



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)

Document de recherche 2019/005

Région de la capitale nationale

Loi canadienne sur la protection de l'environnement – Rapport d'évaluation des risques indirects sur la santé humaine des *Gymnocorymbus ternetzi* BT2018, OT2018, PiT2018, PuT2018 et RT2018

K. Ali et S. Dugan

Division de l'évaluation des substances nouvelles – LCPE
Santé Canada
269, avenue Laurier Ouest
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 de consultation scientifique
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

<http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/index-fra.htm>
csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2021

ISSN 2292-4272

ISBN 978-0-660-40705-0 N° cat. Fs70-5/2019-005F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Ali, K. et Dugan, S. 2021. *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* – Rapport d'évaluation des risques indirects sur la santé humaine de *Gymnocorymbus ternetzi* BT2018, OT2018, PiT2018, PuT2018, et RT2018. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2019/005. vi + 16 p.

Also available in English:

Ali, K. and Dugan, S. 2021. Canadian Environmental Protection Act *Indirect Human Health Assessment Report on Gymnocorymbus ternetzi* BT2018, OT2018, PiT2018, PuT2018, and RT2018. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2019/005. vi + 14 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	IV
INTRODUCTION	1
ÉVALUATION DES DANGERS	1
IDENTIFICATION ET CARACTÉRISATION DES LIGNÉES BT2018, OT2018, PIT2018, PUT2018 ET RT2018 DE <i>GYMNOCORYMBUS TERNETZI</i>	1
Nomenclature binomiale	1
Taxonomie	1
Synonymes, noms communs et périmés	1
Caractérisation et justification de l'identification taxonomique	2
HISTORIQUE DE LA SOUCHE	2
MODIFICATIONS GÉNÉTIQUES	2
Modifications phénotypiques et génotypiques résultant des modifications et stabilité des modifications génétiques.....	2
PROPRIÉTÉS BIOLOGIQUES ET ÉCOLOGIQUES.....	3
EFFETS SUR LA SANTÉ HUMAINE.....	3
Potentiel zoonotique.....	3
Allergénicité/toxigénicité.....	5
HISTORIQUE D'UTILISATION	6
CARACTÉRISATION DES DANGERS.....	6
Incertitude liée à l'évaluation des dangers lié aux risques indirects pour la santé humaine .	7
ÉVALUATION DE L'EXPOSITION	8
IMPORTATION	8
INTRODUCTION DES ORGANISMES.....	8
DEVENIR DANS L'ENVIRONNEMENT	9
AUTRES UTILISATIONS POSSIBLES.....	9
CARACTÉRISATION DE L'EXPOSITION	10
Incertitude liée à l'évaluation des risques indirects de l'exposition pour la santé humaine .	11
CARACTÉRISATION DES RISQUES	12
UTILISATION DÉCLARÉE.....	12
AUTRES UTILISATIONS POSSIBLES.....	13
CONCLUSION DE L'ÉVALUATION DES RISQUES.....	13
RÉFÉRENCES CITÉES	13

RÉSUMÉ

Une évaluation des risques indirects sur la santé humaine a été menée sur cinq lignées de *Gymnocorymbus ternetzi* génétiquement modifiées (BT2018, OT2018, PiT2018, PuT2018 et RT2018) qui ont été déclarées en vertu de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (LCPE). Cette évaluation des risques a examiné le potentiel que les cinq lignées déclarées aient des effets nocifs sur les humains au Canada par rapport au *G. ternetzi* sauvage en raison de l'exposition environnementale, y compris l'exposition dans les environnements naturels et les environnements visés par l'utilisation prévue (c.-à-d. les aquariums domestiques). Les lignées BT2018, OT2018, PiT2018, PuT2018 et RT2018 sont des lignées modifiées de diploïdes, hémizygotes ou homozygotes de « tétra noir » ou « veuve noire » à nageoires longues ou régulières, contenant des gènes codant pour des protéines fluorescentes de différentes couleurs. Ces cinq lignées déclarées, qui prennent leur coloration respective à la lumière ambiante, y compris à la lumière du soleil, seront importées des États-Unis pour être utilisées comme poissons d'ornement dans les aquariums domestiques. Les lignées déclarées sont commercialisées comme des poissons d'aquarium partout aux États-Unis, sauf en Californie, depuis 2013 (OT2018, PiT2018 et PuT2018) et 2014 (BT2018 et RT2018), et en Californie depuis 2015, sans qu'aucun incident n'ait été signalé. La souche parentale, *G. ternetzi*, est utilisée comme poisson d'aquarium domestique depuis les années 1950. 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 cinq lignées déclarées comme poissons d'ornement d'aquarium ou de toute autre utilisation potentielle répertoriée. Dans ces conditions, les organismes déclarés ne devraient pas poser plus de risque pour la santé humaine que l'espèce sauvage *G. ternetzi*.

INTRODUCTION

L'évaluation suivante des risques indirects sur la santé humaine a été menée sur les lignées BT2018, OT2018, PiT2018, PuT2018 et RT2018 de *Gymnocorymbus ternetzi*, cinq lignées génétiquement modifiées de « tétra noir » diploïdes, hémizygotes ou homozygotes à nageoires régulières ou longues contenant des gènes codant pour des protéines de différentes couleurs fluorescentes. L'évaluation des risques examine le potentiel que les cinq lignées déclarées aient des effets nocifs sur les humains au Canada par rapport au *G. ternetzi* sauvage en raison de l'exposition environnementale, y compris l'exposition dans les environnements naturels et les environnements visés par l'utilisation prévue (c.-à-d. les aquariums domestiques). Les lignées BT2018, OT2018, PiT2018, PuT2018 et RT2018, qui prennent respectivement la couleur bleue, orange, rose, violette et rouge sous la lumière ambiante, y compris la lumière du soleil, seront importées des États-Unis pour être utilisées comme poissons d'ornement dans les 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)* (RRSN[O]).

