



ÉVALUATION DES RISQUES POUR L'ENVIRONNEMENT ET DES RISQUES INDIRECTS POUR LA SANTÉ HUMAINE POSÉS PAR LE DANIO (*DANIO RERIO*) GLOFISH^{MD} SUNBURST ORANGE^{MD} : UN POISSON D'ORNEMENT TRANSGÉNIQUE



Figure 1. Variétés de *Danio rerio* en vente dans les commerces du poisson d'ornement partout dans le monde (a, b), et la variété transgénique déclarée disponible uniquement aux États-Unis (c). Le poisson-zèbre domestique (a), le poisson-zèbre doré (b), le *Danio* YZ2018 GloFish^{MD} Sunburst Orange^{MD} fluorescent (c) (images obtenues auprès de :a) www.petsmart.ca; b) MPO; c) www.glofish.com)

Contexte

Les dispositions de la Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999) (LCPE) portant sur la biotechnologie adoptent une approche préventive en matière de protection de l'environnement, en exigeant la déclaration et l'évaluation de tous les nouveaux organismes vivants issus de la biotechnologie, y compris les poissons génétiquement modifiés, avant qu'ils soient fabriqués ou importés au Canada, afin de déterminer s'ils sont « toxiques » ou susceptibles de le devenir. Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) et Santé Canada (SC) ont pour mandat de mener toutes les évaluations des risques en vertu de la LCPE.

Le 4 mars 2019, GloFish LLC a soumis un avis à ECCC en application du Règlement sur les renseignements concernant les substances nouvelles (organismes) [RRSN(O)] pour le *Danio* (YZ2018) GloFish^{MD} Sunburst Orange^{MD}, une variante orange fluorescent génétiquement modifiée du poisson-zèbre (*Danio rerio*), pour utilisation comme poisson d'ornement dans les aquariums résidentiels (RSN 19923).

Sous le régime d'un protocole d'entente (PE) entre Pêches et Océans Canada (MPO), ECCC et SC, le MPO réalise une évaluation des risques environnementaux afin de produire un avis scientifique, fournit cet avis à ECCC et collabore avec SC pour mener une évaluation des risques indirects pour la santé humaine pour tout produit du poisson issu de la biotechnologie et déclaré en application de la LCPE et du RRSN(O). L'avis est transmis à ECCC et à SC sous la forme du présent Avis scientifique, afin d'éclairer l'évaluation des risques que ces deux ministères réaliseront au titre de la LCPE.

Le présent avis scientifique découle de la réunion du 8 au 9 mai, 2019 sur l'Évaluation des risques pour l'environnement et des risques indirects pour la santé humaine posés par le poisson-zèbre

GloFish^{MD} Sunburst Orange^{MD} : un poisson d'ornement transgénique. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada \(MPO\)](#).

*En ce qui a trait au présent Avis scientifique, des rapports semblables ont été présentés en [2017](#) et [2018](#) sur six lignées de Glofish^{MD} (*Gymnocorymbus ternetzi*) présentant des modifications génétiques semblables (MPO 2018, 2019).*

SOMMAIRE

- Conformément à la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (LCPE), GloFish LLC a fourni les renseignements exigés par le *Règlement sur les renseignements concernant les substances nouvelles (organismes)* [RRSN(O)] à Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) pour le *Danio rerio* génétiquement modifié (Danio (YZ2018) GloFish^{MD} Sunburst Orange^{MD}).
- Des évaluations des risques pour l'environnement et des risques indirects pour la santé humaine, qui comprenaient une analyse des dangers potentiels, des probabilités d'exposition et des incertitudes connexes, ont été réalisées afin de tirer des conclusions sur les risques et de fournir un avis scientifique à ECCC et à Santé Canada (SC) pour éclairer leur évaluation des risques en vertu de la LCPE.

Évaluation des risques indirects pour la santé humaine

- L'évaluation de l'exposition **indirecte pour la santé humaine** a permis de conclure que le potentiel d'exposition humaine à l'YZ2018 est **faible à moyen**, puisque son utilisation prévue en tant que poisson d'ornement dans les aquariums restreint fortement l'exposition du public aux personnes qui possèdent de tels poissons dans des aquariums domestiques, lorsqu'elles font l'entretien du réservoir, et comprendrait les personnes potentiellement vulnérables (p. ex. immunodéprimées, enfants, personnes ayant des problèmes de santé).
- L'incertitude associée à l'évaluation de l'exposition indirecte pour la santé humaine est **modérée**, car les renseignements dont on dispose sur le nombre de poissons devant être importés, la pénétration du marché et les scénarios d'exposition au Canada sont limités.
- L'évaluation des dangers indirects pour la santé humaine a permis de conclure que l'YZ2018 présente un potentiel de danger **faible**, puisqu'aucun cas d'infection zoonotique attribuable à l'YZ2018 ou au *Danio rerio* non transgénique n'a été signalé. Bien que l'un des organismes sources dont provient le matériel génétique utilisé pour l'insertion semble produire des toxines, rien n'indique que le matériel génétique introduit ou la protéine fluorescente soient toxiques ou associés à une pathogénicité chez l'humain.
- L'incertitude associée à l'évaluation des dangers indirects pour la santé humaine est **faible**, compte tenu des renseignements dont on dispose sur l'organisme, des renseignements contenus dans la littérature sur le *D. rerio* sauvage et sur d'autres poissons d'ornement, et de l'absence d'effets nocifs que confirme l'historique d'utilisation sans risque de l'YZ2018 aux États-Unis et du *D. rerio* sauvage au Canada et ailleurs dans le monde.
- Il existe un **faible** risque d'effet nocif indirect sur la santé humaine aux niveaux d'exposition prévus pour la population canadienne découlant de l'utilisation de l'YZ2018 comme poisson d'ornement dans un aquarium ou d'autres utilisations potentielles.

Évaluation des risques pour l'environnement

- L'évaluation de l'exposition **environnementale** a permis de conclure que la présence de l'YZ2018 dans l'environnement canadien, en dehors des aquariums, devrait être rare, isolée et éphémère en raison de son incapacité à survivre aux températures basses qui caractérisent les milieux d'eau douce canadiens en hiver. Par conséquent, la probabilité d'exposition de l'environnement canadien à l'YZ2018 est considérée comme **faible**.
- L'incertitude associée à cette estimation est **faible** au vu des données disponibles concernant la tolérance de l'YZ2018 et des comparateurs pertinents à l'égard de la température de l'eau, et du fait que malgré un long historique d'utilisation du *Danio rerio* en Amérique du Nord, le poisson ne s'est jamais établi.
- L'évaluation du danger pour l'environnement a permis de conclure que les dangers liés à l'YZ2018 sont **négligeables**, qu'il s'agisse des dangers relatifs à la toxicité pour l'environnement, aux interactions avec d'autres organismes, à l'hybridation, à sa capacité à agir comme vecteur pour la prolifération de maladies, ou encore des dangers pour la biodiversité, le cycle biogéochimique ou l'habitat. La transmission horizontale de gènes représente un danger **faible** (c.-à-d. aucun effet nocif prévu).
- Les niveaux d'incertitude associés au classement des dangers pour l'environnement vont de **faible** à **modéré**, en raison du caractère limité des données propres à l'YZ2018, du manque de cohérence des résultats d'études sur d'autres poissons-zèbres transgéniques fluorescents, et du fait que l'évaluation repose en partie sur l'opinion d'experts.
- Il existe par conséquent un **faible** risque d'effets environnementaux négatifs aux niveaux d'exposition prévus pour l'environnement canadien découlant de l'utilisation de l'YZ2018 comme poisson d'ornement dans les aquariums ou d'autres utilisations potentielles.

Conclusions

- L'évaluation globale concernant l'utilisation de l'YZ2018 dans le commerce d'espèces destinées aux aquariums ou d'autres utilisations potentielles au Canada permet de conclure que les risques indirects pour la santé humaine au Canada et pour l'environnement du Canada sont **faibles**. Malgré le niveau d'incertitude modéré associé à certains paramètres de l'évaluation, rien n'indique actuellement que les cotes de risque globales pourraient être plus élevées que ce qu'indiquent les résultats de l'évaluation.

RENSEIGNEMENTS DE BASE

Caractérisation de l'organisme déclaré

L'YZ2018 est un « poisson-zèbre doré » génétiquement modifié obtenu à partir d'une variété de poisson-zèbre rayé (*Danio rerio*) ayant une faible pigmentation et possédant plusieurs copies d'une cassette d'expression. La cassette d'expression code une protéine fluorescente avec des pics d'excitation et d'émission d'environ 530 nm et 540 nm, respectivement. Cette cassette d'expression transgénique est identique à celle évaluée dans le cadre de l'évaluation des risques visant le Tetra Glofish^{MD} Sunburst Orange^{MD} (MPO 2019). Le matériel génétique inséré produit une coloration jaune-orange sur l'ensemble de l'organisme à la lumière ambiante, notamment celle du soleil. Cette modification génétique a pour but de créer un nouveau phénotype orange chez le *D. rerio*; ce nouvel organisme est destiné au commerce des poissons ornementaux d'aquarium (figure 1).

La cassette d'expression transgénique a été injectée dans des œufs nouvellement fécondés et encore au stade unicellulaire de la variante dorée non transgénique du poisson-zèbre (*D. rerio*), et un seul individu fondateur (G0) a été identifié au moyen du phénotype orange fluorescent. La ségrégation mendélienne du transgène a été confirmée chez la génération F1 et la PCR quantitative effectuée chez cette génération montre que le poisson fondateur F1 porte de multiples copies de la cassette d'expression. Une hybridation par transfert de Southern après une digestion par enzymes de restriction a permis de confirmer que les poissons hémizygotes F2 avaient la même lignée génétique, et ceux-ci ont été utilisés pour perpétuer la lignée de la souche que l'on appelle YZ2018 (nom commercial : Danio GloFish^{MD} Sunburst Orange^{MD}). Le site exact d'insertion et la séquence finale du matériel génétique inséré n'ont pas été déterminés.

Yorktown Technologies et GloFish LLC maintiennent la lignée généalogique depuis plus de cinq générations, et la lignée est produite commercialement depuis plus de cinq ans, sans qu'aucun signe de silençage de l'expression génique n'ait été relevé. De plus, selon GloFish LLC, « 5-D Tropical Inc., l'un des plus importants producteurs de poissons tropicaux d'ornement au monde, produit l'YZ2018 (et toutes les autres lignées de GloFish^{MD} vendues sur le marché) depuis des années et estime que le phénotype est durable et stable d'une génération à l'autre ». Toutefois, aucune étude officielle portant sur le silençage de l'expression génique et sur la stabilité du phénotype d'une génération à l'autre n'est disponible. Dans l'ensemble, le degré d'incertitude relatif à la caractérisation moléculaire de l'YZ2018 est modéré.

L'YZ2018 peut comprendre des individus hémizygote (qui ont une seule copie de la construction transgénique insérée à un locus) ou homozygotes (qui ont deux copies à ce même locus). Il n'est pas possible de distinguer les individus hémizygotes des individus homozygotes sur le plan phénotypique (la fluorescence) selon les paramètres utilisés dans la présente évaluation.

Effets phénotypiques de la modification

L'effet phénotypique recherché est que l'YZ2018 présente une couleur orangée à la lumière ambiante. Ce nouveau phénotype est présent dans les muscles, la peau et les yeux. Le transgène pourrait s'exprimer dans les organes internes et leur donner une couleur orange, mais ce phénomène n'a pas été observé chez l'YZ2018.

