, il existe une possibilité théorique que des mutations hors cible résultant de l'utilisation de CRISPR/Cas9 puissent produire des effets inconnus, comme des protéines altérées présentant une allergénicité accrue, bien que cela n'ait pas été observé chez d'autres modèles. Par conséquent, on ne s'attend pas à ce que cette possibilité modifie la cote de danger. Elle augmente l'incertitude, mais pas suffisamment pour que la cote dépasse le niveau faible. On considère qu'il existe une faible incertitude parce qu'une grande partie des renseignements relatifs aux effets sur la santé humaine proviennent de rapports portant sur d'autres poissons d'ornement, qu'il existe un historique d'utilisation sans danger pour deux des lignées déclarées (OB2019 et PB2019), et qu'aucune étude portant

expressément sur les effets potentiels du poisson d'ornement transgénique fluorescent sur la santé humaine n'a été réalisée.

Tableau 2. Catégorisation de l'incertitude liée au danger indirect pour la santé humaine.

Désignation	Classement de l'incertitude
Il existe de nombreux signalements d'effets sur la santé humaine liés au danger, et la nature et la gravité des effets signalés sont cohérentes (c.-à-d. faible variabilité); OU Le potentiel d'effets sur la santé des personnes exposées à l'organisme a fait l'objet d'une surveillance et aucun effet n'a été signalé.	Négligeable
Il existe quelques signalements d'effets sur la santé humaine liés au danger, et la nature et la gravité des effets signalés sont relativement uniformes; OU Aucun effet sur la santé humaine n'a été signalé et aucun effet lié au danger n'a été signalé chez d'autres mammifères.	Faible
Il existe quelques signalements d'effets sur la santé humaine qui peuvent être liés au danger, mais la nature et la gravité des effets signalés ne pas sont uniformes; OU Des effets liés au danger ont été signalés chez d'autres mammifères, mais pas chez l'humain.	Moyen
Il existe des lacunes importantes dans les connaissances (p. ex. quelques signalements d'effets chez des personnes exposées à l'organisme, mais ces effets n'ont pas été attribués à l'organisme).	Élevé

ÉVALUATION DE L'EXPOSITION

APERÇU

La figure 1 montre les voies d'exposition humaine généralisées pour GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 en supposant une exposition potentielle :

1. durant l'importation depuis les États-Unis et la distribution aux détaillants au Canada;
2. à l'introduction au Canada par l'utilisation prévue comme poisson d'ornement dans les aquariums domestiques;
3. par le biais de l'environnement et du devenir dans l'environnement à la suite de rejets accidentels, délibérés ou involontaires dans l'environnement;
4. autres utilisations potentielles.

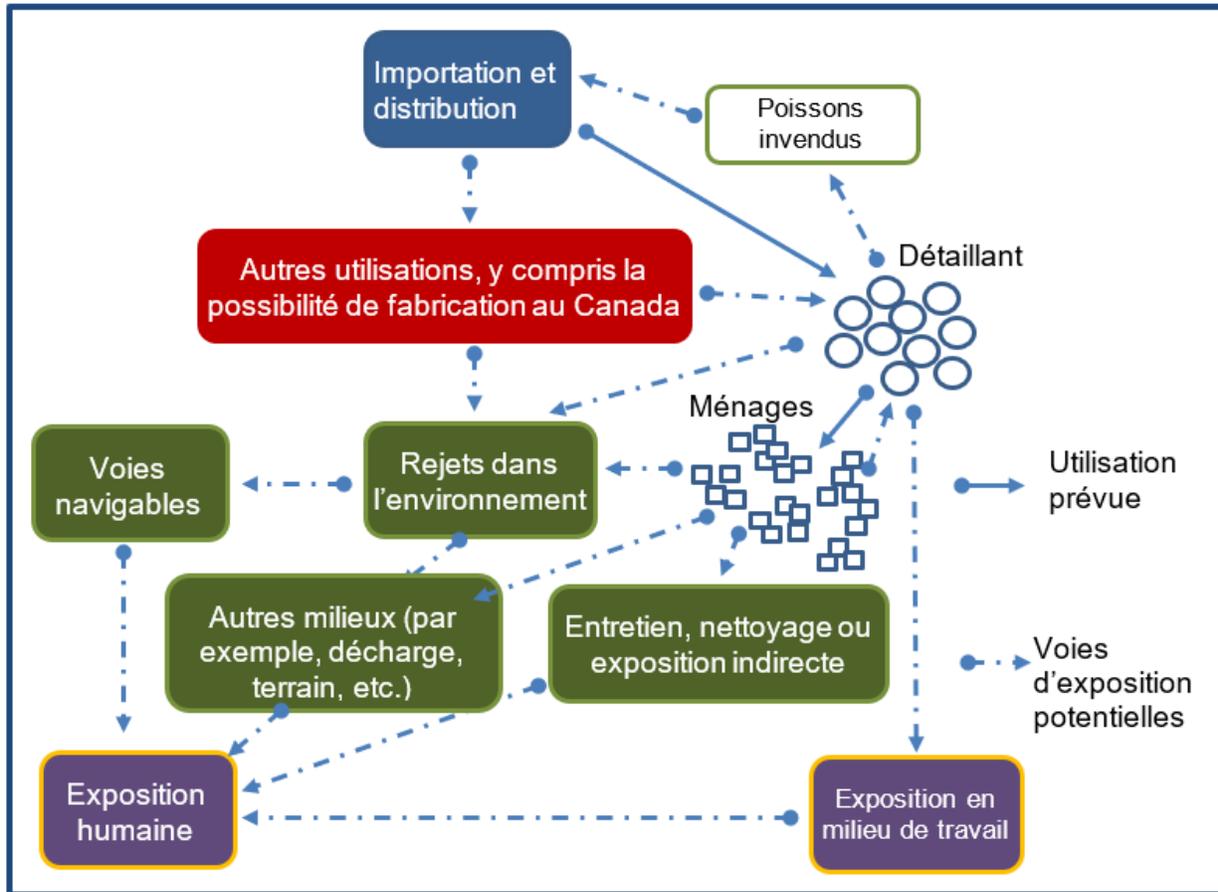


Figure 1. Voies d'exposition humaine généralisées pour GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019.