ÉVALUATION DES DANGERS

IDENTIFICATION ET CARACTÉRISATION DES LIGNÉES BT2018, OT2018, PIT2018, PUT2018 ET RT2018 DE *GYMNOCORYMBUS TERNETZI*

Nomenclature binomiale

Gymnocorymbus ternetzi BT2018, OT2018, PiT2018, PuT2018 et RT2018

Taxonomie

Règne	Animal
Embranchement	Chordés
Classe	Actinoptérygiens
Ordre	Characiformes
Famille	Characidés
Genre	<i>Gymnocorymbus</i>
Espèce	<i>Gymnocorymbus ternetzi</i> (Boulenger, 1895)
Souches	BT2018; OT2018; PiT2018; PuT2018 et RT2018.

Synonymes, noms communs et périmés

« *Gymnocorymbus ternetzi* » (Boulenger, 1895);

Nom commun : Tétra noir, veuve noire, tétra veuve noire, tétra veuve blanche ou tétra blanc;

Noms commerciaux :

BT2018 – Tétra GloFish^{MD} Cosmic Blue^{MD};

OT2018 – Tétra GloFish^{MD} Sunburst Orange^{MD} ou tétra à longues nageoires Sunburst Orange^{MD};

PiT2018 – Tétra GloFish^{MD} Moonrise Pink^{MD} ou tétra à longues nageoires Moonrise Pink^{MD};

PuT2018 – Tétra GloFish^{MD} Galactic Purple^{MD} ou Tétra à longues nageoires Galactic Purple^{MD};

RT2018 – Tétra GloFish^{MD} Starfire Red^{MD} ou Tétra à longues nageoires Starfire Red^{MD}.

Caractérisation et justification de l'identification taxonomique

Les lignées BT2018, OT2018, PiT2018, PuT2018 et RT2018 de *Gymnocorymbus ternetzi* sont des lignées génétiquement modifiées de tétras diploïdes, à nageoires longues ou régulières, hémizygotes ou homozygotes, contenant des structures génétiques qui les font paraître de différentes couleurs sous la lumière ambiante ou blanche. Ces lignées sont dérivées d'une lignée de tétra veuve blanche ou tétra blanc, une souche albinos qui est une variante pigmentaire naturelle du *G. ternetzi*. La lignée BT2018 n'est produite qu'en tant que variante à nageoires régulières de tétra. On peut distinguer *G. ternetzi* des autres espèces de *Gymnocorymbus* d'après les caractéristiques décrites dans une clé d'identification dans Géry (1977) et d'autres descriptions données dans Benine *et al.* (2015). Ses dents munies de trois cuspidés le différencient de son plus proche parent, *G. flaviolimai*, dont les dents prémaxillaires sont dotées de cinq cuspidés (Benine *et al.*, 2015). Il peut également se distinguer des autres espèces de *Gymnocorymbus* (*G. bondi* et *G. thayeri*) par la marge distale fortement convexe de sa nageoire anale (plutôt que rectiligne chez *G. bondi* ou légèrement convexe chez *G. thayeri*) et par la présence de six rayons sur sa nageoire pelvienne (Benine *et al.*, 2015).

HISTORIQUE DE LA SOUCHE

Les lignées déclarées ont été développées à partir de la variante albinos du tétra veuve noire (tétra blanc ou tétra veuve blanche) obtenue en 2007. La variation albinos est une mutation de couleur naturelle du type sauvage pigmenté tétra veuve noire (Frankel, 2004). Selon Frankel (2004), le tétra (*G. ternetzi*) manifeste deux phénotypes associés aux bandes présentes sur le tronc. Les poissons possèdent soit une coloration gris fumé avec deux bandes verticales noires proéminentes situées directement derrière l'opercule (tétra noir), soit une coloration plus pâle, sans ces bandes (tétra veuve blanche). Le tétra veuve noire a été introduit aux États-Unis avant 1950 (Innes, 1950). Les lignées déclarées sont chacune issues d'un seul œuf dans lequel on a injecté de l'ADN. Des précisions concernant le développement de la souche et l'historique des lignées déclarées ont été fournies par la société 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.

MODIFICATIONS GÉNÉTIQUES

Modifications phénotypiques et génotypiques résultant des modifications et stabilité des modifications génétiques

Les lignées déclarées qui ont été modifiées pour avoir une coloration bleue (OT2018), orange (OT2018), rose (PiT2019), violette (PuT2018) ou rouge (RT2018) sous la lumière ambiante, y compris la lumière du soleil, sont destinées à être utilisées par le grand public uniquement dans les aquariums domestiques. Selon les informations fournies par le déclarant, en plus d'avoir acquis les gènes de fluorescence pour les différentes couleurs, les lignées transgéniques BT2018, OT2018, PiT2018, PuT2018 et RT2018 pourraient généralement avoir un taux de

succès de reproduction plus faible que leurs homologues tétras blancs non transgéniques et présenter une sensibilité accrue aux basses températures. Par ailleurs, la démarche adoptée pour produire, élever et préparer les lignées déclarées de *G. ternetzi* pour la vente est considérée comme adéquate pour assurer la stabilité génétique du stock de géniteurs.

PROPRIÉTÉS BIOLOGIQUES ET ÉCOLOGIQUES

Le *G. ternetzi* sauvage est une espèce de poisson tropical d'eau douce de l'ordre des Characiformes, indigène et largement répartie dans les rivières d'Amérique du Sud dans les bassins de l'Amazone (bassin versant de la rivière Guaporé) et de La Plata (fleuve Paraguay) et d'autres bassins du sud du Brésil, de l'Argentine et de la Bolivie (Géry, 1977). Dans la nature, cette espèce occupe les zones d'enracinement des plantes dans des eaux douces relativement fraîches (22 à 24 °C) et au débit lent qui sont brunes, mais limpides et légèrement acides (pH de 5,5 à 6,3) (Sakurai *et al.*, 1992; Meschiattia *et al.*, 2000). Elle atteint environ 5 cm de longueur à maturité et se nourrit de vers, d'insectes et de petits crustacés planctoniques (Mills et Vevres, 1989). En captivité, elle prospère le mieux entre 23 et 26 °C et ses exigences alimentaires sont facilement satisfaites dans un aquarium domestique à l'aide d'aliments disponibles dans le commerce.