Effets phénotypiques non ciblés de la modification

GloFish LLC a identifié deux effets non ciblés chez l'YZ2018, soit une tolérance réduite aux basses températures et une diminution du succès reproducteur lorsqu'il est en concurrence avec le poisson-zèbre non transgénique. L'entreprise a effectué un test de tolérance aux basses températures en comparant la capacité de survie de l'hémizygote YZ2018 à celle des poissons-zèbres dorés non transgéniques pendant une baisse de température. Bien que tous les poissons soient morts entre 8,0 °C et 4,3 °C, la DL₅₀ des poissons transgéniques était considérablement plus élevée (5,87 °C contre 5,56 °C, $p < 0,0001$) que celle de leurs semblables non transgéniques, ce qui montre que l'YZ2018 est plus sensible au froid que les poissons-zèbres non transgéniques.

Un test de succès de reproduction a été effectué pour comparer les poissons transgéniques aux poissons non génétiquement modifiés. La proportion des descendants transgéniques (orange fluorescent) s'est révélée nettement plus faible que ce à quoi on pouvait s'attendre pour un échantillon aléatoire, ce qui indique que l'YZ2018 pourrait avoir plus de difficulté à se reproduire que le poisson-zèbre non transgénique. Les effets de la modification génétique sur les autres

phénotypes, notamment la survie, la fécondité et le comportement, n'ont pas fait l'objet d'un examen formel.

Transgènes d'une protéine fluorescente chez le poisson-zèbre

De nombreuses protéines fluorescentes, particulièrement la protéine fluorescente verte améliorée (eGFP), sont largement utilisées dans la recherche sur différents organismes, et on dispose de données pertinentes à l'évaluation des risques sur le poisson-zèbre transgénique qui exprime la protéine fluorescente rouge (RFP). La plupart des lignées de poissons-zèbres transgéniques RFP et GFP, mais pas toutes, présentent une plus faible tolérance au froid et à la chaleur extrêmes que les lignées sauvages (Cortemeglia et Beitinger, 2005; Cortemeglia et Beitinger 2006a; Leggatt *et al.*, 2018). Cette différence sur le plan de la tolérance au froid pourrait être attribuable à la variabilité des marqueurs fluorescents, des promoteurs, des sites d'insertion et du bagage génétique. Aucun effet sur le taux de survie n'a été relevé chez la plupart des lignées de poissons-zèbres transgéniques fluorescents, et les résultats varient en ce qui concerne les effets de la transgénèse fluorescente sur le comportement reproducteur, le succès de reproduction et les préférences en la matière, ainsi que sur la capacité à éviter la prédation (Gong *et al.*, 2003; Cortemeglia et Beitinger, 2006b; Snekser *et al.*, 2006; Jha, 2010; Hill *et al.*, 2011; Owen *et al.*, 2012; Howard *et al.*, 2015).

Espèces comparables

Aux fins de la présente évaluation, le poisson-zèbre domestiqué non transgénique a servi de comparateur pour l'organisme déclaré. On connaît aussi le poisson-zèbre sous le nom de *Danio*, *Danio* zébré et *Danio* rayé. Ce poisson tropical d'eau douce, originaire du sous-continent indien (Lessman, 2011), est un poisson d'aquarium populaire que l'on trouve dans toutes les animaleries au Canada. Sa petite taille (environ 4 cm à l'âge adulte), son régime alimentaire variable, son faible coût et le fait qu'il nécessite peu d'entretien et de soins en font un poisson d'aquarium très accessible. Le poisson-zèbre étant souvent utilisé comme espèce modèle dans la recherche scientifique, on connaît bien son historique à l'état sauvage et les effets de la domestication sur son phénotype et son génotype.

Le *Danio rerio* est une des quelque 45 espèces de *Danio* présentes en Inde, au Pakistan, au Népal, au Bangladesh, au Sri Lanka, au Myanmar, en Thaïlande, en Malaisie, à Sumatra (Indonésie) et dans la province chinoise du Yunnan (Fang, 2003). Il fait partie de la famille des cyprinidés, dans l'ordre des cypriniformes, dont font aussi partie les carpes et les vairons (Spence *et al.*, 2008). Le poisson-zèbre vit habituellement dans les étangs stagnants et les fossés peu profonds, ainsi que dans les cours d'eau à courant lent, souvent reliés à des rizières, mais pas dans les champs eux-mêmes (McClure *et al.*, 2006; Spence *et al.*, 2006; Engeszer *et al.*, 2007; Spence *et al.*, 2008).

Le poisson-zèbre est eurytherme et tolère une vaste plage de température dans son aire de répartition naturelle, soit de 6 °C en hiver à plus de 38 °C en été (Spence *et al.*, 2008; López-Olmeda et Sánchez-Vázquez, 2011; Arunachalam *et al.*, 2013; Little *et al.*, 2013). Selon des études en laboratoire, les climats tempérés inférieurs à 24 °C peuvent avoir une incidence négative sur la reproduction et induire des anomalies de développement à divers stades embryonnaires et larvaires (Schirone et Gross, 1968; Barrionuevo et Burggren, 1999; Hallare *et al.*, 2005). En outre, la reproduction à des températures extrêmes a été associée à une modification du sex-ratio chez des souches de laboratoire (Sfakianakis *et al.*, 2012). Leggatt *et al.* (2018) ont observé que le poisson-zèbre doré diminue son activité et son alimentation à 16 °C, cesse de s'alimenter à 8 °C et cesse toute activité à 7 °C. Des études sur le terrain et des études en microcosme ont montré qu'il ne survivrait pas dans des eaux à 5 °C ou moins (Cortemeglia *et al.*, 2008; Ribas et Piferrer, 2014). Leggatt *et al.* (2018) ont également noté que

les souches de recherche non transgéniques et transgéniques eGFP de poisson-zèbre ne pouvaient pas survivre à un élevage à long terme à 6 °C.

Caractérisation du milieu récepteur potentiel

Bien que les profils de température annuels des nombreux lacs et cours d'eau du Canada varient, tout comme les températures minimales et maximales moyennes, la plupart descendent à une température de 4 °C ou moins, à un moment ou à un autre de l'année, et seuls quelques lacs isolés situés dans le sud de la région côtière de la Colombie-Britannique affichent des températures minimales supérieures à cette température, qui sont parfois inférieures à 6 °C. Par conséquent, si un poisson introduit ne peut survivre à 4 °C ou moins, sa présence dans l'environnement canadien sera, au mieux, saisonnière avec de possibles poches localisées pouvant passer l'hiver (p. ex. effluents industriels, sources hydrothermales, etc., lacs isolés si le poisson peut survivre à des températures inférieures à 6 °C). Il faut toutefois préciser que les profils de température de nombreux systèmes d'eau douce peuvent être assez hétérogènes. Par exemple, les eaux souterraines peuvent contribuer à faire monter ou baisser les températures dans des zones localisées d'un plan d'eau, et les eaux près du rivage présentent généralement des températures plus extrêmes que les eaux profondes. En outre, les sources thermales et les effluents d'eau chaude peuvent entraîner la présence de zones localisées affichant tout au long de l'année des températures plus élevées que les températures canadiennes habituelles. Soulignons que la température moyenne des eaux douces de surface au Canada augmente en raison des changements climatiques, et qu'elle devrait connaître une hausse de 1,5 à 4,0 °C au cours des 50 prochaines années (MPO, 2013). Par conséquent, le nombre de lacs dans lesquels le poisson-zèbre pourrait survivre est susceptible d'augmenter.

ÉVALUATION DES RISQUES INDIRECTS POUR LA SANTÉ HUMAINE

Évaluation de l'exposition

Importations

Les poissons entreront au Canada par différents points d'entrée qui n'ont pas encore été déterminés. Les stocks de géniteurs sont conservés dans deux exploitations distinctes en Floride, où l'YZ2018 est produit selon les protocoles d'élevage standards des poissons non transgéniques. Des poissons adultes seront expédiés à des distributeurs canadiens qui les distribueront ensuite aux animaleries pour vente au grand public. La lignée déclarée sera livrée aux détaillants selon la quantité commandée, et les poissons y seront conservés jusqu'à leur vente.

Introduction de l'organisme

L'exposition la plus probable pour l'humain est le contact de l'YZ2018 avec la peau pendant le nettoyage de l'aquarium et les changements d'eau. On ne sait pas le pourcentage des aquariophiles qui sont susceptibles d'acheter l'YZ2018, mais selon une enquête de 2009, environ 12 % des ménages possèdent des poissons (Whitfield et Smith, 2014), et une autre enquête (Marson *et al.*, 2009) a révélé qu'environ 20 % des répondants avaient des danios dans leur aquarium. Aux États-Unis, où environ 8 % des personnes qui ont des animaux de compagnie possèdent des poissons (AVMA 2007), Glofish^{MD} détient environ 15 % du marché des ventes des poissons d'aquarium, selon une estimation fournie par l'entreprise (Anderson, 2017).

Devenir dans l'environnement

L'YZ2018 n'est pas destiné à être relâché dans l'environnement et sera confiné dans les aquariums domestiques et les animaleries. Le devenir de l'YZ2018 dans l'environnement au Canada dépend en grande partie des conditions environnementales, et la température de l'eau constitue le principal déterminant. Selon Rixon *et al.* (2005), la tolérance à la température est un facteur déterminant dans la capacité des poissons d'aquarium à survivre, à s'établir et à passer l'hiver dans les Grands Lacs. Le déclarant a fourni des données sur la tolérance de l'YZ2018 à la température selon lesquelles la DL₅₀ est comprise entre 5,56 °C et 5,87 °C. D'après une étude de Leggatt *et al.* (2018), la tolérance fonctionnelle minimale du poisson-zèbre transgénique se situe entre 6 °C et 8 °C, et l'eau à une température se situant entre 5,4 °C et 5,9 °C est mortelle pour plusieurs souches de poissons-zèbres transgéniques, et entraîne une forte mortalité. Contrairement à ce que l'on observe dans la région de Tampa Bay en Floride, aux États-Unis, où les poissons-zèbres représentaient moins de 2 % des poissons non indigènes capturés dans le cadre de l'enquête de 2016 sur les poissons d'ornement non indigènes (Tuckett *et al.*, 2017), les probabilités qu'une population autosuffisante d'YZ2018 s'établisse au Canada sont faibles, compte tenu de l'incapacité de l'organisme à survivre à des températures inférieures à 6 °C. Pour les mêmes raisons, il est peu probable qu'il se disperse dans l'environnement. Si des YZ2018 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 des êtres humains soient exposés à l'organisme déclaré dans l'environnement est faible.

Autres utilisations potentielles

L'YZ2018 n'est conçu que pour servir de poisson d'ornement dans les aquariums domestiques d'intérieur. Selon le déclarant, l'YZ2018 ne convient pas à une utilisation dans les bassins extérieurs, comme poisson-appât, pour la consommation humaine, ni comme sentinelle de l'environnement. Toutefois, le poisson-zèbre est un modèle important dans la recherche sur les vertébrés qui vise à mieux comprendre le développement humain, les maladies et la toxicologie (Spitsbergen et Kent, 2003; Keller et Keller, 2018). Les caractéristiques du poisson-zèbre, comme son taux de fécondité élevé, sa petite taille, la rapidité de son temps de génération et sa transparence aux premiers stades de l'embryogenèse, ont donné lieu à des études dans de nombreuses autres disciplines telles que le comportement animal, la physiologie du poisson et la toxicologie aquatique (Lawrence, 2007; Dai *et al.*, 2014; Meyers, 2018). Selon le déclarant, l'YZ2018 pourrait être utilisé comme organisme de recherche scientifique. Les poissons-zèbres non transgéniques et transgéniques ont été recommandés comme système modèle de surveillance des métaux lourds toxiques, des perturbateurs endocriniens et des polluants organiques aux fins de toxicologie (Dai *et al.*, 2014). Les poissons-zèbres pourraient en outre avoir une certaine utilité dans la lutte contre les moustiques. En effet, dans le cadre de certaines études, l'analyse du contenu du tube digestif a révélé la présence de formes larvaires aquatiques d'espèces d'insectes terrestres (Spence *et al.*, 2008).