IMPORTATION

Les poissons importés entreront au Canada par divers points d'entrée non divulgués. Les géniteurs sont conservés selon le même protocole de reproduction étant utilisé pour tous les types de poissons F2 qui deviennent les lignées indiquées comme les lignées GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019. Dans les sites de production aux États-Unis, la division de l'aquaculture du département de l'Agriculture et des Services aux consommateurs de la Floride réglemente la production des lignées notifiées afin d'assurer l'utilisation des meilleures pratiques de gestion et d'aider à protéger l'environnement. La société déclarante a l'intention d'expédier des poissons adultes aux distributeurs et, éventuellement, aux animaleries, en quantités commandées et conservées jusqu'à leur vente au public.

La société déclarante prévoit commercialiser le poisson adulte GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 au Canada par l'entremise d'environ 500 points de vente au détail en fonction de la taille du marché par rapport aux États-Unis. Le nombre exact et les endroits où les organismes déclarés seront offerts ne sont pas connus pour le moment. En tant que poissons d'ornement destinés à la vente au public, il est prévu qu'ils soient confinés à l'intérieur d'aquariums dans les maisons et les magasins de détail. Pour l'utilisation prévue, l'exposition humaine pourrait se produire pendant la distribution, notamment lors du transport du poisson par l'importateur, ainsi que pendant le stockage, la manipulation et la vente par le détaillant. D'après une enquête menée auprès de propriétaires de magasins à Montréal, au Québec, les poissons sont conservés et mis en vente par les détaillants jusqu'à ce qu'ils soient vendus ou retournés au

distributeur et sont moins susceptibles d'être rejetés dans l'environnement par les détaillants (Gertzen *et al.* 2008). Cependant, sur la base de leur importance telle que révélée par l'enquête, Gertzen *et al.* (2008) ont attribué de plus grandes probabilités de remise à l'eau pour les poissons qui ont la capacité de croître jusqu'à une grande taille ou qui présentent un comportement agressif (p. ex. le barbu de Sumatra). Les barbues de Sumatra figuraient également parmi les poissons d'ornement les plus populaires dans les animaleries de l'état de Washington, présents dans tous les magasins étudiés par Strecker *et al.* (2011). Puisque les détaillants ne sont pas censés être les utilisateurs finaux des poissons GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019, l'exposition humaine pendant l'importation et la distribution aux détaillants devrait être majoritairement de nature professionnelle, qui dépasse la portée de la présente évaluation.

INTRODUCTION DE L'ORGANISME

Les aquariophiles amateurs qui achètent les lignées déclarées directement auprès des détaillants, ou qui les reçoivent d'autres aquariophiles, feront très probablement l'objet d'une exposition cutanée par contact avec les poissons déclarés lors des activités d'entretien comme les changements d'eau et le nettoyage des aquariums. Le taux d'empoisonnement par ménage et le nombre de ménages prévoyant acheter les lignées notifiées seraient des informations utiles pour estimer l'exposition humaine par le biais de l'utilisation prévue comme poisson d'ornement dans les aquariums domestiques. L'empoisonnement typique des barbues de type sauvage dans les aquariums domestiques n'a pas été fourni. Cependant, les barbues de Sumatra sont très agressifs à la fois avec leur propre espèce et avec d'autres espèces de poissons, en particulier si elles ne sont pas maintenues en grands groupes (Saxby *et al.* 2010; Sloman *et al.* 2011; Aqua-Fish 2022). Il est recommandé de garder les barbues de Sumatra dans des aquariums d'une taille minimale de 76 l (20 gallons) et en groupes de 5 individus ou plus (Fishbase 2022; Maddox 2022).

Bien que la proportion d'aquariophiles amateurs prévoyant acheter des poissons GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 ne soit pas connue, une enquête de 2009 a permis d'estimer que 12 % des ménages canadiens possédaient des poissons (Perrin 2009; Whitfield et Smith 2014); une autre enquête (Marson *et al.* 2009) a rapporté qu'environ 23 % des répondants avaient des espèces de barbues dans leurs aquariums. Dans une autre enquête réalisée à Montréal, au Québec (Gertzen *et al.* 2008), environ 2,3 % des poissons vendus par les animaleries étaient des barbues de Sumatra (*P. tetrazona*). Selon le recensement de 2021, le Canada compte environ 16 millions de ménages (Statistique Canada 2021). Si l'on rassemble ces chiffres, environ 450 000 ménages canadiens possèdent des barbues (23 % possèdent des barbues sur les 12 % possédant des poissons d'ornement parmi les 16 millions de ménages).

Les températures recommandées pour les aquariums domestiques établis pour *P. tetrazona* se situent entre 20 °C et 25 °C (Aqua-Fish 2022), mais ils peuvent supporter des températures allant de 18 °C à 32 °C (Tamaru *et al.* 1997). Comme pour les autres poissons d'ornement, ces températures et conditions dans les aquariums favorisent également la croissance d'agents pathogènes opportunistes comme *M. marinum* (Kent *et al.* 2006; Mutoji et Ennis 2012; Gauthier 2015) ou de parasites comme les espèces *Cryptosporidium* (Ryan *et al.* 2015; Golomazou et Karanis 2020). En raison du risque d'infection par des mycobactéries non tuberculeuses (Kušar *et al.* 2017) ou la diarrhée associée à *Edwardsiella tarda* (Vandepitte *et al.* 1983), la prudence est de mise lors de la manipulation des poissons dans les animaleries et les aquariums domestiques. Bien que nous n'ayons aucune connaissance de l'état de santé des personnes susceptibles d'être exposées, on s'attend à ce que les ménages ayant l'intention d'acheter les poissons provenant de lignées déclarées comprennent des personnes immunodéprimées, des enfants et des personnes souffrant de problèmes médicaux sous-jacents.