G. ternetzi se reproduit par fertilisation de la ponte, en couple, de deux poissons ovipares et atteint la maturité sexuelle entre l'âge de 9 mois et d'un an (Scheurmann, 1990); le comportement de frai est déclenché par le début de la saison des pluies. L'espèce se rassemble en bancs et, lorsqu'elle est introduite dans des réservoirs communautaires en groupes de cinq ou plus, elle n'est généralement pas agressive à l'égard des autres espèces (Innes, 1950). Les couples adultes, sexuellement matures, se séparent du banc et déposent œufs et laitance en eaux libres. Les œufs éclosent en 24 à 36 heures et les alevins nagent cinq à six jours après l'éclosion (Axelrod et Vorderwinkler, 1976; Scheurmann, 1990).

EFFETS SUR LA SANTÉ HUMAINE

Potentiel zoonotique

Des recherches internes de la littérature scientifique n'ont permis de recenser aucun signalement de zoonose ou d'effets nocifs attribuables aux organismes déclarés ou au type sauvage *G. ternetzi*. Le déclarant a fourni des déclarations de vétérinaires tiers qui affirment, d'après leur expérience et leurs observations, que les lignées déclarées ne présentent aucune susceptibilité accrue aux agents pathogènes ou au risque zoonotique par rapport aux tétras non modifiés. On a toutefois répertorié quelques rares cas d'infections zoonotiques découlant d'un contact avec des poissons d'ornement tropicaux et de zoonoses indirectes attribuables à l'ingestion d'aliments ou d'eau de boisson contaminés par des agents pathogènes et des parasites présents chez les poissons ornementaux ou les poissons d'aquarium. Les maladies bactériennes sont extrêmement courantes chez les poissons ornementaux 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 des infections bactériennes à l'humain, lesquelles résultent de la manipulation d'organismes aquatiques (Lowry et Smith, 2007). Les espèces bactériennes les plus courantes chez les poissons tropicaux qui peuvent causer des maladies chez l'humain sont des espèces appartenant aux genres *Aéromonas* et *Salmonella* ainsi que les espèces *Mycobacterium marinum*, 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.

Typiquement, ces lésions sont limitées aux extrémités distales comme les mains, les jambes et les pieds, car la température de croissance optimale de *M. marinum* varie entre 26 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). Les lésions font généralement moins de 2 cm de diamètre, et la taille et la sensibilité des boursouffures ainsi que leur nombre augmentent lentement au fil des semaines ou des mois (Boylan, 2011). Les infections à *M. marinum* étant difficiles à diagnostiquer chez l'humain, il est important de connaître les antécédents d'exposition à de l'eau ou à des poissons d'aquarium pour établir le bon diagnostic et prescrire le traitement antibiotique adéquat (Beran *et al.*, 2006). La monothérapie (entre autres à la clarithromycine, au triméthoprime ou à la ciprofloxacine) est considérée comme efficace pour les infections de la peau et des tissus mous, mais une combinaison de deux médicaments pourrait être plus efficace dans les cas d'infections plus profondes (Hashish *et al.*, 2018).

La documentation scientifique fait état de cas signalés d'infections à *M. marinum* après une exposition à de l'eau ou à des poissons d'aquarium, notamment Huminer *et al.* (1986), Aubry *et al.* (2002), Lahey (2003), Slany *et al.* (2012; 2013), Wu *et al.* (2012), Riera *et al.* (2016) et Veraldi *et al.* (2018). Toutefois, aucun cas signalé n'est attribué aux lignées déclarées ou à *G. ternetzi*.

Les infections zoonotiques à *S. iniae* sont le plus souvent associées à la manipulation et à la préparation de poissons infectés chez des personnes présentant des problèmes de santé sous-jacents comme le diabète sucré, le rhumatisme cardiaque chronique ou la cirrhose (Baiano et Barnes, 2009). La manipulation de poissons infectés vivants ou récemment tués peut entraîner une cellulite de la main ou une endocardite, une méningite et de l'arthrite dans les cas d'infections généralisées graves (Boylan, 2011). 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).

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 à teneur élevée en éléments nutritifs peuvent favoriser des proliférations pouvant infecter les humains qui présentent des blessures ou en cas d'ingestion. Ces infections sont toutefois rares et touchent ordinairement des personnes immunodéprimées (Boylan, 2011).

Une infection à *Salmonella* peut survenir en cas de contact avec l'habitat d'un animal, comme un aquarium (CDC, 2015). Musto *et al.* (2006) ont recensé en Australie 78 cas d'infections par *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 infections zoonotiques surviennent principalement en présence 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 avec du savon et de l'eau après tout contact avec de l'eau d'aquarium. En outre, les

personnes immunodéprimées ou qui souffrent de problèmes de santé sous-jacents devraient éviter de nettoyer des aquariums ou de manipuler des poissons (Haenen *et al.*, 2013).