On ne s'attend pas à ce que l'organisme déclaré soit fabriqué au Canada, l'YZ2018 n'étant produit qu'en Floride pour le moment. Mais si l'YZ2018 devait être produit au Canada, on ne prévoit aucun risque autre que ceux auxquels on s'attend d'autres poissons d'aquarium commun. Le déclarant recommande à ceux qui ne veulent plus de l'organisme après l'achat de le retourner au détaillant, de le donner à un autre aquariophile ou de l'euthanasier, sans cruauté, avec de la glace.

Caractérisation de l'exposition

Les risques liés à une exposition à l'organisme déclaré en milieu de travail ne sont pas examinés dans la présente évaluation¹. Les facteurs utilisés pour caractériser l'exposition indirecte chez l'humain sont présentés au tableau 1. Le potentiel d'exposition humaine à l'YZ2018 est évalué comme faible à moyen pour les raisons suivantes :

1. L'activité principale et la source d'exposition humaine sont l'importation de poissons YZ2018 adultes par des points d'entrée encore non identifiés au Canada.
2. Les poissons adultes YZ2018 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 de l'organisme dans l'environnement canadien n'est prévue.
3. La seule utilisation prévue de l'YZ2018 est celle de poisson 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, des personnes ayant des problèmes de santé sous-jacents, des enfants et d'autres personnes vulnérables.
4. L'exposition humaine 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 d'eau. L'exposition humaine à la suite de rejets accidentels ou délibérés dans l'environnement ne peut être exclue.
5. On ne prévoit aucune augmentation significative de l'exposition humaine découlant d'autres utilisations potentielles telles que l'utilisation comme appât, l'utilisation dans les bassins extérieurs et l'utilisation pour lutter contre les moustiques, principalement en raison du fait que la température de l'eau au Canada devrait limiter la survie de l'YZ2018 dans l'environnement.
6. Le poisson-zèbre est un modèle largement utilisé dans la recherche, ce qui ouvre la porte à diverses utilisations potentielles, telles que l'étude des maladies humaines et les diagnostics de pollution, qui pourraient entraîner une exposition humaine. Toutefois, l'exposition humaine découlant de l'utilisation de l'YZ2018 à des fins de recherche scientifique devrait avoir lieu dans des conditions de confinement et les personnes exposées devraient porter un équipement de protection individuelle. Par conséquent, la probabilité d'exposition de la population en général est faible.

Incertitude liée à l'évaluation de l'exposition à des risques indirects pour la santé humaine

Le tableau 2 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 pertinents sur les sources d'exposition et les facteurs qui influent sur l'exposition humaine, notamment

¹ La détermination du respect ou du non-respect d'un ou plusieurs des critères énoncés à l'article 64 de la LCPE s'appuie sur une évaluation des risques potentiels pour l'environnement ou la santé humaine associés à une exposition dans l'environnement général. Pour l'humain, cela comprend, sans toutefois s'y limiter, l'exposition par l'air, l'eau et l'utilisation de produits contenant les substances en question. Une conclusion établie en vertu de la LCPE peut ne pas être pertinente pour une évaluation en fonction des critères énoncés dans le *Règlement sur les produits dangereux*, 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. Elle n'empêche pas non plus une telle évaluation.

l'importation, la vente au détail et la survie de l'YZ2018 dans l'environnement. On y apprend que l'organisme déclaré ne sera pas produit au Canada et que la source d'exposition se limite à l'importation du poisson YZ2018. La survie de ces poissons devrait être limitée du fait de leur faible tolérance aux températures inférieures à 6 °C. Des données empiriques montrent que la lignée déclarée est moins tolérante au froid que la lignée non transgénique de *D. rerio*. Au Canada, l'exposition humaine (grand public et personnes vulnérables [p. ex. personnes immunodéficientes, enfants, personnes ayant des problèmes de santé, etc.]) devrait se produire au moment de l'entretien et du nettoyage des aquariums domestiques. À l'heure actuelle, on ignore le nombre d'individus de l'organisme déclaré qui seront importés. Par conséquent, puisqu'on possède peu de renseignements sur les importations futures et la pénétration du produit sur le marché, et sur les scénarios d'exposition des Canadiens qui possèdent un aquarium à la maison, l'exposition humaine à l'organisme déclaré est jugée **faible à moyenne** avec un niveau d'incertitude **modéré**.

Tableau 1. Considérations relatives à l'exposition (risques indirects pour la santé humaine).

EXPOSITION	CONSIDÉRATIONS
Élevée	<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. • Chez l'humain exposé, 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 et/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, certaines populations vulnérables peuvent y être exposées. • Chez l'humain exposé, 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 le 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.

Tableau 2. Classement de l'incertitude associée à l'exposition à des risques indirects pour la santé humaine.

Classement de l'incertitude	Renseignements disponibles
Négligeable	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.
Faible	Données de grande qualité sur 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 ou à des substituts valides. Signes de variabilité.
Modérée	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.
Élevée	Importantes lacunes dans les connaissances. Dépendance importante à l'égard de l'opinion d'experts.

Évaluation des dangers

Potentiel zoonotique

Des recherches internes dans la littérature scientifique n'ont permis de recenser aucun signalement de zoonose ou d'effets nocifs attribuables à l'YZ2018 ou à l'espèce non transgénique de *D. rerio* domestiquée. 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 potable contaminés par des 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 le milieu aquatique et qui agissent comme pathogènes opportunistes découlant du 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 espèces bactériennes les plus courantes chez les poissons tropicaux qui peuvent causer des maladies humaines sont : *Aeromonas* 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.

Aucun signalement n'associe spécifiquement l'organisme déclaré à des parasites ayant des effets significatifs sur la santé humaine. En 2010, un échantillon de poissons-zèbres orange a été examiné dans un laboratoire de diagnostic de maladies du poisson de l'Université de 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. Cette évaluation n'a révélé aucune anomalie, à l'exception d'un nombre faible à modéré de parasites externes *Piscinoodinium* chez quatre poissons, et d'un nombre élevé chez les deux autres poissons. Les poissons non transgéniques n'ont pas été examinés, mais il est indiqué dans le rapport que l'infection parasitaire n'était pas liée à la modification génétique, ce parasite n'étant pas rare chez les poissons ornementaux (Florindo *et al.*, 2017; Trujillo-González *et al.*, 2018). De plus,

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 d'agar sanguin. L'examen histologique a révélé des gouttelettes protéiques dans les cellules épithéliales tapissant les tubules rénaux, qui représentent probablement un processus métabolique normal, ou un artéfact de la fixation et la coloration. Il s'agissait d'un échantillon limité, mais aucune lésion pathologique significative n'a été observée chez l'un ou l'autre des six poissons.

Allergénicité et toxicité

L'analyse interne de la séquence d'acides aminés de la protéine fluorescente effectuée au moyen de la base de données [AllergenOnline](#) (v19; 10 février 2019, en anglais seulement) n'a révélé aucune correspondance présentant une identité supérieure à 35 % pour les segments de 80 acides aminés, et aucune correspondance exacte pour les segments de 8 acides aminés. Des analyses ont été effectuées pour les six cadres de lecture ouverts. 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 du transgène n'ont révélé aucune similitude notable avec des toxines ou des allergènes connus. De même, une analyse documentaire interne n'a révélé aucun effet nocif attribuable aux protéines chez les humains. En outre, rien n'indique que l'YZ2018, ou le *D. rerio*, pourraient produire des matières toxiques ou d'autres matières dangereuses susceptibles de s'accumuler dans l'environnement ou d'être consommées par d'autres organismes dans l'environnement.

Historique d'utilisation

L'YZ2018 est commercialisé en tant que poisson d'aquarium depuis 2012 partout aux États-Unis, sauf en Californie, où il est commercialisé depuis 2015. Aucun cas d'effets nocifs sur la santé humaine n'a été signalé jusqu'à maintenant. La souche mère *D. rerio* a été importée pour la première fois en Europe comme poisson d'aquarium domestique au début des années 1900, et est utilisée comme modèle de recherche depuis les années 1930 (Clark et Ekker, 2015) et la littérature scientifique ne fait état d'aucun incident ayant entraîné des effets indésirables sur la santé humaine.

Caractérisation du danger

Le système de classement utilisé pour déterminer les risques indirects pour la santé humaine associés à l'organisme déclaré et présenté au tableau 3. Le risque que présente l'YZ2018 pour la santé humaine est jugé faible pour les raisons suivantes :

- 1) L'YZ2018 est un poisson tropical génétiquement modifié contenant de multiples copies de la construction transgénique dans un seul site d'insertion, laquelle est intégrée de manière stable, comme le confirment des PCR quantitatives et de multiples croisements.
- 2) Les méthodes utilisées pour produire l'organisme déclaré ne soulèvent aucune préoccupation indirecte pour la santé humaine. Bien que l'un des organismes sources utilisés pour l'insertion de matériel génétique semble produire des toxines, rien n'indique que le matériel génétique introduit ou la protéine fluorescente sont 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 et des enfants, aucun cas n'est spécifiquement attribuable à l'organisme déclaré ni à

l'organisme non transgénique, et rien n'indique que l'organisme déclaré pourrait avoir des capacités vectorielles supérieures à celles de l'organisme non transgénique.

- 4) Les identités de séquence du transgène inséré ou de toute protéine qui pourrait s'exprimer à partir de la construction ne correspondent à aucun allergène connu ni aucune toxine connue.
- 5) La lignée déclarée a un historique d'utilisation sans danger aux États-Unis, tout comme l'espèce non transgénique en tant que poisson d'ornement et modèle de recherche partout dans le monde, et aucun effet nocif indirect pour la santé humaine n'est signalé dans la littérature.

Incertitude liée à l'évaluation des dangers indirects pour la santé humaine

Le tableau 4 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 de l'organisme déclaré. D'autres renseignements appropriés ont été fournis sur les méthodes utilisées pour modifier génétiquement le *D. rerio* non transgénique, sur la source du matériel génétique employé ainsi que sur la stabilité du génotype et du phénotype qui en résultent. L'analyse de la séquence du matériel génétique inséré ne correspondait à aucune toxine ni aucun allergène, et aucun effet nocif attribuable à la protéine fluorescente orange n'a été signalé chez les humains.

Bien qu'aucun effet nocif directement attribuable à l'organisme déclaré n'ait été signalé chez l'humain, des renseignements sur des substituts trouvés dans la littérature 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 poisson-zèbre. Après plus de cinq ans de production commerciale de l'YZ2018 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 l'organisme déclaré, 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 l'YZ2018 pour la santé humaine sont jugés **faibles** avec un niveau d'incertitude **faible**. 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 du poisson d'ornement transgénique fluorescent sur la santé humaine n'a été réalisée.

Tableau 3. Considérations relatives à la gravité des dangers (indirects pour la santé humaine).