DEVENIR DANS L'ENVIRONNEMENT

Selon la société déclarante, l'utilisation prévue de GB2011, de RB2015, d'OB2019 et de PB2019 n'est pas la dissémination dans l'environnement, mais plutôt l'utilisation dans des aquariums domestiques. Cependant, on ne peut pas exclure la possibilité d'un rejet dans l'environnement, puisque des rapports font état de ce phénomène pour des poissons élevés dans des aquariums domestiques (Duggan *et al.* 2006; Gertzen *et al.* 2008). Selon Gertzen *et al.* (2008), les aquariophiles pourraient potentiellement rejeter des poissons d'aquarium indésirés dans l'environnement lorsqu'ils s'en lassent ou lorsque les poissons deviennent agressifs, malades, de grande taille ou se reproduisent rapidement. Bien qu'il n'existe pas de données permettant d'étayer la mise en liberté des barbues de Sumatra, cette espèce est connue pour son comportement agressif envers sa propre espèce ou d'autres espèces.

Dans le cas de rejets dans l'environnement de poissons vivants GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 au Canada, l'établissement futur dépendra des conditions environnementales au point de relâchement et de la capacité des poissons relâchés à survivre, à croître, à se reproduire, à se disperser et à établir des populations autonomes (Duggan *et al.* 2006; Strecker *et al.* 2011; Leggatt *et al.* 2018). La tolérance à la température représente un critère clé pour déterminer la capacité des poissons d'aquarium à survivre, à s'établir et à passer l'hiver dans les eaux canadiennes (Rixon *et al.* 2005; MPO 2018; Leggatt *et al.* 2018). Les lignées transgéniques GB2011 et OB2019 ont fait preuve d'une tolérance légèrement inférieure aux températures de l'eau froide par rapport à leurs frères et sœurs non transgéniques, mais toujours dans les plages de températures létales de l'eau pour *P. tetrazona*. La tolérance à la température ne présentait pas de différence significative entre RB2015 et PB2019 et leurs frères et sœurs non transgéniques.

Le *P. tetrazona* de type sauvage a perdu l'équilibre à des températures allant de 13,6 °C à 12,6 °C, avec une température minimale critique moyenne de $13,45 \pm 0,03$ °C (Leggatt *et al.* 2018). Dans une autre étude, Yanar *et al.* (2019) ont rapporté une température minimale critique allant de 11,66 °C à 13,94 °C. Étant donné que *P. tetrazona* perd son équilibre à des températures supérieures de plusieurs degrés à celles des lacs les plus chauds enregistrés, soit 6 °C ou moins en hiver (Leggatt *et al.* 2018), il est donc moins probable que les poissons GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 survivent et se dispersent dans des températures d'eau hivernales typiques au Canada. En outre, si des GB2011, RB2015, OB2019, and PB2019 vivants ou morts sont relâchés dans l'environnement, les individus en question et les protéines fluorescentes insérées devraient se biodégrader normalement, ils ne devraient pas se bioaccumuler, et leur participation au cycle biogéochimique ne devrait pas différer de celle des autres organismes vivants. Par conséquent, la probabilité que GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 établissent des populations autonomes au Canada est très faible en raison de leur incapacité à survivre à des températures de l'eau inférieures à 10 °C en se basant sur les études de tolérance à la température. Par conséquent, la probabilité d'une exposition humaine aux organismes déclarés dans l'environnement est faible.

Si un poisson meurt avant d'être vendu ou pendant qu'il est sous la garde d'un aquariophile amateur, la société déclarante suggère une procédure d'élimination similaire à celle des autres déchets domestiques et aucune procédure spéciale de manipulation ou d'élimination n'est requise. La société déclarante a indiqué qu'aucune procédure ou aucun traitement spécifique n'est nécessaire pour l'élimination des organismes déclarés (GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019) par rapport aux espèces de type sauvage, puisque la seule différence (pour chaque lignée) est l'ajout d'une protéine fluorescente dérivée d'une espèce de corail ou d'anémone de mer. En outre, la vente de ces lignées peut être interrompue à tout moment s'il est jugé nécessaire de mettre fin à l'introduction de poissons GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 au Canada.

AUTRES UTILISATIONS POSSIBLES

Les GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 ne sont conçus que pour servir de poissons d'ornement dans des aquariums domestiques d'intérieur. Selon la société déclarante, les quatre lignées déclarées ne conviennent pas pour une utilisation dans des étangs extérieurs, comme poisson-appât, pour la consommation humaine ou comme sentinelle environnementale. Cependant, *P. tetrazona* a été étudié pour son utilisation potentielle dans le contrôle des populations de moustiques (Barik *et al.* 2018; Mah *et al.* 2018). Dans le domaine de la recherche, le barbu de Sumatra a été un organisme modèle pour l'étude des infections pathogènes, des infestations parasitaires, des régimes alimentaires des poissons, de la perception visuelle des animaux et du système digestif des téléostéens sans estomac (Liu *et al.* 2020). De plus, ses caractéristiques reproductives en font un modèle approprié pour la conception et le développement de critères de sélection chez les poissons d'ornement (Rivero-Martínez *et al.* 2020).