En plus d'être vulnérables aux infections bactériennes, les humains peuvent aussi contracter différentes zoonoses parasitaires transmises par les poissons (p. ex. opisthorchiase, trématodose intestinale, anisakiase ou diphyllbothriose), dont bon nombre sont causées par des helminthes (Chai *et al.*, 2005). Certains parasites des poissons, surtout à leur stade infectieux (troisième stade larvaire des nématodes, métacercaires de trématodes, larves plérocercoides de taniias) peuvent avoir un effet important sur la santé humaine (Scholz, 1999). On signale également la présence de cryptosporidiose ou l'isolement de *Cryptosporidium* chez des poissons en captivité ou ornementaux impliquant *Cryptosporidium nasorum*, *C. parvum* et *C. hominis* (Muench et White, 1997; Ramirez *et al.*, 2004; Hunter et Thompson, 2005; Roberts *et al.*, 2009; Boylan, 2011). *Cryptosporidium* est de plus en plus reconnu comme l'une des principales causes de diarrhée modérée à grave dans les pays en développement (Ryan *et al.*, 2004) et un agent pathogène grave chez les patients atteints du SIDA (Ramirez *et al.*, 2004). La transmission peut se produire d'une personne à l'autre, d'un animal à une personne, d'animal à animal, par l'ingestion d'eau ou d'aliments contaminés ou encore par contact avec des surfaces contaminées (Ramirez *et al.*, 2004). Cependant, dans la plupart des cas impliquant des parasites aquatiques, les infections résultent de l'ingestion d'oocystes excrétés dans les matières fécales des individus infectés, de la consommation de poisson cru, mal cuit ou transformé et d'hôtes intermédiaires comme les escargots. Fölster-Holst *et al.* (2001) ont néanmoins rapporté le cas d'un professeur de biologie qui a développé la dermatite après avoir nettoyé l'aquarium de l'école où il élevait un gastéropode et quelques poissons. La dermatite cercarienne (« dermatite des nageurs ») est une réaction inflammatoire qui provoque des démangeaisons en réaction à la pénétration de la peau par des parasites non humains du genre *Schistosoma*; elle est couramment contractée pendant la baignade ou le pataugeage dans des lacs (Fölster-Holst *et al.*, 2001).

Aucun signalement n'associe spécifiquement les organismes déclarés à des parasites ayant des effets significatifs sur la santé humaine. Des échantillons des organismes déclarés ont été examinés dans un laboratoire de diagnostic des maladies du poisson de l'Université de la Floride, dans le cadre d'une évaluation sanitaire de routine (nécropsie, microbiologie) réalisée sur six poissons, et d'un examen histologique réalisé sur six autres poissons pour chaque lignée. Les constatations étaient plus ou moins semblables pour les lignées, avec l'observation de parasites communs aux poissons ornementaux, des cas d'inflammation et un seul échantillon d'un pathogène bactérien. Les poissons de type sauvage n'ont pas été examinés, mais le rapport indique que les constatations n'étaient pas liées à la modification génétique, ces parasites n'étant pas rares chez les poissons ornementaux (Florindo *et al.*, 2017; Trujillo-González *et al.*, 2018).

Allergénicité/toxigénicité

Des analyses internes de la séquence des acides aminés de toutes les protéines exprimées, effectuées au moyen de la base de données [AllergenOnline](#) (v18B; 23 mars 2018) n'ont révélé aucune correspondance avec des allergènes connus présentant une identité supérieure à 35 % ni de correspondance exacte pour les segments de 80 acides aminés et une fenêtre coulissante de 8 acides aminés. 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). Le déclarant a obtenu des résultats semblables à la suite d'analyses effectuées sur le site Web [Allermatch](#) (en anglais seulement).

Les recherches effectuées au moyen de l'outil BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) sur les séquences de nucléotides et d'acides aminés des gènes insérés et des protéines exprimées n'ont révélé aucune homologie avec des toxines ou des allergènes connus. De même, des recherches internes de la littérature scientifique n'ont permis de découvrir aucun effet nocif attribuable aux protéines exprimées chez les humains.

En outre, rien n'indique que les lignées déclarées ou *G. ternetzi* pourraient produire des substances toxiques ou dangereuses susceptibles de s'accumuler dans l'environnement ou d'être consommées par d'autres organismes dans l'environnement.

HISTORIQUE D'UTILISATION

Selon le déclarant, les lignées déclarées ont été conservées comme lignées reproductrices pendant plus de cinq générations, produites commercialement pendant plus de cinq ans et commercialisées comme poissons d'aquarium partout aux États-Unis, sauf en Californie, depuis 2013 pour les lignées OT2018, PiT2018 et PuT2018 et 2014 pour les lignées BT2018 et RT2018, et en Californie depuis 2015. Aucun cas d'effets indésirables sur la santé chez les humains n'a été signalé au cours de leur utilisation aux États-Unis. La souche parentale *G. ternetzi* est offerte comme poisson d'aquarium domestique depuis au moins 1950 (Innes, 1950) sans qu'aucun incident d'effets nocifs n'ait été signalé chez l'humain.

CARACTÉRISATION DES DANGERS

Le potentiel d'exposition humaine aux lignées BT2018, OT2018, PiT2018, PuT2018 et RT2018 de *Gymnocorymbus ternetzi* est évalué comme étant faible (tableau 1) pour les raisons suivantes :

1. Ces poissons tropicaux génétiquement modifiés contiennent un seul insert avec des copies variées des gènes de fluorescence qui ont été confirmées comme étant intégrées de façon stable par qPCR et plusieurs croisements;
2. Les méthodes utilisées pour produire les organismes vivants déclarés ne soulèvent aucune préoccupation indirecte pour la santé humaine. Bien que certains des organismes sources dont 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 toxiques ou pathogènes pour l'humain;
3. Bien que des cas d'infections zoonotiques associées à des poissons tropicaux d'aquarium aient été signalés, particulièrement chez des personnes immunodéficientes, aucun n'a été attribué aux organismes déclarés ou à l'espèce sauvage, et rien n'indique que les organismes déclarés pourraient avoir des capacités vectorielles supérieures à celles de l'espèce sauvage;
4. Les identités de séquence des transgènes insérés ou les protéines qui pourraient être exprimées à partir des constructions ne correspondent à aucun allergène ou toxine connus;
5. Les lignées déclarées ont un historique d'utilisation sans danger aux États-Unis, tout comme l'espèce sauvage en tant que poisson d'ornement dans le monde entier, et aucun effet nocif indirect pour la santé humaine n'est signalé dans la documentation.