Classement du danger	Considérations
Élevé	<ul style="list-style-type: none"> • Les effets chez l'humain en bonne santé sont graves, durent longtemps et/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.
Moyen	<ul style="list-style-type: none"> • Les effets indirects sur la santé humaine devraient être modérés, mais rapidement résolus chez les personnes en bonne santé et/ou il existe des traitements prophylactiques efficaces. • Risque possible d'effets à l'échelle de la communauté.

Classement du danger	Considérations
Faible	<ul style="list-style-type: none"> Aucun effet indirect 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.

Tableau 4. Classement de l'incertitude liée aux dangers indirects pour la santé humaine.

Classement de l'incertitude	Description
Négligeable	<ul style="list-style-type: none"> Il existe de nombreux signalements d'effets indirects 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 indirects sur la santé des personnes exposées à l'organisme a fait l'objet d'une surveillance et aucun effet n'a été signalé.
Faible	<ul style="list-style-type: none"> Il existe quelques signalements d'effets indirects sur la santé humaine liés au danger, et la nature et la gravité des effets signalés sont relativement cohérentes; OU Aucun effet indirect sur la santé humaine n'a été signalé et aucun effet lié au danger n'a été signalé chez d'autres mammifères.
Modérée	<ul style="list-style-type: none"> Il existe quelques signalements d'effets indirects sur la santé humaine qui peuvent être liés au danger, mais la nature et la gravité des effets signalés sont variables; OU Des effets liés au danger ont été signalés chez d'autres mammifères, mais pas chez l'humain.
Élevée	<ul style="list-style-type: none"> 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).

Caractérisation des risques

Utilisation déclarée

Dans la présente évaluation, le risque est caractérisé en fonction du paradigme selon lequel un danger et une exposition à ce danger sont nécessaires pour qu'un risque existe. 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. L'YZ2018 est une lignée génétiquement modifiée de poissons-zèbres orange fluorescent dérivés d'une lignée de poissons-zèbres dorés sans rayures. La couleur jaune-orange résulte de l'insertion d'une cassette d'expression contenant la séquence du gène d'une protéine fluorescente provenant d'une espèce de corail. L'organisme déclaré sera commercialisé partout au Canada en tant que poisson d'ornement pour les aquariums domestiques.

Bien que des cas d'infections zoonotiques liées à une exposition à des poissons d'aquarium aient été signalés, le poisson-zèbre présente un long historique d'utilisation sans risque et sans aucun cas signalé d'infection zoonotique dans la littérature sur le commerce du poisson

d'ornement d'aquarium. De même, la lignée déclarée est maintenue comme lignée généalogique depuis plus de cinq générations et produite commercialement depuis plus de cinq ans aux États-Unis sans que des effets indésirables aient été signalés. De plus, le gène de la protéine fluorescente inséré et les méthodes utilisées pour modifier la lignée déclarée ne présentent aucun potentiel pathogène ou toxique pour l'humain.

Au vu du potentiel de danger faible et du potentiel d'exposition faible à modéré, le risque pour la santé humaine associé à l'utilisation du *D. rerio* YZ2018 comme poisson d'ornement d'aquarium est jugé faible.

Autres utilisations possibles

Parmi les autres utilisations possibles, mentionnons l'utilisation de l'organisme déclaré dans les bassins extérieurs, comme poisson-appât, et pour la recherche scientifique. Le déclarant écarte la possibilité de certaines de ces utilisations, mais les caractéristiques de l'organisme déclaré ne les excluent pas. Il est possible que l'organisme déclaré soit utilisé comme poisson-appât et, lorsque les températures sont favorables, qu'il soit aussi conservé dans des bassins extérieurs, comme c'est le cas en Floride où le poisson est produit. Le poisson-zèbre est un modèle de recherche couramment utilisé, mais d'éventuelles activités de recherche se dérouleraient dans un milieu confiné, ce qui limiterait l'exposition du grand public. Les publications scientifiques ne font état d'aucun cas où l'organisme signalé aurait été utilisé comme sentinelle 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. Aucun risque pour la santé humaine autre que ceux des autres poissons d'aquarium habituels n'est à prévoir.

Conclusion de l'évaluation des risques

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 du *D. rerio* YZ2018 comme poisson d'ornement d'aquarium ou de toute autre utilisation potentielle. Selon toute vraisemblance, le risque pour la santé humaine associé à l'utilisation du *D. rerio* YZ2018 ne répond pas aux critères énoncés à l'alinéa 64c) de la LCPE (1999). Aucune autre mesure n'est recommandée.

ÉVALUATION DES RISQUES POUR L'ENVIRONNEMENT

Évaluation de l'exposition

L'évaluation de l'exposition dans le cas du YZ2018 vivant aborde à la fois la probabilité qu'il pénètre dans l'environnement (rejet) et son devenir une fois dans l'environnement. La probabilité et l'ampleur de l'exposition environnementale sont déterminées au moyen d'une évaluation exhaustive qui détaille le potentiel de rejet, de survie, de persistance, de reproduction, de prolifération et de propagation dans l'environnement canadien. Le tableau 5 présente le classement des probabilités d'exposition de l'environnement canadien.

L'absence de données empiriques sur la survie, la valeur adaptative et la capacité de reproduction de l'YZ2018 dans l'environnement naturel introduit une certaine incertitude dans l'évaluation de l'exposition. L'incertitude relative au devenir d'un organisme dans l'environnement peut dépendre de la disponibilité et de la qualité des données scientifiques sur les paramètres biologiques et écologiques de l'organisme, les substituts valides et le milieu récepteur. Le tableau 6 présente le classement de l'incertitude associée à la probabilité de présence de l'organisme et à son devenir dans l'environnement canadien.

Tableau 5. Classement de la probabilité d'exposition de l'environnement canadien à des poissons génétiquement modifiés.

Classement de l'exposition	Évaluation
Probabilité négligeable	Aucune présence; non observé dans l'environnement canadien ¹
Probabilité faible	Présence rare et isolée; présence éphémère
Probabilité modérée	Présence fréquente, mais seulement à certaines périodes de l'année ou dans des régions isolées
Probabilité élevée	Présence fréquente tout au long de l'année et/ou dans des régions diffuses

¹Extrêmement improbable ou imprévisible

Tableau 6. Classement de l'incertitude associée à la probabilité de présence de l'organisme et à son devenir dans l'environnement canadien (exposition environnementale)

Classement de l'incertitude	Renseignements disponibles
Négligeable	Données de grande qualité sur l'organisme (p. ex. stérilité, tolérance aux températures, valeur adaptative). Données sur les paramètres environnementaux du milieu récepteur et au point d'entrée. Preuve de l'absence d'interactions des génotypes selon l'environnement (G x E), ou parfaite compréhension des effets de ces interactions dans les conditions environnementales pertinentes. Signes d'une faible variabilité.
Faible	Données de grande qualité sur les organismes apparentés ou sur des substituts valides. Données sur les paramètres environnementaux du milieu récepteur. Compréhension des effets possibles des interactions G x E dans les conditions environnementales pertinentes. Signes de variabilité.
Modérée	Données limitées sur l'organisme, sur des organismes apparentés ou sur des substituts valides. Données limitées sur les paramètres environnementaux dans le milieu récepteur. Lacunes dans les connaissances. Évaluation reposant en partie sur l'historique d'utilisation ou l'expérience avec des populations dans d'autres zones géographiques où les conditions environnementales sont semblables à celles du Canada ou meilleures.
Élevée	Importantes lacunes dans les connaissances. Évaluation reposant largement sur l'opinion d'experts.

Probabilité de rejet

Bien que l'organisme soit destiné à la vente sur le marché des poissons d'ornement et que la plupart des amateurs qui achètent le produit suivent les instructions d'élimination recommandées par le détaillant ou l'entreprise elle-même, il est fort probable que l'YZ2018 sera introduit dans l'environnement canadien. De nombreux poissons d'aquarium se sont établis dans des milieux naturels en Amérique du Nord, et il semble que le rejet de poissons

d'aquarium dans l'environnement est une pratique courante et continue, comme en témoignent les cas récurrents, mais isolés de poissons d'aquarium observés dans les eaux canadiennes (Dumont *et al.* 2002). Une fois l'organisme vendu au détail, il n'est plus sous le contrôle direct de l'importateur; il n'y a donc aucune garantie que les poissons seront adéquatement confinés et éliminés par la suite. Par conséquent, la mesure dans laquelle l'environnement sera exposé à l'organisme dépendra fortement de la capacité du poisson à survivre et à se reproduire dans les lacs et les rivières du Canada.

Probabilité de survie

La température de l'eau est un facteur abiotique clé qui influe sur la survie et la production de la plupart des populations de poissons d'eau douce; c'est aussi un facteur important dans la qualité de l'habitat (Magnuson *et al.*, 1979; Jobling, 1981; Amiro, 2006; Elliott et Elliott, 2010). Comme le poisson-zèbre est une espèce tropicale, il ne devrait pas pouvoir survivre dans une région tempérée où la température de l'eau est inférieure à la température requise pour sa survie. Le poisson-zèbre tolère de grandes variations thermiques dans son aire de répartition naturelle, soit de 6 °C en hiver à plus de 38 °C en été (Spence *et al.*, 2008; López-Olmeda et Sánchez-Vázquez, 2011; Arunachalam *et al.*, 2013; Little *et al.*, 2013). Les données recueillies par le MPO sur la capacité potentielle du poisson-zèbre transgénique adulte à survivre à l'hiver canadien montrent que la température létale se situe entre 6,6 °C et 4,8 °C chez le poisson-zèbre doré, mais les larves et les jeunes peuvent réagir différemment. Les lignées de poissons-zèbres non transgéniques et transgéniques produites pour la recherche perdent l'équilibre en moyenne entre 5,38 °C et 5,90 °C, et ne peuvent survivre à l'élevage à long terme (c.-à-d. plus d'une semaine) à 6 °C (Leggatt *et al.*, 2018).

Aucun lac au Canada ne présente des températures constamment supérieures à 7 °C toute l'année ou à 6 °C pendant plusieurs années, et rares sont ceux dont la température demeure au-dessus de 4 °C tout au long de l'année (Leggatt *et al.*, 2018). Par conséquent, même si les températures nécessaires à la survie de l'YZ2018 sont possibles dans plusieurs lacs canadiens au cours du printemps, de l'été et de l'automne, il est très peu probable que l'YZ2018 puisse survivre à l'hiver canadien. Au mieux, sa présence dans l'environnement serait saisonnière ou éphémère.

Probabilité de reproduction

Des occasions de reproduction isolées pourraient se produire dans certains écosystèmes d'eau douce qui affichent des températures de l'ordre de 25 à 30 °C pendant une partie des mois d'été. Même si les œufs fécondés qui ne sont pas dévorés par des prédateurs pouvaient éclore après un délai relativement court (environ 50 heures), toute progéniture aurait besoin d'au moins 2,5 mois pour arriver à maturation à des températures optimales (28 °C), qui ne sont pas atteintes de façon saisonnière dans les lacs du Canada. Ainsi, les YZ2018 nés pendant les mois chauds (c.-à-d. à la fin de juillet et en août) n'arriveraient pas à maturité avant l'arrivée de températures plus froides (p. ex. en septembre), et ne survivraient probablement pas à l'hiver. Il n'y aurait donc plus d'YZ2018 jusqu'à la prochaine introduction.