La fabrication des organismes déclarés ne devrait pas avoir lieu au Canada, car les lignées GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 ne sont produites qu'en Floride. Mais si elles devaient être produites au Canada, on ne prévoit aucun risque autre que ceux auxquels on s'attend d'autres poissons d'aquarium courants. La société déclarante recommande aux personnes qui ne souhaitent plus conserver les organismes après leur achat de les retourner au détaillant, de les donner à un autre aquariophile amateur ou de les euthanasier sans cruauté.

CARACTÉRISATION DE L'EXPOSITION

Les risques liés à une exposition à la souche déclarée en milieu de travail ne sont pas pris en compte dans la présente évaluation¹

Le potentiel d'exposition humaine aux GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 est jugé faible à moyen (tableau 3) pour les raisons suivantes :

1. Les principales sources d'exposition humaine proviendraient de l'importation proposée de poissons adultes pour les quatre lignées (GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019) par des points d'entrée non identifiés au Canada et de la distribution dans environ 500 points de vente au détail;
2. La seule utilisation prévue de GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019 est celle de poissons d'ornement, ce qui limite l'exposition potentielle principalement aux personnes possédant un aquarium domestique;
3. Comme pour les autres poissons d'aquarium, l'exposition humaine peut englober des personnes immunodéprimées, des enfants, des personnes souffrant de pathologies sous-jacentes ou d'autres personnes vulnérables. En raison du comportement agressif de *P. tetrazona*, il est recommandé de garder des groupes de cinq poissons ou plus;
4. L'exposition humaine typique aux poissons vivants ou morts dans un contexte domestique est le plus souvent liée aux activités d'entretien, comme le nettoyage du réservoir et les changements de l'eau. Les basses températures hivernales dans les eaux canadiennes et

¹ La conformité à l'un ou à plusieurs des critères énoncés à l'article 64 de la LCPE est déterminée par une évaluation des risques potentiels pour l'environnement ou la santé humaine liés à l'exposition dans l'environnement en général. Pour les humains, cela inclut, sans toutefois s'y limiter, l'exposition par l'air, l'eau et l'utilisation de produits contenant la substance. Une conclusion établie en vertu de la LCPE (1999) ne présente pas un intérêt pour une évaluation, qu'elle n'empêche pas non plus, en fonction des critères précisés dans le *Règlement sur les matières dangereuses*, qui fait partie du cadre réglementaire du Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail (SIMDUT) pour les produits destinés à être utilisés au travail.

la faible tolérance au froid des poissons notifiés limitent l'exposition humaine par l'environnement;

- Aucune augmentation significative de l'exposition humaine n'est attendue des autres utilisations potentielles de GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019, comme pour la lutte contre les moustiques ou la recherche.

Tableau 3. Considération d'exposition (santé humaine).

Exposition	Considérations
Élevé	<ul style="list-style-type: none"> La quantité rejetée, la durée ou la fréquence des rejets sont élevées. L'organisme est susceptible de survivre, de persister, de se disperser, de proliférer et de s'établir dans l'environnement. La dispersion ou le transport vers d'autres compartiments environnementaux sont probables. Du fait de la nature du rejet, il est probable que des populations ou des écosystèmes vulnérables soient exposés ou que les rejets s'étendent au-delà d'une région ou d'un seul écosystème. En ce qui concerne les humains exposés, les voies d'exposition permettraient la présence d'effets toxiques, d'effets zoonotiques ou d'autres effets nocifs chez les organismes vulnérables.
Moyenne	<ul style="list-style-type: none"> L'organisme est rejeté dans l'environnement, mais la quantité, la durée et/ou la fréquence des rejets sont modérées. L'organisme peut persister dans l'environnement, mais en faible nombre. Le potentiel de dispersion ou transport de l'organisme est limité. Du fait de la nature du rejet, certaines populations vulnérables peuvent y être exposées. Chez l'humain, les voies d'exposition ne devraient pas favoriser la présence d'effets toxiques, d'effets zoonotiques ou d'autres effets nocifs.
Faible	<ul style="list-style-type: none"> L'organisme est utilisé en milieu confiné (aucun rejet intentionnel). La nature du rejet et/ou la biologie de l'organisme devraient permettre de contenir l'organisme de sorte que les populations ou les écosystèmes vulnérables ne sont pas exposés. L'organisme est rejeté en faibles quantités et son rejet est de courte durée et peu fréquent, et l'organisme ne devrait pas survivre, persister, se disperser ni proliférer dans l'environnement où il est rejeté.

INCERTITUDE LIÉE À L'ÉVALUATION DES RISQUES INDIRECTS DE L'EXPOSITION POUR LA SANTÉ HUMAINE

Le classement des incertitudes associées aux informations utilisées pour évaluer l'exposition indirecte à la santé humaine pour GB2011, RB2015, OB2019, and PB2019 est présenté dans le tableau 4. Comme il est indiqué, les organismes déclarés ne seront pas produits au Canada et la source d'exposition sera limitée à l'importation de poissons adultes des quatre lignées. Dans l'environnement, les données empiriques permettent de conclure que la survie de ces poissons devrait être limitée par leur faible tolérance aux températures inférieures à 10 °C. Toutefois, cela n'exclut pas la possibilité d'une exposition humaine (grand public et personnes vulnérables [c.-à-d. immunodéprimés, enfants, personnes souffrant de problèmes de santé, etc.]) au Canada par le biais des aquariums domestiques, principalement lors des activités d'entretien et de nettoyage. Cette évaluation de l'exposition est limitée par le manque d'information sur le nombre réel d'organismes déclarés qui seront importés au cours des années subséquentes et

par les données d'enquête déficientes sur les ménages propriétaires de poissons d'ornement. Il est donc difficile d'évaluer leur popularité auprès du public au-delà du nombre d'importations de la première année. De plus, les enquêtes menées auprès de ménages portant sur la propriété des poissons d'aquarium au Canada et fondées sur des rapports datent de plus de 10 ans (Duggan *et al.* 2006; Gertzen *et al.* 2008; Marson *et al.* 2009; Perrin 2009). Ces rapports ne sont pas spécifiques aux lignées GB2011, RB2015, OB2019, or PB2019 et ne portent pas sur l'étude des facteurs influençant l'exposition humaine aux poissons d'aquarium. Par conséquent, en raison de l'information limitée sur les scénarios d'exposition précis dans le marché canadien, l'exposition humaine aux organismes déclarés est considérée entre faible et moyenne avec une incertitude modérée.