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 communautaire.
Moyen	<ul style="list-style-type: none"> • Les effets sur la santé humaine devraient être modérés, mais rapidement résolus 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 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 dangers lié aux 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. Les méthodes utilisées pour modifier génétiquement l'espèce sauvage *G. ternetzi* sont décrites suffisamment en détail, tout comme la source du matériel génétique employé ainsi que la stabilité des génotypes et des phénotypes résultants. Cependant, certains éléments ont dû être clarifiés et les résultats des essais de croisements hétérogènes n'étaient pas conformes aux attentes théoriques pour les lignées BT2018 et PIT2018. Les analyses de la séquence du matériel génétique inséré pour toutes les lignées déclarées ne correspondaient à aucune toxine et aucun allergène, et aucun effet nocif attribuable 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 d'aquarium et ils ne sont pas uniques au tétra noir ou au tétra veuve noire. Après plus de cinq années de production commerciale des différentes couleurs de *G. ternetzi* fluorescent aux États-Unis, aucun effet nocif sur la santé humaine n'a été signalé. Par conséquent, en combinant à la fois les données empiriques sur les organismes déclarés, les renseignements sur les substituts provenant 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 aux États-Unis, les dangers indirects de toutes les lignées déclarées pour la santé humaine sont jugés faibles avec une **faible incertitude**. On considère qu'il existe une faible incertitude parce qu'une grande partie des renseignements relatifs aux effets sur la santé humaine se fondent sur des rapports portant sur d'autres poissons d'ornement, et qu'aucune étude portant expressément sur les effets potentiels des poissons d'ornement transgéniques fluorescents sur la santé humaine n'a été réalisée. De plus, les résultats des essais de croisements hétérogènes pour les lignées BT2018 et PIT2018 ne correspondaient pas aux attentes.

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

Description	Classement de l'incertitude
<p>Il existe de nombreux signalements d'effets sur la santé humaine liés au danger, et la nature et la gravité des effets signalés sont uniformes (c.-à-d. faible variabilité); OU</p> <p>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.</p>	Négligeable
<p>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</p> <p>Aucun effet sur la santé humaine n'a été signalé et aucun effet lié au danger n'a été signalé chez d'autres mammifères.</p>	Faible
<p>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</p> <p>Des effets liés au danger ont été signalés chez d'autres mammifères, mais pas chez l'humain.</p>	Modérée
<p>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).</p>	Élevée

ÉVALUATION DE L'EXPOSITION

IMPORTATION

Le déclarant importera des États-Unis des poissons adultes des lignées BT2018, PiT2018, PuT2018, OT2018 et RT2018 de *G. ternetzi*, qui entreront au Canada par l'un des quatre points d'entrée suivants : Vancouver (Colombie-Britannique), Calgary (Alberta), Toronto (Ontario) et Montréal (Québec). Les stocks de reproducteurs sont maintenus dans deux exploitations distinctes en Floride qui utilisent le même protocole d'élevage. La production des lignées déclarées est réglementée par la Division de l'aquaculture du Département de l'agriculture et des services aux consommateurs de la Floride. Les poissons adultes seront expédiés à des distributeurs canadiens qui les distribueront ensuite aux animaleries pour vente au grand public. Les lignées déclarées seront livrées aux détaillants selon la quantité commandée, et les poissons y seront conservés jusqu'à leur vente.

INTRODUCTION DES ORGANISMES

Les lignées déclarées seront commercialisées dans des points de vente au détail qui vendent des poissons d'aquarium. Le nombre et les endroits exacts où les organismes déclarés seront disponibles ne sont pas encore connus; toutefois, le déclarant a estimé qu'il pourrait y avoir jusqu'à 750 points de vente au détail où les lignées pourraient être commercialisées. Selon une enquête menée en 2009, 12 % des ménages canadiens possédaient des poissons (Whitfield et Smith, 2014), mais on ne sait pas quel pourcentage de particuliers pourraient acheter les

organismes déclarés. Aux États-Unis, Glofish^{MD} détient environ 15 % du marché des poissons d'aquarium tropicaux (Anderson, 2017). D'après l'expérience du déclarant sur le marché américain, le nombre typique de poissons de cette espèce dans un aquarium domestique est de trois à cinq. L'exposition des particuliers qui achèteront les lignées déclarées se limitera probablement aux activités d'entretien comme les changements d'eau et le nettoyage des aquariums. La vente des lignées peut être interrompue en tout temps si l'on juge nécessaire de mettre fin à leur introduction au Canada. Selon le déclarant, par rapport à l'espèce sauvage, aucune procédure ou aucun traitement particulier n'est requis pour éliminer les organismes déclarés, car la seule différence est l'ajout d'une protéine fluorescente provenant d'espèces d'organismes marins.

DEVENIR DANS L'ENVIRONNEMENT

Les organismes déclarés ne sont pas destinés à être relâchés dans l'environnement et seront confinés dans les aquariums domestiques et les animaleries. Si un poisson était rejeté, délibérément ou non, dans l'environnement, les chances d'établissement d'une population autosuffisante sont faibles étant donné qu'aucun cas d'établissement dans l'environnement n'a été signalé aux États-Unis où les *G. ternetzi* fluorescents sont commercialisés comme poissons d'aquarium dans des régions où les températures minimales hivernales sont plus élevées qu'au Canada. Le déclarant a fourni des données sur la tolérance à la température pour les cinq lignées déclarées, montrant des DL₅₀ comprises entre 7 et 9 °C. *G. ternetzi* n'est pas considéré comme une espèce préoccupante dans les eaux canadiennes en raison de son manque de tolérance thermique et de son absence d'antécédents d'envahissement (Rixon *et al.*, 2005; Leggatt *et al.*, 2018). Si des poissons 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 d'exposition aux organismes déclarés dans l'environnement est faible.