Probabilité de prolifération et de dissémination

L'YZ2018 ne peut proliférer et se disséminer dans l'environnement canadien, puisque le poisson-zèbre ne peut survivre à l'hiver. Mentionnons que les spécimens d'YZ2018 relâchés occuperaient probablement des zones proches du rivage, d'après ce que l'on sait de leur habitat de prédilection dans la nature. On s'attend à ce que ces zones présentent des variations de températures plus extrêmes que les eaux profondes ou la partie médiane des lacs, qui servent souvent de sources aux mesures de la température de l'eau (Trumpikas *et al.*, 2015).

Les températures hivernales peuvent donc être plus froides que ne l'indiquent les données enregistrées, ce qui réduirait d'autant plus le potentiel d'hivernage de l'YZ2018.

Conclusions de l'évaluation de l'exposition

Au vu de l'analyse ci-dessus, la présence de l'YZ2018 dans l'environnement canadien devrait être rare, isolée et éphémère, et ne représenter que peu d'individus. Par conséquent, la probabilité d'exposition de l'environnement canadien au YZ2018 est jugée **faible** (voir le tableau 5). L'incertitude associée à cette estimation est **faible** (tableau 6), compte tenu de la qualité des données disponibles sur l'YZ2018 et sur les substituts valides (températures tolérées), ainsi que des données dont on dispose sur les paramètres environnementaux du milieu récepteur au Canada.

Le déclarant indique que la seule utilisation prévue de l'organisme déclaré est celle de poisson d'ornement d'intérieur destiné aux aquariums domestiques fixes. Toutefois, une fois le poisson acheté par les consommateurs, la possibilité d'autres utilisations non prévues ne peut être écartée (voir Évaluation des risques – Risques indirects pour la santé humaine, sous-section Autres utilisations potentielles). Certaines utilisations non prévues pourraient mener à la libération de poissons-zèbres YZ2018, mais elles ne devraient pas modifier la capacité de cet organisme à passer l'hiver dans un environnement canadien, ni le faible niveau d'exposition de l'environnement à cet organisme.

L'évolution des courbes de température de l'eau liée au changement climatique mondial pourrait accroître l'incertitude concernant l'évaluation de la capacité de l'organisme déclaré à survivre, à se reproduire, à proliférer et à se disséminer dans les écosystèmes d'eau douce canadiens.

Niveau d'incertitude lié à l'évaluation de l'exposition

L'incertitude associée à l'évaluation de l'exposition est faible (tableau 6), compte tenu de la qualité des données disponibles sur l'YZ2018 et sur les substituts valides (températures minimales tolérées), ainsi que des données dont on dispose sur les paramètres environnementaux du milieu récepteur au Canada (voir le tableau 6).

Évaluation du danger

L'évaluation du danger vise à déterminer les effets qui pourraient découler d'une exposition environnementale à l'YZ2018. Dans le cadre de ce processus, on tient compte des différentes façons dont l'organisme pourrait entraîner un danger, notamment la toxicité pour l'environnement (si l'organisme a des propriétés toxiques), la transmission de gènes, les interactions avec d'autres organismes, la capacité d'agir comme vecteur de pathogènes, et la capacité d'influer sur des composantes de l'environnement (p. ex., l'habitat, le cycle des éléments nutritifs, la biodiversité). Dans le tableau 7, le classement de la gravité des conséquences biologiques est décrit en fonction de la gravité et de la réversibilité des effets sur la structure et la fonction de l'écosystème. Le niveau d'incertitude relatif à chaque niveau de danger est décrit au tableau 8.

Tableau 7. Classement du danger pour l'environnement découlant de son exposition à l'organisme.

Classement du danger	Évaluation
Négligeable	Aucun effet ¹
Faible	Aucun effet nocif ²

Classement du danger	Évaluation
Modéré	Effets nocifs réversibles
Élevé	Effets nocifs irréversibles

¹Aucune réponse biologique n'est attendue au-delà de la variabilité naturelle.

²Effet nocif : effet négatif immédiat ou à long terme sur la structure ou la fonction de l'écosystème, y compris la diversité biologique (au-delà de la variabilité naturelle).

Tableau 8. Classement de l'incertitude associée au danger pour l'environnement

Classement de l'incertitude	Renseignements disponibles
Négligeable	Données de grande qualité sur l'organisme déclaré. Preuve de l'absence d'effets des interactions G x E ou parfaite compréhension de ces derniers dans les différentes conditions environnementales pertinentes. Signes d'une faible variabilité.
Faible	Données de grande qualité sur des organismes apparentés ou des substituts valides de l'organisme déclaré. Compréhension des effets des interactions G x E dans les différentes conditions environnementales pertinentes. Signes de variabilité.
Modérée	Données limitées sur l'organisme déclaré, ou sur des organismes apparentés ou des substituts valides de celui-ci. Compréhension limitée des effets des interactions G x E dans les différentes conditions environnementales pertinentes. Lacunes dans les connaissances. Dépendance à l'égard de l'opinion des experts.
Élevée	Importantes lacunes dans les connaissances. Dépendance importante à l'égard de l'opinion des experts

Dangers potentiels liés à la toxicité pour l'environnement

Les voies potentielles de toxicité pour l'environnement comprennent une exposition des écosystèmes aquatiques à l'animal entier et à ses déjections, ainsi que l'ingestion de l'YZ2018 par des prédateurs. L'exposition de l'environnement à la protéine fluorescente devrait être plus faible que l'exposition à l'YZ2018 en tant que tel, mais les différentes voies d'exposition ne sont pas forcément comparables. Les protéines fluorescentes sont souvent utilisées comme marqueurs neutres dans la recherche scientifique, et ce chez une large gamme d'organismes, et très peu d'effets toxiques ont été observés dans le cadre de cette utilisation (Stewart, 2006). Les rares effets négatifs relevés étaient généralement propres aux organismes transgéniques ayant un niveau d'expression élevé des transgènes fluorescents (Huang *et al.*, 2000; Devgan *et al.*, 2004; Guo *et al.*, 2007). Les effets toxiques observés chez les organismes hôtes sont probablement attribuables à la production de protéines dans la cellule hôte, et de tels effets ne devraient pas découler d'une exposition par contact ou par ingestion.

La déclaration comprend un rapport analysant l'allergénicité de la séquence d'acides aminés de la protéine fluorescente sur [Allermatch \(en anglais seulement\)](#). Cette analyse n'a révélé aucune similitude fonctionnelle avec des séquences d'acides aminés allergènes connues pour les humains. Après plusieurs années de production commerciale aux États-Unis, aucun effet toxique découlant d'une exposition à l'YZ2018 n'a été signalé. Par conséquent, le danger potentiel pour l'environnement lié à la toxicité de l'YZ2018 pour l'environnement est jugé **négligeable**. Le niveau d'incertitude associé à ce classement est **modéré**, en raison du manque de données directes concernant l'organisme déclaré ou des substituts de celui-ci, ainsi que du recours à des données empiriques et à des preuves indirectes concernant d'autres organismes.

Dangers potentiels liés à la transmission horizontale de gènes

La transmission horizontale des gènes (THG) consiste en l'échange non sexuel de matériel génétique entre des organismes de la même espèce ou des espèces différentes (MPO, 2006). Les voies d'exposition de nouveaux organismes (vraisemblablement des procaryotes) à de l'ADN transgénique libre peuvent comprendre l'exposition à l'intérieur des intestins de l'YZ2018 et l'exposition aux excréments, au mucus et aux autres déchets rejetés dans l'eau par le poisson. La construction transgénique ne contient pas de vecteurs viraux, d'éléments transposables ou d'autres facteurs connus qui peuvent accroître le potentiel d'absorption ou de mobilité de l'ADN chez un nouvel organisme. L'expression du transgène en un changement phénotypique nécessite une transmission concomitante d'éléments régulateurs. Une forte proximité des promoteurs aux gènes pourrait accroître la probabilité de transmission concomitante et d'expression, mais les promoteurs des vertébrés présentent généralement une faible activité chez les procaryotes.

Des gènes codants pour des protéines fluorescentes ont été introduits dans un large éventail d'organismes et, pour la plupart, aucun effet nocif du transgène fluorescent introduit n'a été signalé. Cela indique que l'introduction du transgène par THG dans un nouvel hôte ne devrait pas avoir d'effets nocifs. Même si l'introduction d'un transgène fluorescent par THG dans un nouvel organisme présent dans un environnement canadien ne peut être exclue, le danger est jugé **faible** en raison de l'absence d'effets nocifs liés à une telle introduction. Bien que le transgène soit bien défini, le niveau d'incertitude est **modéré** en raison de la connaissance limitée de l'emplacement du transgène dans le génome du poisson-zèbre, et de l'absence d'études portant sur la THG du transgène et ses conséquences.

Dangers potentiels liés aux interactions avec d'autres organismes

Si des YZ2018 étaient relâchés dans l'environnement, ils pourraient interagir avec d'autres organismes présents dans les écosystèmes d'eau douce canadiens, dont de possibles proies, concurrents et prédateurs. Dans le commerce des poissons d'aquarium, on dit généralement du poisson-zèbre qu'il est robuste. Toutefois, il s'agit d'une espèce non agressive, et comme ses niveaux d'activité et d'alimentation diminuent quand la température baisse, son incidence sur ses proies et ses concurrents est probablement réduite également. Par conséquent, les possibles répercussions négatives d'YZ2018 sur des espèces aquatiques indigènes, proies ou concurrentes, devraient être négligeables presque toute l'année, et ne pas être plus grandes que celles des autres petites espèces de poissons pendant les mois d'été.

Des YZ2018 relâchés constitueraient de nouvelles proies, et risquent donc aussi d'avoir une incidence sur les populations indigènes de prédateurs. Ils pourraient avoir un effet positif sur ces populations en fournissant une nouvelle source d'approvisionnement en nourriture, ou un effet négatif si l'ingestion d'YZ2018 cause des effets nocifs. Ce dernier cas est improbable, puisque l'YZ2018 ne devrait pas être toxique pour l'environnement et que les protéines fluorescentes ne devraient pas être toxiques pour les organismes qui l'ingèrent. La baisse du

niveau d'activité de l'YZ2018 liée à la diminution de la température peut le rendre plus vulnérable à la prédation en dehors des mois d'été, car il peut devenir plus lent à réagir à la présence de prédateurs que les espèces indigènes similaires qui sont adaptées à un climat tempéré. D'après le modèle du poisson-zèbre RFP, l'incidence du transgène fluorescent varie d'une étude à l'autre et peut être influencée par la lignée transgénique (c.-à-d. le point d'insertion dans le génome), la complexité de l'habitat, le bagage génétique et l'historique d'élevage.

Compte tenu du comportement non agressif du poisson-zèbre et de sa baisse d'activité dans les eaux froides, l'YZ2018 ne devrait pas influencer les interactions trophiques des organismes indigènes au-delà des fluctuations naturelles, et des dangers négligeables qui y sont associés, par rapport à ses homologues non transgéniques. Malgré le fait qu'aucune étude ne porte directement sur les dangers de l'YZ2018, le niveau d'incertitude est **modéré** en raison des données disponibles sur un substitut valide (le poisson-zèbre RFP), et de la faible compréhension des interactions G x E dans la vulnérabilité à l'agression et à la prédation chez un autre modèle de poisson-zèbre fluorescent transgénique.

Dangers potentiels liés à l'hybridation avec des espèces indigènes

Plusieurs autres espèces ont en commun le genre *Danio* (Fang, 2003). Le poisson-zèbre se reproduit en dispersant ses œufs, donc il pourrait s'hybrider avec d'autres espèces qui fraient en même temps et au même endroit. Le déclarant indique que des hybrides interspécifiques ont été observés entre les espèces *D. rerio* et *D. albolineatus* (synonyme : *Brachydanio albolineatus*, nom courant : [danio perlé](#) (en anglais seulement) (Axelrod et Vorderwinkler, 1976), qui proviennent aussi du sous-continent indien. Bien qu'on ait observé l'hybridation de deux espèces semblables, l'hybride F1 est stérile.