Tableau 4. Classement de l'incertitude associée à l'exposition indirecte pour la santé humaine.

Renseignements disponibles	Classement de l'incertitude
Données de grande qualité sur l'organisme, les sources d'exposition humaine et les facteurs ayant une incidence sur l'exposition humaine à l'organisme. Signes d'une faible variabilité.	Négligeable
Données de grande qualité sur des organismes apparentés ou des substituts valides, les sources d'exposition humaine et les facteurs ayant une incidence sur l'exposition humaine à l'organisme ou à des substituts valides. Signes de variabilité.	Faible
Données limitées sur l'organisme, des organismes apparentés ou des substituts valides, sur les sources d'exposition humaine et sur les facteurs ayant une incidence sur l'exposition humaine à l'organisme.	Moyen
Importantes lacunes dans les connaissances. Dépendance importante à l'égard de l'opinion des experts.	Élevé

CARACTÉRISATION DU RISQUE

UTILISATION DÉCLARÉE

Dans cette évaluation, le risque est caractérisé selon un paradigme Risque \propto Danger \times Exposition. Les deux composantes (« danger » et « exposition ») sont considérées comme faisant partie intégrante de la définition de « toxique » au sens de l'article 64 de la LCPE 1999 et, par conséquent, il n'y a pas de risque en l'absence de l'une ou l'autre. La conclusion de l'évaluation du risque repose sur le danger et sur ce que l'on peut prévoir au sujet de l'exposition découlant de l'utilisation déclarée.

Les lignées GB2011, RB2015, OB2019, and PB2019 sont des lignées génétiquement modifiées de barbus de Sumatra diploïdes, hémizygotes ou homozygotes, contenant des constructions génétiques de protéines fluorescentes dérivées d'espèces d'anémones de mer ou de coraux mous qui leur donnent une coloration verte (GB2011), rouge (RB2015), orange (OB2019) et violet (PB2019) sous la lumière ambiante, y compris à la lumière du soleil. Les quatre lignées sont issues d'une lignée de barbus de Sumatra albinos, une variante pigmentaire créée lors de la domestication de l'espèce.

Les organismes déclarés seront commercialisés partout au Canada en tant que poissons d'ornement pour les aquariums domestiques.

Bien qu'il existe des cas rapportés d'infections zoonotiques attribuables à une exposition à des poissons d'aquarium, les barbues de Sumatra de type sauvage sont populaires dans les aquariums domestiques et ont un long historique d'utilisation sûre, puisqu'ils sont vendus comme poissons d'aquarium depuis les années 1950 (Innes 1950). Les quatre lignées déclarées (GB2011, RB2015, OB2019 et PB2019) ont fait l'objet en 2011 (GB2011), en 2016 (RB2015) et en 2020 (OB2019, PB2019), d'une décision de la Food and Drug Administration des États-Unis (USFDA) relativement au pouvoir discrétionnaire d'application, et GB2011 est disponible dans le commerce aux États-Unis depuis le début de 2012. Les protéines fluorescentes utilisées dans les quatre lignées notifiées ont été utilisées dans d'autres lignées GloFish^{MD} qui sont maintenant disponibles dans le commerce au Canada. Aucun effet indésirable sur la santé humaine n'a été signalé en rapport avec les barbues de Sumatra de type sauvage en général, les gènes de protéine fluorescente insérés ou les méthodes utilisées pour modifier les lignées notifiées, ce qui permet de conclure que les lignées notifiées ne présentent aucun potentiel pathogène ou toxique pour l'homme.

Au vu du potentiel de danger faible et du potentiel d'exposition faible à modéré, les risques pour la santé humaine liés à l'utilisation des *P. tetrazona* GB2011, RB2015, OB2019 ou PB2019 en tant que poisson d'ornement dans des aquariums sont considérés comme faibles.

AUTRES UTILISATIONS POSSIBLES

D'autres utilisations ont été répertoriées, notamment l'utilisation des organismes déclarés pour la lutte contre les moustiques et à des fins de recherche. Peu importe l'utilisation, les renseignements disponibles n'indiquent pas de répercussions possibles sur la santé humaine. Aucun risque supplémentaire pour la santé humaine n'est prévu autre que ceux auxquels on s'attend chez d'autres poissons d'aquarium communs.