AUTRES UTILISATIONS POSSIBLES

Le type sauvage *G. ternetzi* est une espèce non alimentaire qui est utilisée sans danger dans les aquariums du monde entier depuis de nombreuses décennies. De même, les organismes déclarés (BT2018, OT2018, PiT2018, PuT2018 et RT2018) sont destinés au grand public aux seules fins d'exposition dans des aquariums. Selon le déclarant, les lignées ne conviennent pas à une utilisation dans des bassins extérieurs, comme poisson-appât, pour la consommation humaine, ni comme sentinelle de l'environnement. Par conséquent, le déclarant n'appuie aucune autre utilisation des lignées déclarées que comme poisson ornemental d'aquarium. Une recherche documentaire interne a permis de trouver une étude examinant l'utilisation potentielle de poissons ornementaux pour la lutte contre les moustiques. Tilak *et al.* (2007) ont évalué le potentiel larvicide du poisson rouge et du gourami bleu en laboratoire et ont recommandé l'introduction de ce type de poissons dans des réservoirs ornementaux pour contrôler la reproduction des moustiques et à des fins esthétiques.

Il n'y a pas lieu de croire que les organismes déclarés seront fabriqués au Canada. En effet, les lignées 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. Le déclarant recommande aux personnes qui ne veulent plus des organismes après l'achat de les retourner au détaillant, de les donner à un autre aquariophile ou de les euthanasier sans cruauté avec de la glace ou de la glace sèche. Toutefois, selon le déclarant, les lignées pourraient être utilisées comme organismes de recherche scientifique. En effet, le déclarant détient un brevet (brevet américain n° 8 975 467) qui prévoit l'utilisation des poissons

transgéniques fluorescents dans des études sur les embryons pour suivre les lignées et la migration cellulaires. Ils peuvent aussi être utilisés pour marquer les cellules dans des expériences de mosaïque génétique et dans les modèles de cancer chez les poissons.

CARACTÉRISATION DE L'EXPOSITION

Les risques liés à une exposition aux organismes déclarés en milieu de travail ne sont pas pris en considération dans la présente évaluation¹.

Le potentiel d'exposition humaine aux lignées BT2018, OT2018, PiT2018, PuT2018 et RT2018 de *Gymnocorymbus ternetzi* est évalué comme étant faible à moyen (voir le tableau 3) pour les raisons suivantes :

1. La principale source des organismes déclarés au Canada est l'importation annuelle proposée de poissons adultes des lignées BT2018, PiT2018, PuT2018, OT2018 et RT2018;
2. Les organismes déclarés seront potentiellement vendus au public dans tous les lieux où des poissons tropicaux d'aquarium sont vendus, c'est-à-dire jusqu'à 750 commerces de détail au Canada, et aucune introduction délibérée des organismes dans l'environnement canadien n'est prévue.
3. Leur seule utilisation prévue est celle de poissons d'ornement pour les aquariums, ce qui limite le potentiel d'exposition de la population générale au seul groupe des personnes possédant un aquarium domestique, ce groupe pouvant comprendre des personnes immunodéprimées. La densité d'empeisonnement habituelle pour les organismes déclarés dans un aquarium domestique est de trois à cinq poissons;
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 de l'aquarium et les changements de l'eau;
5. S'il y a d'autres utilisations possibles, comme l'utilisation en tant que poissons-appâts, dans des étangs extérieurs, pour la lutte contre les moustiques et pour la recherche scientifique, aucun risque supplémentaire indirect pour la santé humaine n'est prévu par rapport à ceux de tout autre poisson typique d'aquarium.

¹ La détermination de la conformité à l'un ou plusieurs des critères énoncés à l'article 64 de la LCPE repose sur 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 les substances. Une conclusion établie en vertu de la LCPE peut ne pas être pertinente à une évaluation, qu'elle n'empêche pas non plus, par rapport aux critères définis dans le *Règlement sur les produits dangereux*, qui fait partie d'un cadre réglementaire pour le Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail (SIMDUT) pour les produits destinés à être utilisés au travail.

Tableau 3. Considérations relatives à l'exposition

EXPOSITION	CONSIDÉRATIONS
Élevée	<ul style="list-style-type: none"> • La quantité, 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 personnes saines et vulnérables (p. ex. immunodéficientes) soient exposées ou que les rejets s'étendent au-delà d'une région ou d'une seule population. • En ce qui concerne l'exposition chez l'humain, les voies d'exposition permettraient la présence d'effets toxiques, d'effets zoonotiques ou d'autres effets nocifs.
Moyenne	<ul style="list-style-type: none"> • L'organisme est rejeté dans l'environnement, mais la quantité, la durée ou la fréquence des rejets sont modérées. • L'organisme peut persister dans l'environnement, mais en faible nombre. • Le potentiel de dispersion/transport de l'organisme est limité. • Du fait de la nature du rejet, on peut prévoir une certaine exposition de personnes vulnérables (p. ex. immunodéficientes). • En ce qui concerne l'exposition 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 ou la biologie de l'organisme devrait permettre de le contenir de sorte que des personnes saines et vulnérables (p. ex. immunodéficientes) ne soient pas exposées. • L'organisme est rejeté en faibles quantités, et les rejets sont de courtes durées et peu fréquents; 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 tableau 4 présente le classement de l'incertitude associée à l'évaluation de l'exposition à des risques indirects pour la santé humaine. Le déclarant a fourni des renseignements adéquats sur les sources d'exposition et les facteurs qui influent sur l'exposition humaine, notamment l'importation, la vente au détail et la survie des organismes dans l'environnement. Il a indiqué que les organismes déclarés ne seront pas produits au Canada et que la source d'exposition se limite à l'importation annuelle de poissons adultes des lignées BT2018, PiT2018, PuT2018, OT2018 et RT2018. La survie de ces poissons devrait être limitée du fait de leur faible tolérance aux températures inférieures à 9 °C. Des données empiriques montrent que les lignées déclarées de *G. ternetzi* sont moins tolérantes au froid que l'espèce sauvage. Au Canada, l'exposition humaine (grand public et personnes immunodéficientes) devrait se produire surtout au moment de l'entretien et du nettoyage des aquariums domestiques. À l'heure actuelle, on ignore le nombre réel d'organismes déclarés devant être importés au cours des prochaines années. Par conséquent, compte tenu des renseignements limités sur les scénarios d'exposition sur le marché canadien, l'exposition humaine aux organismes déclarés est jugée **faible à moyenne** avec un **niveau d'incertitude modéré**.