Plusieurs genres de poissons de la famille des cyprinidés sont présents au Canada, mais on ne sait pas si certains ont pu se reproduire avec succès avec le poisson-zèbre. Il y a peu de chance que des croisements se produisent, étant donné la probable différenciation génétique et adaptative entre les espèces indigènes canadiennes et le poisson-zèbre. Toute hybridation intergénérique serait stérile, comme c'est le cas de l'hybridation avec l'espèce *D. albolineatus*, qui est plus proche du poisson-zèbre. Par conséquent, le risque que l'YZ2018 présente un danger en raison d'une hybridation viable avec un poisson indigène au Canada est **négligeable**. Le niveau d'incertitude **modéré** associé à ce classement découle de la grande qualité des données sur la répartition des poissons de la famille des cyprinidés, et du manque de données sur les possibilités réelles d'hybridation intrafamiliale.

Dangers potentiels en tant que vecteur d'agents pathogènes

Les agents pathogènes sont courants chez les poissons tropicaux d'eau douce utilisés comme poissons d'ornement, dont le poisson-zèbre, qui figure sur une liste de seulement quelques espèces (p. ex., le poisson rouge, le gobie tank, le guppy et le gourami bleu) comme espèce susceptible aux maladies pouvant avoir des répercussions importantes sur la santé des animaux aquatiques et sur l'économie canadienne selon l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA). En 2012, l'ACIA a inscrit le poisson-zèbre sur sa [liste d'espèces vulnérables](#) parce qu'il serait à risque d'être un vecteur de la virémie printanière de la carpe (VPC), une maladie hémorragique des poissons à nageoires d'eau douce. Cependant, aucune infection naturelle de la VPC n'a été signalée chez le poisson-zèbre, y compris à l'état sauvage, dans le milieu des amateurs et en laboratoire (Hanwell *et al.*, 2016). Comme le principal mode d'entrée de l'YZ2018 sera l'importation des États-Unis, l'ACIA jouera un rôle crucial dans la réglementation des agents pathogènes de l'espèce *Danio rerio* qui sont importés au Canada. En général, l'ACIA est responsable, dans le cadre du Programme national sur la santé des animaux aquatiques, d'appliquer le *Règlement sur la santé des animaux* en ce qui concerne les

importations de *Danio rerio*, qui exigent un permis d'importation relatif à la santé des animaux aquatiques et un certificat d'exportation zoosanitaire des États-Unis. Ces mesures de protection à l'importation réduisent les risques d'introduction d'organismes nuisibles et de maladies associés à cette espèce au Canada. De plus, il est attendu que tous les agents pathogènes que l'YZ2018 porterait seraient d'origine tropicale et/ou persisteraient dans des eaux chaudes qu'on trouve normalement dans les aquariums domestiques (p. ex., 25 °C à 28 °C), et auraient peu de chance de persister tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'YZ2018 une fois celui-ci relâché dans les milieux d'eau douce canadiens. Le poisson-zèbre peut être infecté par des agents pathogènes qu'on trouve en eau froide dans le cadre de procédures expérimentales (p. ex., la VPC), mais la vulnérabilité du poisson-zèbre aux agents pathogènes présents au Canada dans des conditions naturelles est inconnue.

La possibilité que la capacité de l'YZ2018 et d'autres organismes fluorescents transgéniques à agir comme vecteur d'agents pathogènes soit modifiée n'a pas été examinée. Une vulnérabilité accrue aux maladies peut accroître la capacité d'un organisme à agir comme vecteur, car il peut contenir et propager plus d'agents pathogènes. En revanche, cette vulnérabilité peut aussi réduire sa capacité à agir comme vecteur, si l'organisme succombe rapidement à la maladie. Certaines études réalisées avec des modèles de cellules fluorescentes cultivées utilisées en recherche ont révélé une possible modification de la vulnérabilité aux maladies. Par exemple, l'expression de la GFP a réduit l'activation des lymphocytes T (Koelsch *et al.*, 2013), stimulé la sécrétion de cytokine IL-6 (Mak *et al.*, 2007), inhibé les voies de signalisation liées au système immunitaire (Baens *et al.*, 2006) et modifié l'expression de gènes liés à la fonction immunitaire (Coumans *et al.*, 2014) et à la réaction au stress (Badrian et Bogoyevitch, 2007). La question de savoir si ces modifications se produiraient chez des modèles d'animaux fluorescents transgéniques complets n'a pas été examinée. Le poisson-zèbre fluorescent a été utilisé à grande échelle aux fins de la recherche en laboratoire, sans qu'aucun effet sur la vulnérabilité aux maladies n'ait été signalé. L'YZ2018 présente donc un potentiel **négligeable** de modification des capacités de vecteur par rapport au poisson-zèbre non transgénique. Comme ce paramètre n'a pas été directement observé chez l'YZ2018, qu'il existe peu de données sur un substitut valide et qu'on doit compter sur l'avis d'experts, le niveau d'incertitude pour ce classement est **modéré**.

Dangers potentiels pour le cycle biogéochimique

L'YZ2018 devrait contribuer aux cycles des nutriments dans les habitats par l'ingestion de proies et d'autres aliments, et par le rejet de déchets (ammoniacque et excréments). Les effets potentiels de la protéine fluorescente de l'YZ2018 sur le métabolisme, et donc sur le cycle des nutriments, n'ont pas été examinés. Dans une étude menée avec un organisme modèle différent, des souris eGFP transgéniques ont présenté des modifications sur le plan du cycle de l'urée, du métabolisme de l'acide nucléique et de l'acide aminé, et de l'utilisation de l'énergie (Li *et al.*, 2013). Nous ne savons pas quels effets ces modifications pourraient avoir sur le cycle biogéochimique si les YZ2018 subissaient les mêmes influences liées à l'expression génique du transgène fluorescent, mais la petite taille du poisson-zèbre et le faible nombre de spécimens qui pourraient se retrouver dans un écosystème semblent indiquer que le danger pour le cycle biogéochimique dans un environnement naturel sera **négligeable**, même en cas de modification des voies métaboliques. Le niveau d'incertitude est **modéré** en raison du manque d'études portant expressément sur ce danger.

Dangers potentiels pour l'habitat

Le poisson-zèbre est un petit poisson qui ne construit pas de nid ni d'autres structures pouvant avoir des répercussions sur les habitats d'autres espèces. L'YZ2018 est utilisé dans le commerce des poissons d'ornement destinés aux aquariums depuis 2012, et aucun cas,

anecdotique ou autre, de modification du comportement pouvant influencer la structure de l'habitat n'a été relevé chez l'YZ2018 par rapport au poisson-zèbre rouge. Par conséquent, l'YZ2018 devrait avoir des répercussions **négligeables** sur l'habitat, et le niveau d'incertitude concernant ce classement est **faible**.

Dangers potentiels pour la biodiversité

La diversité biologique (ou biodiversité) peut être négativement touchée par de nombreux facteurs, y compris par les espèces envahissantes et l'introduction de maladies. Malgré l'utilisation de longue date du poisson-zèbre dans le commerce des poissons d'ornement destinés aux aquariums et comme modèle pour la recherche, et sa présence répétée dans les écosystèmes, il n'a jamais été signalé comme devenant envahissant en Amérique du Nord, en Europe ou ailleurs dans le monde. Comme indiqué précédemment, l'YZ2018 ne devrait pas avoir de répercussions négatives sur les espèces indigènes en raison d'interactions trophiques ou d'hybridation, ni jouer un rôle de vecteur pour des agents pathogènes au Canada, avoir des effets sur le cycle biogéochimique, ou nuire à l'habitat. L'ajout de la construction transgénique et de la protéine fluorescente dans l'YZ2018 ne devrait pas causer de toxicité environnementale ou de dangers par l'intermédiaire de la THG du transgène, et ne devrait pas non plus accroître les dangers potentiels liés aux interactions avec des espèces indigènes. Dans l'ensemble, le risque que l'YZ2018 nuise à la biodiversité des écosystèmes canadiens est **négligeable**. L'utilisation de données sur le caractère envahissant et les effets sur la biodiversité issues d'espèces comparables entraîne un niveau d'incertitude **faible** pour ce classement.

Conclusions de l'évaluation du danger

L'YZ2018 ne devrait pas représenter de danger pour l'environnement canadien. Il n'existe aucun antécédent d'invasion du poisson-zèbre (non transgénique) domestiqué malgré son utilisation à grande échelle. Il n'existe aucune preuve de toxicité environnementale associée à la construction transgénique, et la majorité des autres modèles fluorescents ne montrent aucune toxicité liée aux transgènes fluorescents. Rien n'indique que la transmission de transgènes à des espèces indigènes canadiennes, par hybridation ou THG, pourrait nuire à l'environnement. L'YZ2018 et les autres modèles de poissons fluorescents ne présentent aucune différence quant à la vulnérabilité à la maladie ou aux soins d'élevage, leur capacité à agir comme vecteur d'agents pathogènes ne devrait pas être modifiée, et ils ne devraient pas nuire au cycle biogéochimique. Des données semblent indiquer que relativement au poisson-zèbre rouge, l'YZ2018 risque moins d'influencer d'autres espèces au moyen d'interactions trophiques, puisque sa tolérance réduite au froid peut le rendre encore moins actif en eau froide. L'YZ2018 ne devrait présenter aucun danger particulier au-delà de ceux qui sont associés à son utilisation prévue en tant que poisson d'ornement destiné aux aquariums fixes.

Niveau d'incertitude lié à l'évaluation des dangers

Le classement du niveau d'incertitude lié à chaque danger va d'un niveau négligeable à modéré (voir le tableau 9), en raison du caractère limité des données propres à l'YZ2018 et des données directes sur les espèces comparables, de la variabilité des données sur un substitut (poisson-zèbre transgénique RFP) et du recours à l'avis d'experts pour l'évaluation de certains dangers.

Tableau 9. Résumé du classement des dangers et du niveau d'incertitude connexe pour l'YZ2018 dans l'environnement canadien.

Danger	Classement	Niveau d'incertitude
1. Danger lié à la toxicité environnementale	Négligeable	Modéré

Danger	Classement	Niveau d'incertitude
2. Danger lié à la transmission horizontale de gènes	Faible	Modéré
3. Danger lié aux interactions trophiques	Négligeable	Modéré
4. Danger lié à l'hybridation	Négligeable	Modéré
5. Danger en tant que vecteur de maladies	Négligeable	Modéré
6. Danger pour le cycle biogéochimique	Négligeable	Modéré
7. Danger pour l'habitat	Négligeable	Faible
8. Danger pour la biodiversité	Négligeable	Faible

Évaluation du risque environnemental

Une conclusion globale concernant le risque s'appuie sur le paradigme habituel suivant : risque \propto danger x exposition. Le risque global est estimé en illustrant le danger global par rapport à l'exposition, au moyen d'une matrice ou d'une carte des risques, comme le montre la figure 2. La matrice peut servir d'outil pour faciliter les communications et les discussions à propos du risque. Le niveau d'incertitude associé au risque est abordé dans le cadre du niveau d'incertitude dans les évaluations du danger et de l'exposition.