CONCLUSION DE L'ÉVALUATION DES RISQUES

Aucune preuve ne semble indiquer qu'il existe un risque d'effets nocifs sur la santé humaine aux degrés d'exposition prévus pour la population canadienne découlant de l'utilisation de GB2011, RB2015, OB2019, or PB2019 comme poissons d'ornement d'aquarium ou de toute autre utilisation possible. Selon toute vraisemblance, le risque pour la santé humaine associé à l'utilisation de GB2011, RB2015, OB2019 ou PB2019 ne répond pas aux critères énoncés à l'alinéa 64c) de la LCPE (1999). Aucune autre mesure recommandée.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Aqua-fish (2022). [Barbus de Sumatra – *Puntius tetrazona*](#). Consulté le 24 mars 2022.
- Baiano, J.C.F., and Barnes, A.C. 2009. Towards control of *Streptococcus iniae*. *Emerg. Infect. Dis.* 15:1891-1896.
- Barik, M., Bhattacharjee, I., Ghosh, A., and Chandra, G. 2018. Larvivorous potentiality of *Puntius tetrazona* and *Hyphessobrycon rosaceus* against *Culex vishnui* subgroup in laboratory and field based bioassay. *BMC Res. Notes.* 11(1):804.
- Boylan, S. 2011. Zoonoses associated with fish. *Vet. Clin. Exot. Anim.* 14:427-438.
- Cameselle-Martínez, D., Hernández, J., Francès, A., Montenegro, T., Canas, F., and Borrego, L. 2007. Sporotrichoid cutaneous infection by *Mycobacterium haemophilum* in an AIDS patient. *Actas Dermo-Sifiliográficas.* 98(3):188-193.
- Cardoso, P.H.M., Moreno, A.M., Moreno, L.Z., de Oliveira, C.H., de Assis Baroni, F., de Lucca Maganha, S.R., de Sousa, R.L.M., and de Carvalho Balian, S. 2019. Infectious diseases in aquarium ornamental pet fish: Prevention and control measures. *Braz. J. Res. Anim. Sci.* 56(2):e151697.
- CDC. 2015. [Healthy pets, healthy people](#). Centers for Disease Control and Prevention. Consulté le 2 février 2022.
- Chang, E.K., Camus, A.C., Pomaranski, E., Yazdi, Z., and Soto, E. 2021. Pathogenesis of *Erysipelothrix piscicarius* infection in tiger barb (*Puntigrus tetrazona*). *J. Fish Dis.* 44(11):1681-1688.
- Cremonesini, D., and Thomson, A. 2008. Lung colonization with *Aeromonas hydrophila* in cystic fibrosis believed to have come from a tropical fish tank. *J. R. Soc. Med.* 101:S44-S45.
- Delghandi, M.R., El-Matbouli, M., and Menanteau-Ledouble, S. 2020. Mycobacteriosis and infections with non-tuberculous mycobacteria in aquatic organisms: A review. *Microorganisms.* 8(9)1368:1-18.
- Dinç, G., Doğanay, M., and Izgür, M. 2015. Important bacterial infections transmitted to humans from pet animals. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi.* 72(2):163-174.
- Duggan, I. C., Rixon, C. A., and MacIsaac, H. J. 2006. Popularity and propagule pressure: determinants of introduction and establishment of aquarium fish. *Biological invasions.* 8(2):377-382.
- Dunn, J.R., Behravesh, C.B., and Angulo, F.J. 2015. Diseases transmitted by domestic livestock: Perils of the petting zoo. *Microbiol. Spectrum.* 3(6):IOL5-0017-2015.
- Emmerich, K., Kolb-Mäurer, A., and Goebeler, M. 2019. Cutaneous infections due to non-tuberculous mycobacteria. *Aktuelle Dermatologie.* 45(1-2):47-51.
- Fishbase (2022). [Puntigrus tetrazona \(Bleeker, 1855\)](#). Sumatra barb. Consulté le 24 mars 2022.
- Florindo, M.C., Jerônimo, G.T., Steckert, L.D., Acchile, M., Gonçalves, E.L.T., Cardoso, L., and Martins, M.L. 2017a. Protozoan parasites of freshwater ornamental fish. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 45(5):948-956.
- Florindo, M.C., Jerônimo, G.T., Steckert, L.D., Acchile, M., Figueredo, A.B., Gonçalves, E.L.T., Cardoso, L., da Costa Marchiori, N., da Costa Assis, G., and Martins, M.L. 2017b. Metazoan parasites of freshwater ornamental fish. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 45(5):992-998.