Tableau 4. Classement de l'incertitude associée à l'exposition à des risques indirects 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 l'organisme 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.	Modérée
Importantes lacunes dans les connaissances. Dépendance importante à l'égard de l'opinion d'experts.	Élevée

CARACTÉRISATION DES RISQUES

UTILISATION DÉCLARÉE

Dans cette évaluation, le risque est caractérisé selon un paradigme intégré à l'article 64 de la LCPE (1999) qui veut qu'un danger et l'exposition à ce danger soient tous deux nécessaires pour qu'il y ait un risque. 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 poissons des lignées BT2018, OT2018, PiT2018, PuT2018 et RT2018 sont des poissons tropicaux génétiquement modifiés issus d'une lignée albinos naturelle du tétra veuve noire. Les couleurs sont le résultat de l'introduction de cassettes d'expression contenant le gène codant pour une protéine fluorescente dérivée d'espèces d'anémones de mer et de coraux. Les organismes déclarés seront commercialisés partout au Canada en tant que poissons d'ornement pour les aquariums domestiques.

Bien qu'il y ait des cas signalés d'infections zoonotiques dues à l'exposition à des poissons d'aquarium, le tétra veuve noire est une espèce d'aquarium populaire utilisée sans risque depuis longtemps et pour laquelle aucun cas n'est déclaré dans la documentation. De même, les lignées déclarées (BT2018, OT2018, PiT2018, PuT2018 et RT2018) sont maintenues comme lignées reproductrices depuis plus de cinq générations et produites commercialement depuis plus de cinq ans aux États-Unis sans que des effets indésirables aient été signalés. Les gènes insérés et les méthodes utilisées pour modifier les lignées déclarées ne présentent aucun potentiel pathogène ou toxique pour l'humain.

Au vu du potentiel de danger faible et du potentiel d'exposition de faible à moyen, les risques pour la santé humaine liés à l'utilisation des lignées BT2018, OT2018, PiT2018, PuT2018 et RT2018 de *G. ternetzi* comme poissons d'ornement d'aquarium sont jugés faibles.

AUTRES UTILISATIONS POSSIBLES

Les autres utilisations recensées comprennent l'utilisation des organismes déclarés dans les bassins extérieurs, comme poissons-appâts et pour la recherche scientifique. Même si le déclarant n'approuve pas ces utilisations, étant donné que ces poissons sont destinés uniquement à des fins d'exposition dans les aquariums, les caractéristiques des organismes déclarés n'excluent pas ces utilisations. Il est possible que les organismes déclarés soient utilisés comme poisson-appât et, lorsque les températures sont favorables, qu'ils soient aussi conservés dans des bassins extérieurs, comme c'est le cas en Floride où les poissons sont produits. Avec le brevet publié, leur utilisation en tant qu'organismes de modèles de recherche est possible; toutefois, cela se ferait sous confinement et limiterait ainsi l'exposition du grand public. Les publications scientifiques ne font état d'aucun cas où les organismes déclarés auraient été utilisés comme sentinelles de l'environnement, mais quelle que soit l'utilisation, les renseignements dont on dispose n'indiquent aucune incidence potentielle de ces utilisations sur la santé humaine.

CONCLUSION DE L'ÉVALUATION DES RISQUES

Aucune preuve ne semble indiquer qu'il existe un risque d'effets nocifs sur la santé humaine aux niveaux d'exposition prévus pour la population canadienne découlant de l'utilisation des lignées BT2018, OT2018, PiT2018, PuT2018 et RT2018 de *G. ternetzi* comme poissons d'ornement d'aquarium ou de toute autre utilisation possible. Le risque pour la santé humaine associé à l'utilisation des lignées BT2018, OT2018, PiT2018, PuT2018 et RT2018 de *G. ternetzi* ne répond pas aux critères énoncés à l'alinéa 64c) de la LCPE (1999). Aucune autre mesure n'est recommandée.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Anderson, W. 2017. [Austin company behind glow-in-the-dark fish in pet stores sells IP for \\$50 million](#). Austin Business Journal. Accessed April 9, 2019.
- Aubry, A., Chosidow, O., Caumes, E., Robert, J., and Cambau, E. 2002. Sixty-three cases of *Mycobacterium marinum* infection. Arch. Intern. Med. 162:1746-1752.
- Axelrod, H.R., and Vorderwinkler, W. 1976. *Encyclopedia of Tropical Fishes* (23 ed.). Neptune City: T.F.H. Publications. Inc.
- Baiano, J.C.F., and Barnes, A.C. 2009. Towards control of *Streptococcus iniae*. Emerg. Infect. Dis. 15:1891-1896.
- Benine, R.C., Melo, B.F., Castro, R.M.C., and Oliveira, C. 2015. Taxonomic revision and molecular phylogeny of *Gymnocorymbus* Eigenmann, 1908 (Teleostei, Characiformes, Characidae). Zootaxa. 3956(1):1-28.
- Beran, V., Matlova, L., Dvorska, L., Svastova, P., and Pavlik, I. 2006. Distribution of mycobacteria in clinically healthy ornamental fish and their aquarium environment. J. Fish Dis. 29:383-393.
- Boylan, S. 2011. Zoonoses associated with fish. Vet. Clin. Exot. Anim. 14:427-438.