Selon l'évaluation de l'exposition, on a conclu que l'YZ2018, utilisé dans le commerce des poissons d'ornement destinés aux aquariums ou à d'autres fins, présenterait une faible probabilité de présence dans l'environnement canadien. Cette faible probabilité est liée à la probabilité élevée de rejet de petits nombres de poissons à partir d'aquariums domestiques, mais à la probabilité négligeable de voir des YZ2018 survivre à l'hiver dans les écosystèmes aquatiques canadiens. Ainsi, toute exposition à l'YZ2018 des écosystèmes d'eau douce canadiens serait isolée, rare et éphémère. La qualité des données démontrant l'absence de tolérance au froid de l'YZ2018 et du poisson-zèbre en ce qui concerne les températures dans les eaux douces canadiennes permet d'obtenir un faible niveau d'incertitude pour le classement de ce danger.

L'évaluation du danger a mené à la conclusion que l'YZ2018 représente un danger négligeable à faible pour l'environnement canadien, au vu de l'absence de dangers liés au poisson-zèbre doré et de l'absence de preuves directes selon lesquelles la protéine fluorescente exprimée entraînerait des dangers accrus par rapport au poisson-zèbre non transgénique. Le classement du niveau d'incertitude lié à chaque composante de danger allait de faible à modéré, parce que les données propres à l'YZ2018 étaient limitées, que les données directes sur des espèces comparables étaient limitées, que les données sur un modèle substitut (poisson-zèbre transgénique RFP) étaient variables, et que l'évaluation de certains dangers reposait sur l'avis d'experts.

D'après la matrice des risques présentée à la figure 2, l'YZ2018 utilisé dans le commerce des poissons d'ornement destinés aux aquariums et à d'autres fins possibles au Canada présente un risque faible pour l'environnement canadien (exposition faible x danger négligeable/faible \propto risque faible). Par conséquent, l'utilisation de l'YZ2018 dans le commerce des poissons

d'ornement destinés aux aquariums au Canada ne devrait pas entraîner d'effets nocifs sur l'environnement canadien découlant de l'exposition à l'organisme déclaré.

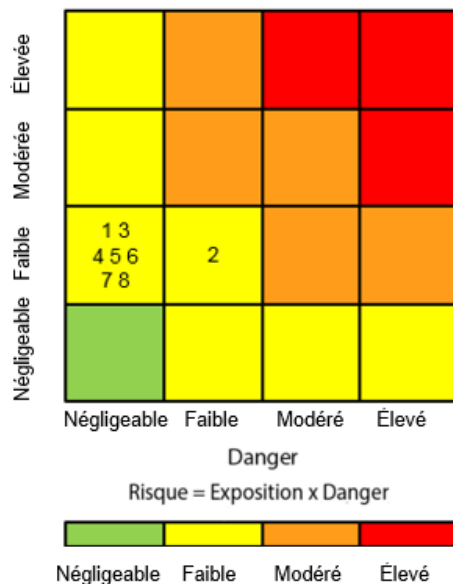


Figure 2. Matrice et échelle des risques illustrant la façon dont l'exposition et le danger sont intégrés pour établir un niveau de risque dans l'évaluation du risque environnemental. Les évaluations des risques associées aux composantes de danger au niveau d'exposition évalué sont désignés par des chiffres : 1) risques liés à la toxicité environnementale; 2) risques liés à la transmission horizontale de gènes; 3) risques liés aux interactions avec d'autres organismes; 4) risques liés à l'hybridation; 5) risques en tant que vecteur de maladie; 6) risques pour le cycle biogéochimique; 7) risques pour l'habitat; 8) risques pour LA BIODIVERSITÉ.

SOURCES D'INCERTITUDE

Les sources d'incertitude dans l'évaluation de l'exposition et des dangers indirects pour la santé humaine qui peuvent influencer le niveau d'incertitude dans l'évaluation des risques indirects pour la santé humaine comprennent les renseignements limités sur les scénarios d'exposition sur le marché canadien, l'utilisation de rapports concernant des substituts, et l'absence de données directes abordant plus précisément les dangers liés à l'YZ2018.

Les sources d'incertitude dans l'évaluation de l'exposition et des dangers pour l'environnement qui peuvent influencer le niveau d'incertitude dans l'évaluation du risque environnemental sont les suivantes : l'absence de données directes sur les dangers de l'organisme déclaré, la variabilité des données issues de substituts et le recours à l'avis d'experts dans certaines évaluations des dangers (p. ex. répercussions liées au rôle de vecteur d'agents pathogènes). Bien que les sources et les niveaux d'incertitude varient en fonction des classements du danger ou de l'exposition, les niveaux d'incertitude indiqués ne devraient pas avoir de répercussion sur l'estimation du risque global.

AUTRES CONSIDÉRATIONS

Les résultats de la présente évaluation concordent avec les évaluations des risques réalisées antérieurement pour les déclarations de tétras Glofish^{MD} utilisés dans le commerce des poissons d'ornement destinés aux aquariums au Canada (MPO, 2018; 2019). Les changements climatiques devraient entraîner une augmentation de la température moyenne de l'eau de 1,5 à

4 °C au cours des 50 prochaines années, ce qui pourrait influencer sur la capacité de l'YZ2018 à survivre à l'hiver au Canada. Une augmentation de la température de l'eau dans quelques lacs isolés du sud-ouest de la Colombie-Britannique qui sont rarement recouverts de glace pourrait donner au poisson de meilleures chances de survie dans ces lacs (MPO, 2013). Toutefois, dans la majorité des écosystèmes d'eau douce qui gèlent l'hiver, les températures devraient atteindre 4 °C ou moins à un moment donné au cours de l'hiver, ce qui empêcherait l'YZ2018 de survivre toute l'année.

CONCLUSIONS ET AVIS

L'utilisation de l'YZ2018 dans les aquariums domestiques devrait entraîner une exposition humaine faible à modérée avec une incertitude modérée, principalement lors de l'entretien du réservoir par les personnes ayant acheté le YZ2018. Le danger indirect pour la santé humaine de l'YZ2018 est jugé faible, en raison de l'absence de pathogénicité, d'allergénicité ou de toxicité liée à la modification génétique de l'YZ2018 et des antécédents d'utilisation sans risque de l'organisme déclaré et d'espèces comparables non transgéniques. Ensemble, les données probantes disponibles ne semblent pas indiquer qu'il existe un risque d'effet nocif indirect sur la santé humaine aux niveaux d'exposition prévus pour la population canadienne découlant de l'utilisation de l'YZ2018 en tant que poisson d'ornement dans des aquariums, ou de toute autre utilisation potentielle recensée.

L'utilisation de l'YZ2018 pour les aquariums domestiques devrait entraîner des rejets récurrents et de très faible ampleur de l'YZ2018 dans l'environnement canadien. Cependant, les données dont on dispose indiquent que l'YZ2018 n'a pas la capacité de passer l'hiver dans les écosystèmes d'eau douce canadiens. L'exposition environnementale est donc jugée faible, avec une incertitude faible. En ce qui concerne les dangers possibles, l'absence de preuve de dangers liés au poisson-zèbre non transgénique malgré qu'il soit utilisé largement et depuis longtemps, ainsi que l'absence de preuves de dangers accrus liés à l'YZ2018 par rapport à l'espèce non transgénique, indiquent que le danger que représente l'YZ2018 pour l'environnement canadien est négligeable à faible. Le risque global de l'YZ2018 pour l'environnement canadien est faible, et l'organisme déclaré ne devrait pas y provoquer d'effets nocifs au niveau d'exposition évalué.

L'importation de l'YZ2018 au Canada, aux fins du commerce de poissons d'ornement destinés aux aquariums domestiques ou d'autres utilisations potentielles, devrait poser de faibles risques pour l'environnement et de faibles risques indirects pour la santé humaine au Canada. Alors que le niveau d'incertitude associé à certains classements de l'exposition et des dangers est modéré en raison de l'absence ou de la quantité limitée de données directes sur l'organisme déclaré ou d'espèces comparables, rien ne semble indiquer que l'YZ2018, dans le cadre de l'utilisation proposée ou d'autres utilisations potentielles, pourrait nuire aux populations et à l'environnement canadiens en cas d'exposition.

LISTE DES PARTICIPANTS DE LA RÉUNION

Nom	Affiliation
Ali, Kassim	Santé Canada
Arvanitakis, George	Santé Canada
Ashby, Deborah	Santé Canada
Baillie, Shauna	Pêches et Océans Canada
Barasubiye, Tharcisse	Environnement et Changement climatique Canada
Cowell, Sara	Pêches et Océans Canada

Nom	Affiliation
Devlin, Robert	Pêches et Océans Canada
Dugan, Stephen	Santé Canada
Gagné, Melissa	Pêches et Océans Canada
Leggatt, Rosalind	Pêches et Océans Canada
Lortie, Michel	Environnement et Changement climatique Canada
Louter, Jim	Environnement et Changement climatique Canada
MacKinnon, Anne-Margaret	Pêches et Océans Canada
McGowan, Colin	Pêches et Océans Canada
McKay, Stephanie	Université d'Ottawa
Morck, Douglas	Université de Calgary
Noble Brzezinski, Sandra	Pêches et Océans Canada
Olivier, Gilles (président)	Pêches et Océans Canada
Parsons, Jay	Pêches et Océans Canada
Saikali, Zeina	Environnement et Changement climatique Canada
Walker, Sherry	Pêches et Océans Canada

SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

Le présent avis scientifique découle de la réunion du 8 au 9 mai, 2019 sur l'Évaluation des risques pour l'environnement et des risques indirects pour la santé humaine posés par le poisson zèbre GloFish^{MD} Sunburst Orange^{MD} : un poisson d'ornement transgénique. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier es avis scientifiques du Ministère des Pêches et Océans](#)

Amiro, P. G. 2006. A synthesis of fresh water habitat requirements and status for Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Canada. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2006/017: 35 p.

Anderson, W. 2017. Austin company behind glow-in-the-dark fish in pet stores sells IP for \$50 million. Austin Business Journal.
<https://www.bizjournals.com/austin/news/2017/08/23/austin-company-behind-glow-in-the-dark-fish-in-pet.html>. Accessed April 9, 2019.

Arunachalam, M., Raja, M., Vijayakumar, C., Malaiammal, P., and Mayden, R.L. 2013. Natural history of zebrafish (*Danio rerio*) in India. Zebrafish 10: 1-14.

AVMA. 2007. [Market research statistics - U.S. Pet Ownership 2007](#). American Veterinary Medical Association. Accessed April 9, 2019.

Axelrod, H.R., and Vorderwinkler, W. 1976. Encyclopedia of Tropical Fishes with Special Emphasis on Breeding. Neptune City, NJ: T.F.H. Publishing.

Badrian, B., and Bogoyevitch, M.A. 2007. Changes in the transcriptional profile of cardiac myocytes following green fluorescent protein expression. DNA Cell Biol. 26: 727-736.

Baens, J., Noels, H., Broeckx, V., Hagen, S., Fevery, S., Biliau, A.D., Vankelecom, H., and Marynen, P. 2006. The dark side of EGFP: Defective polyubiquitination. Plos One 1: e54.

Barrionuevo, W.R., and Burggren, W.W. 1999. O₂ consumption and heart rate in developing zebrafish (*Danio rerio*): influence of temperature and ambient O₂. Am. J. Physiol. 276: R505-R513.