-
- Franco-Paredes, C., Chastain, D.B., Allen, L., and Henao-Martínez, A.F. 2018. Overview of cutaneous mycobacterial infections. *Curr. Trop. Med. Rep.* 5(4):228-232.
- Franco-Paredes, C., Marcos, L.A., Henao-Martínez, A.F., Rodríguez-Morales, A.J., Villamil-Gómez, W.E., Gotuzzo, E., and Bonifaz, A. 2019. Cutaneous mycobacterial infections. *Clin. Microbiol. Rev.* 32(1):e00069-18.
- Gaulin, C., Vincent, C., and Ismail, J. 2005. Sporadic infections of *Salmonella* paratyphi B, var. Java associated with fish tanks. *Can. J. Public Health* 96(6):471-474.
- Gauthier, D.T. 2015. Bacterial zoonoses of fishes: A review and appraisal of evidence for linkages between fish and human infections. *Vet. J.* 203:27-35.
- Gertzen, E., Familiar, O., and Leung, B. 2008. Quantifying invasion pathways: fish introductions from the aquarium trade. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 65(7):1265-1273.
- Golomazou, E., and Karanis, P. 2020. *Cryptosporidium* species in fish: An update. In *Environmental Sciences Proceedings (Vol. 2, No. 1, p. 13)*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Golomazou, E., Malandrakis, E.E., Panagiotaki, P., and Karanis, P. 2021. *Cryptosporidium* in fish: Implications for aquaculture and beyond. *Water Res.* 201:117357.
- Haenen, O.L.M., Evans, J.J., and Berthe, F. 2013. Bacterial infections from aquatic species: Potential for and prevention of contact zoonoses. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz.* 32:497-507.
- Haenen, O., Karunasagar, I., Manfrin, A., Zrnčić, S., Lavilla-Pitogo, C., Lawrence, M., Hanson, L., Subasinghe, R., Bondad-Reantaso, M.G., and Karunasagar, I. 2020. Contact-zoonotic bacteria of warmwater ornamental and cultured fish. *Asian Fish. Sci.* 33(S1):39-45.
- Hashish, E., Merwad, A., Elgaml, S., Amer, A., Kamal, H., Elsadek, A., Marei, A., and SitoHy, M. 2018. *Mycobacterium marinum* infection in fish and man: epidemiology, pathophysiology and management; a review. *Veterinary Quarterly.* 38(1):35-46.
- Hossain, S., De Silva, B.C.J., Dahanayake, P.S., and Heo G.-J. 2018. Characterization of virulence properties and multi-drug resistance profiles in motile *Aeromonas* spp. isolated from zebrafish (*Danio rerio*). *Lett. Appl. Microbiol.* 67:598-605.
- Innes, W.T. 1950. *Exotic Aquarium Fishes: A work of general reference*. Philadelphia: Innes Publishing Company.
- Iqbal, Z., Ansar, F., and e-Huma, Z. 2018. Risk of importing zoonotic diseases through infected ornamental fish. *Punjab University Journal of Zoology.* 33(2):211-215.
- Kamijo, F., Uhara, H., Kubo, H., Nakanaga, K., Hoshino, Y., Ishii, N., and Okuyama, R. 2012. A case of mycobacterial skin disease caused by *Mycobacterium peregrinum*, and a review of cutaneous infection. *Case Rep. Dermatol.* 4(1):76-79.
- Kent, M. L., Watral, V., Wu, M., and Bermudez, L. E. 2006. *In vivo* and *in vitro* growth of *Mycobacterium marinum* at homoeothermic temperatures. *FEMS Microbiology Letters* 257(1):69-75.
- Kottelat, M. 2013. *The Fishes of the Inland Waters of Southeast Asia: A Catalogue and Core Bibliography of the Fishes Known to Occur in Freshwaters, Mangroves and Estuaries*. Archived 2015-01-06 at the Wayback Machine. *The Raffles Bulletin of Zoology. Supplement No. 27*, pp. 147 & 483.

-
- Kušar, D., Zajc, U., Jencič, V., Ocepek, M., Higgins, J., Žolnir-Dovč, M., and Pate, M. 2017. Mycobacteria in aquarium fish: results of a 3-year survey indicate caution required in handling pet-shop fish. *J. Fish Dis.* 40(6):773-784.
- Lazado, C.C., and Zilberg, D. 2018. Pathogenic characteristics of *Aeromonas veronii* isolated from the liver of a diseased guppy (*Poecilia reticulata*). *Lett. Appl. Microbiol.* 67:476-483.
- Leggatt, R.A., Dhillon, R.S., Mimeault, C., Johnson, N., Richards, J.G., and Devlin, R.H. 2018. Low-temperature tolerances of tropical fish with potential transgenic applications in relation to winter water temperatures in Canada. *Can. J. Zool.* 96(3):253-260.
- Li, J., Chong, A.H., O'Keefe, R., and Johnson, P.D.R. 2014. The fish tank strikes again: Metachronous nontuberculous mycobacterial skin infection in an immunosuppressed host. *Austral. J. Dermatol.* 55:e77-e79.
- Liu, L., Zhang, R., Wang, X., Zhu, H., and Tian, Z. 2020. Transcriptome analysis reveals molecular mechanisms responsive to acute cold stress in the tropical stenothermal fish tiger barb (*Puntius tetrazona*). *BMC Genomics.* 21:737.
- Lowry, T., and Smith, S.A. 2007. Aquatic zoonoses associated with food, bait, ornamental, and tropical fish. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 231:876-880.
- Lumbantobing, D. 2020. [Puntigrus tetrazona](#). The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T89806649A89806657. Consulté le 24 mars 2022.
- Maddox, V. 2022. [Tiger barbs care: Full guide \(with setup, diet & breeding tips\)](#). Consulté le 16 mai 2022.
- Mah, H.F., Nizam, S., and Ismail, S. 2018. Prospect and efficiency of exotic fish as mosquito larvae biological control agent. *Internat. J. Med. Toxicol. Leg. Med.* 21(3-4):145-149.
- Marson, D., Cudmore, B., Drake, D.A.R., and Mandrak, N.E. 2009. Summary of a survey of aquarium owners in Canada. *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2905: iv + 20 p.
- MPO. 2018. [Évaluation des risques pour l'environnement et des risques indirects pour la santé humaine du tétra GloFish^{MD} Electric Green^{MD} et du tétra à longues nageoires GloFish[®] Electric Green[®] \(*Gymnocorymbus ternetzi*\) : un poisson d'ornement transgénique](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2018/027.
- Musto, J., Kirk, M., Lightfoot, D., Combs, B.G., and Mwanri, L. 2006. Multi-drug resistant *Salmonella* Java infections acquired from tropical fish aquariums, Australia, 2003-04. *CDI* 30:222-227.
- Mutoji, K.N., and Ennis, D.G. 2012. Expression of common fluorescent reporters may modulate virulence for *Mycobacterium marinum*: dramatic attenuation results from GFP over-expression. *Comp. Biochem. Physiol. C* 155:39-48.
- Nico, L., Fuller, P., Neilson, M., and Loftus, B. 2019. [Puntigrus tetrazona \(Bleeker, 1855\)](#): U.S. Geological Survey, Nonindigenous Aquatic Species Database, Gainesville, FL. Consulté le 24 mars 2022.
- OMS/FAO. 2009. [Aliments dérivés des biotechnologies modernes, 2^e édition](#). Rome, Italie : Organisation mondiale de la santé/Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (OMS/FAO), Codex Alimentarius.
- Pate, M., Ovca, A., Jencič, V., Žolnir-Dovč, M., and Ocepek, M. 2019. Mycobacteria in aquarium fish: Are fish handlers aware of their zoonotic potential. *Slov. Vet. Res.* 56(2):53-58.
-