-
- CDC. 2015. [Healthy pets healthy people](#). Centers for Disease Control and Prevention, Accessed June 6, 2018.
- Chai, J.-Y., Murrell, K.D., and Lymbery, A.J. 2005. Fish-borne parasitic zoonoses: status and issues. *International Journal for Parasitology*. 35(11):1233-1254.
- Florindo, M.C., Jerônimo, G.T., Steckert, L.D., Acchile, M., Gonçalves, E.L.T., Cardoso, L., and Martins, M.L. 2017. Protozoan parasites of freshwater ornamental fish. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 45(5):948-956.
- Fölster-Holst, R., Disko, R., Röwert, J., Böckeler, W., Kreiselmaier, I., and Christophers, E. 2001. Cercarial dermatitis contracted via contact with an aquarium: case report and review. *Brit. J. of Dermatol.* 145(4):638-640.
- Frankel, J.S. 2004. Inheritance of trunk banding in the tetra (*Gymnocorymbus ternetzi* Characidae). *J. Hered.* 95:262-264.
- 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.
- Géry, J. 1977. *Characoids of the World*. Neptune City: Tropical Fish Hobbyist Publications.
- 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.
- 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. *Vet. Quat.* 38(1):35-36.
- Huminer, D., Pitlik, S.D., Block, C., Kaufman, L., Amit, S., and Rosenfeld, J.B. 1986. Aquarium-borne *Mycobacterium marinum* skin infection. *Arch. Dermatol.* 122:698-703.
- Hunter, P. R., and Thompson, R. A. 2005. The zoonotic transmission of *Giardia* and *Cryptosporidium*. *International journal for parasitology*. 35(11):1181-1190.
- Innes, W.T. 1950. *Exotic Aquarium Fishes: A Work of General Reference*. Innes Publishing Company. Philadelphia.
- Lahey, T. 2003. Invasive *Mycobacterium marinum* infections. *Emerg. Infect. Dis.* 9:1496-1497.
- 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.
- Lowry, T., and Smith, S.A. 2007. Aquatic zoonoses associated with food, bait, ornamental, and tropical fish. *JAVMA*. 231:876-880.
- Meschiattia, A.J., Arcifaa, M.S., and Fenerich-Veranib, N. 2000. Fish communities associated with macrophytes in Brazilian floodplain lakes. *Env. Biol. Fish.* 58:133-143.
- Mills, D.L., and Vevres, G. 1989. *The Tetra Encyclopedia of Freshwater Tropical Aquarium Fishes*. G. Rogers, (Ed.) Tetra Press. Blacksburg, VA.
- Muench, T. R., and White, M. R. 1997. Cryptosporidiosis in a tropical freshwater catfish (*Plecostomus* spp.). *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*. 9(1):87-90.
- 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.
- Ramirez, N.E., Ward, L.A., and Sreevatsan, S. 2004. A review of the biology and epidemiology of cryptosporidiosis in humans and animals. *Microbes and infection.* 6(8):773-785.
- Riera, J., Conesa, X., Pisa, J., Moreno, J., Siles, E., and Novell, J. 2016. Septic arthritis caused by *Mycobacterium marinum*. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 136:131-134.
- 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.
- 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., O'Hara, A., and Xiao, L. 2004. Molecular and biological characterization of a *Cryptosporidium molnari*-like isolate from a guppy (*Poecilia reticulata*). *Applied and Environmental Microbiology.* 70(6):3761-3765.
- Sakurai, A., Sakamoto, Y., and Mori, F. 1992. *Aquarium Fish of the World*. Chronicle Books. San Francisco.
- Scheurmann, I. 1990. *Aquarium Fish Breeding*. Barron's Educational Series, Inc. Cornell University.
- Scholz, T. 1999. Parasites in cultured and feral fish. *Veterinary Parasitology.* 84(3):317-335.
- Slany, M., Jezek, P., Fiserova, V., Bodnarova, M., Stork, J., Havelkova, M., Kalat, F., and Pavlik, I. 2012. *Mycobacterium marinum* infections in humans and tracing of its possible environmental sources. *Can. J. Microbiol.* 58:39-44.
- Slany, M., Jezek, P., and Bodnarova, M. 2013. Fish tank granuloma caused by *Mycobacterium marinum* in two aquarists: Two case reports. *Biomed. Res. Int.* 2013:1-4.
- Tilak, R., Dutta, J., and Gupta, K.K. 2007. Prospects for the use of ornamental fishes for mosquito control: a laboratory investigation. *Indian J. Public Health.* 51(1):54-5.
- Trujillo-González-A., Becker, J.A., and Hutson, K.S. 2018. Parasite dispersal from the ornamental goldfish trade. *Adv. Parasit.* 100:239-281.
- Veraldi, S., Molle, M., and Nazzaro, S. 2018. Eczema-like fish tank granuloma: a new clinical presentation of *Mycobacterium marinum* infection. *J. Eur. Acad. Dermatol. Venereol.* 32:e200-e201.
- 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.* 57:41-49.
- WHO/FAO. 2009. [Foods derived from modern biotechnology, 2nd edition](#). Rome, Italy: World Health Organization/Food and Agriculture Organization of the United Nations (WHO/FAO), Codex Alimentarius.
-

Wu, T-S., Chiu, C-H., Yang, C-H., Leu, H-S., Huang, C-T., Chen, Y-C., Wu, T-L., Chang, P-Y., Su, L-H., Kuo, A-J., Chia, J-H., Lu, C-C., and Lai, H-C. 2012. Fish tank granuloma caused by *Mycobacterium marinum*. PLoS ONE. 7:e41296.