-
- Perrin, T. 2009. The business of urban animals survey: the facts and statistics on companion animals in Canada. *The Canadian Veterinary Journal*. 50(1):48.
- Phillips Savage, A.C.N., Blake, L., Suepaul, R., McHuch, O'S., Rodgers, R., Thomas, C., Oura, C., and Soto, E. 2022. Piscine mycobacteriosis in the ornamental fish trade in Trinidad and Tobago. *J. Fish Dis.* 45(4):547-560.
- Pomaranski, E.K., Griffin, M.J., Camus, A.C., Armwood, A.R., Shelley, J., Waldbieser, G.C., LaFrentz, B.R., Garcia, J.C., Yanong, R., and Soto, E. 2020. Description of *Erysipelothrix piscisicarius* sp. nov., an emergent fish pathogen, and assessment of virulence using a tiger barb (*Puntigrus tetrazona*) infection model. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 70:857-867.
- Puk, K., and Guz, L. 2020. Occurrence of *Mycobacterium* spp. in ornamental fish. *Ann. Agric. Environ. Med.* 27(4):535-539.
- Řehulka, J., Kaustova, J., and Řehulkova, E. 2006. Causal agents of mycobacterial diseases in freshwater ornamental fish and their importance for human health in the Czech Republic. *Acta Vet. BRNO.* 75:251-258.
- Richards, H.A., Han, C-T., Hopkins, R.G., Failla, M.L., Ward, W.W., and Stewart, C.N. Jr. 2003. Safety assessment of recombinant green fluorescent protein orally administered to weaned rats. *J. Nutr.* 133(6):1909-1912.
- Rixon, C.A., Duggan, I.C., Bergeron, N.M., Ricciardi, A., and MacIsaac, H.J. 2005. Invasion risks posed by the aquarium trade and live fish markets on the Laurentian Great Lakes. *Biodiv. Conserv.* 14:1365-1381.
- Rivero-Martínez, P., Castillo-Juárez, H., Rivas, E.G.C., Pablos-Hash, J.L., Martínez-Espinosa, D.A., and Campos-Montes, G.R. 2020. Analysis of the preferences of the esthetic traits and their morphotypes candidates to selection criteria in tiger barb (*Puntius tetrazona*) in the actors of the productive chain. *Aquacult. Internat.* 28:1043-1055.
- Roberts, H.E., Palmeiro, B., and Weber, E.S. 2009. Bacterial and parasitic diseases of pet fish. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice.* 12(3):609-638.
- Ryan, U., Papparini, A., Tong, K., Yang, R., Gibson-Kueh, S., O'Hara, A., Lymbery, A. and Xiao, L. 2015. *Cryptosporidium huwi* n. sp. (Apicomplexa: Eimeriidae) from the guppy (*Poecilia reticulata*). *Experimental Parasitology*, 150, pp.31-35.
- Ryan, U.M., Feng, Y., Fayer, R., and Xiao, L. 2021. Taxonomy and molecular epidemiology of *Cryptosporidium* and *Giardia* – a 50 year perspective (1971-2021). *Int. J. Parasit.* 51:1099-1119.
- Saxby, A., Adams, L., Snellgrove, D., Wilson, R. W., and Sloman, K. A. 2010. The effect of group size on the behaviour and welfare of four fish species commonly kept in home aquaria. *Applied Animal Behaviour Science*, 125(3-4), 195-205.
- Sloman, K.A., Baldwin, L., McMahon, S., and Snellgrove, D. 2011. The effects of mixed-species assemblage on the behaviour and welfare of fish held in home aquaria. *App. Anim. Behav. Sci.* 135:160-168.
- Statistique Canada. 2021. (tableau). [Profil du recensement, Recensement de la population de 2021](#). Catalogue n° 98-316-X2021001. Ottawa. Mise à jour le 27 avril 2022. Consulté le 16 mai 2022.
- Strecker, A. L., Campbell, P. M., and Olden, J. D. 2011. The aquarium trade as an invasion pathway in the Pacific Northwest. *Fisheries.* 36(2):74-85.
-

-
- Tamaru, C.S., Cole, B., Bailey, R., and Brown, C. 1997. A manual for commercial production of the tiger barb, *Capoeta tetrazona*, a temporary paired tank spawner. Center for Tropical and Subtropical Aquaculture Publication Number 129.
- Trujillo-González-A., Becker, J.A., and Hutson, K.S. 2018. Parasite dispersal from the ornamental goldfish trade. *Adv. Parasit.* 100:239-281.
- Vandepitte, J., Lemmens, P., and De Swert, L. 1983. Human Edwardsiellosis traced to ornamental fish. *J. Clin. Microbiol.* 17(1):165-167.
- Walczak, N., Puk, K., and Guz, L. 2017. Bacterial flora associated with diseased freshwater ornamental fish. *J. Vet. Res.* 61:445-449.
- Weir, M., Rajić, A., Dutil, L., Cernicchario, N., Uhland, F.C., Mercier, B., and Tuševljak, N. 2012. Zoonotic bacteria, antimicrobial use and antimicrobial resistance in ornamental fish: A systematic review of the existing research and survey of aquaculture-allied professionals. *Epidemiol. Infect.* 140:192-206.
- Whitfield, Y., and Smith, A. 2014. Household pets and zoonoses. *Environ. Health Rev.* 57(2):41-49.
- Yanar, M., Erdoğan, E. and Kumlu, M. 2019. Thermal tolerance of thirteen popular ornamental fish Species. *Aquaculture*, 501, pp.382-386.