- CDC. 2015. [Healthy pets, healthy people. Centers for Disease Control and Prevention.](#) Accessed April 5, 2019.
- Clark, K.J., and Ekker, S.C. 2015. How zebrafish genetics informs human biology. *Nat. Edu.* 8(4): 3.
- Cortemeglia, C., and Beitinger, T.L. 2005. Temperature tolerances of wild-type and red transgenic zebra danios. *Trans. Am. Fish. Soc.* 134: 1431-1437.
- Cortemeglia, C., and Beitinger, T.L. 2006a. Projected US distributions of transgenic and wildtype zebra danios, *Danio rerio*, based on temperature tolerance data. *J. Therm. Biol.* 31: 422-428.
- Cortemeglia, C., and Beitinger, T.L. 2006b. Susceptibility of transgenic and wildtype zebra danios, *Danio rerio*, to predation. *Environ. Biol. Fish.* 76: 93-100.
- Cortemeglia, C., Beitinger, T.L., Kennedy, J.H., and Walters, T. 2008. Field confirmation of laboratory-determined lower temperature tolerance of transgenic and wildtype zebra danios, *Danio rerio*. *Am. Midl. Nat.* 160: 477-479.
- Coumans, J. V. F., Gau, D., Polijak, A., Wasinger, V., Roy, P., and Moens, P.R. 2014. Green fluorescent protein expression triggers proteome changes in breast cancer cells. *Exp. Cell Res.* 320: 33-45.
- Devgan, V., Rao, M.R.S., and Seshagiri, P.B. 2004. Impact of embryonic expression of enhanced green fluorescent protein on early mouse development. *Biochem. Bioph. Res. Co.* 313: 1030-1036.
- DFO, 2006. Proceedings of the Expert Panel Meeting on the Potential Risks Associated with Horizontal Gene Transfer from Novel Aquatic Organisms. *DFO Can. Sci. Advis. Sec. Proceed. Ser.* 2006/036.
- Dumont, P., Vachon, N., Leclerc, J., and Guibert, A. 2002. Intentional introduction of tench into Southern Quebec. In *Alien Invaders in Canada's Waters, Wetlands, and Forests*, eds. R. Claudi, P. Nantel & E. Muckle-Jeffs, 169-177. Ottawa: Canadian Forest Service, Science Branch, NRC.
- Dai, Y.J., Jia, Y.F., Chen, N., Bian, W.P., Li, Q.K., Ma, Y.B., Chen, Y.L., and Pei, D.S. 2014. Zebrafish as a model system to study toxicology. *Environ. Toxicol. Chem.* 33(1): 11-17.
- Elliott, J. M., and Elliott, J.A. 2010. Temperature requirements of Atlantic salmon *Salmo salar*, brown trout *Salmo trutta* and Arctic charr *Salvelinus alpinus*: predicting the effects of climate change. *J. Fish Biol.* 77: 1793-1817.
- Engeszer, R. E., Patterson, L.B., Rao, A.A., and Parichy, D.M. 2007. Zebrafish in the wild: a review of natural history and new notes from the field. *Zebrafish* 4: 21-40.
- Fang, F. 2003. Phylogentic analysis of the asian cyprinid genus *Danio* (Teleostei, Cyprinidae). *Copeia* 4: 714-728.
- 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.
- Gong, Z., Wan, H, Tay, T.L., Wang, H., Chen, M., and Yan, T. 2003. Development of transgenic fish for ornamental and bioreactor by strong expression of fluorescent proteins in the skeletal muscle. *Bioch. Bioph. Res. Co.* 308: 58-63.

- Guo, J. K., Cheng, E.C., Wang, L., Swenson, E.S., Ardito, T.A., Kashgarian, M., Cantley, L.G., and Krause, D.S. 2007. The commonly used beta-actin-GFP transgenic mouse strain develops a distinct type of glomerulosclerosis. *Transgenic Res.* 16: 829-834.
- Hallare, A. V., Schirling, M., Luckenbach, T., Köhler, H.R., and Triebkorn, R. 2005. Combined effects of temperature and cadmium on developmental parameters and biomarker responses in zebrafish (*Danio rerio*) embryos. *J. Therm. Biol.* 30: 7-17.
- Hanwell, D., Hutchinson, S.A., Collymore, C., Bruce, A.E., Louis, R., Ghalami, A., Allison, W.T., Ekker, M., Eames, B.F., Childs, S., Kurrasch, D.M., Gerlai, R., Thiele, T., Scott, I., Ciruna, B., Dowling, J.J., McFarlane, S., Huang, P., Wen, X.Y., Akimenko, M.A., Waskiewicz, A.J., Drapeau, P., Babiuk, L.A., Dragon, D., Smida, A, Buret, A., O'Grady, E., Wilson, J., Sowden-Plunkett, L., and Tropepe, V. 2016. Restrictions on the importation of Zebrafish into Canada associated with Spring Viremia of Carp Virus. *Zebrafish* 13: S153-S163.
- Hill, J.E., Kapuscinski, A.R., and Pavlowich, T. 2011. Fluorescent transgenic zebra *Danio* more vulnerable to predators than wild-type fish. *Trans. Am. Fish. Soc.* 140: 1001-1005.
- Howard, R.D., Rohrer, K., Liu, Y., and Muir, W.M. 2015. Mate competition and evolutionary outcomes in genetically modified zebrafish (*Danio rerio*). *Evolution* 69: 1143-1157.
- Huang, W.Y., Aramburu, J., Douglas, P.S., and Izumo, S. 2000. Transgenic expression of green fluorescence protein can cause dilated cardiomyopathy. *Nat. Med.* 6: 482-483.
- Jha, P. 2010. Comparative study of aggressive behaviour in transgenic and wildtype zebrafish *Danio rerio* (Hamilton) and the flying barb *Esomus danricus* (Hamilton), and their susceptibility to predation by the snakehead *Channa striatus* (Bloch). *Ital. J. Zool.* 77: 102-109.
- Jobling, M. 1981. Temperature tolerance and the final preferendum--rapid methods for the assessment of optimum growth temperatures. *J. Fish Biol.* 19: 439-455.
- Ju, B., Chong, S.W., He, J., Wang, X., Xu, Y., Wan, H., Tong, Y, Yan, T, Korzh, V., and Gong, K. 2003. Recapitulation of fast skeletal muscle development in zebrafish by transgenic expression of GFP under the mylz2 promoter. *Dev. Dynam.* 227: 14-26.
- Keller, J.M., and Keller, E.T. 2018. The use of mature zebrafish (*Danio rerio*) as a model for human aging and disease. In *Conn's Handbook of Models for Human Aging (Second Edition)*. pp. 351-359.
- Koelsch, K. A., Wang, Y., Maier-Moore, J.S., Sawalha, A.H., and Wren, J.D. 2013. GFP affects human T cell activation and cytokine production following *in vitro* stimulation. *Plos One* 8: e50068.
- Lawrence, C. 2007. The husbandry of zebrafish (*Danio rerio*): a review. *Aquaculture* 269(1-4): 1-20.
- 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. of Zool.* 96: 253-260.
- Lessman, C. A. 2011. The Developing Zebrafish (*Danio rerio*): A Vertebrate Model for High-throughput Screening of Chemical Libraries. *Birth Defects Res. C* 93: 268-280.
- Li, H., Wei, H., Wang, Y., Tang, H., and Wang, Y. 2013. Enhanced green fluorescent protein transgenic expression *in vivo* is not biologically inert. *J. Proteome Res.* 12: 3801-8.

- Little, A. G., Kunisue, T., Kannan, K., and Seebacher, F. 2013. Thyroid hormone actions are temperature-specific and regulate thermal acclimation in zebrafish (*Danio rerio*). *BMC Biol.* 11: 26.
- Liu, Z. J., Moav, B., Faras, A.J., Guise, K.S., Kapuscinski, A.R., and Hackett, P.B. 1990. Development of expression vectors for transgenic fish. *Biotechnology* 8: 1268-1272.
- López-Olmeda, J. F., and Sánchez-Vázquez, F.J. 2011. Thermal biology of zebrafish (*Danio rerio*). *J. Therm. Biol.* 36: 91-104.
- 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.
- Magnuson, J. J., Crowder, L.B., and Medvick, P.A. 1979. Temperature as an ecological resource. *Am. Zool.* 19: 331-343.
- Mak, G.W.Y., Wong, C.H., and Tsui, S.K.W. 2007. Green fluorescent protein induces the secretion of inflammatory cytokine interleukin-6 in muscle cells. *Anal. Biochem.* 362: 296-298.
- 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.
- Matz, M. V., Fradkov, A.F., Labas, Y.A., Savitsky, A.P., Zaraisky, A.G., Markelov, M.L., and Lukyanov, A. 1999. Fluorescent proteins from nonbioluminescent Anthozoa species. *Nat. Biotech.* 17: 969-973.
- McClure, M.M., McIntyre, P.B., and McCune, A.R.. 2006. Notes on the natural diet and habitat of eight danionin fishes, including the zebrafish *Danio rerio*. *J. Fish Biol.* 69: 553-570.
- Meyers, J.R. 2018. Zebrafish: Development of a vertebrate model organism. *Current Protocols Essential Laboratory Techniques* 16(1): e19.
- MPO. 2013. Évaluation fondée sur les risques des impacts et des menaces que les changements climatiques présentent pour l'infrastructure et les systèmes biologiques qui relèvent du mandat de Pêches et Océans Canada – Grand bassin aquatique d'eau
- MPO. 2018. Évaluation des risques pour l'environnement et des risques indirects pour la santé humaine du tétra GlofishMD Electric GreenMD et du tétra à longues nageoires GlofishMD Electric GreenMD (*Gymnocorymbus ternetzi*) : un poisson d'ornement transgénique. *Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci.* 2018/027.douce. *Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci.* 2013/011.
- MPO. 2019. Évaluation des risques pour l'environnement et des risques indirects pour la santé humaine posés par les tétras glofishmd (*gymnocorymbus ternetzi*) : cinq lignées de poissons d'ornement transgéniques. *Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci.* 2019/002
- Owen, M.A., Rohrer, K., and Howard, R.D. 2012 Mate choice for a novel male phenotype in zebrafish, *Danio rerio*. *Anim. Behav.* 83: 811-820.
- Ribas, L., and Piferrer, F. 2014. The zebrafish (*Danio rerio*) as a model organism, with emphasis on applications for finfish aquaculture research. *Rev. Aquacult.* 6: 209-240.
- Rixon, C.A., Duggan, I.C., Bergeron, N.M., Ricciardi, A., and H.J. MacIsaac. 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. *Vet. Clin. N Am - Exotic* 12(3): 609-638.

- Schirone, R.C., and Gross, L. 1968. Effect of temperature on early embryological development of the zebra fish, *Brachydanio rerio*. *J. Exp. Zool.* 169: 43-52.
- Sfakianakis, D.G., Leris, I., Mylonas, C.C., and Kentouri, M. 2012. Temperature during early life determines sex in zebrafish, *Danio rerio* (Hamilton, 1822). *J. Biol. Res.-Thessalon.* 17: 68-73.
- Snekser, J.L., McRobert, S.P., Murphy, C.E., and Clotfelter, E.D. 2006. Aggregation behaviour in wildtype and transgenic zebrafish. *Ethology* 112: 181-187.
- Spence, R., Fatema, M.K., Reichard, M., Huq, K.A., Wahab, M.A., Ahmed, Z.F., and Smith, C. 2006. The distribution and habitat preferences of the zebrafish in Bangladesh. *J. Fish Biol.* 69: 1435-1448.
- Spence, R., Gerlach, G., Lawrence, C., and Smith, C. 2008. The behaviour and ecology of the zebrafish, *Danio rerio*. *Biol. Rev. Camb. Philos.* 83: 13-34.
- Spitsbergen, J.M., and Kent, M.L., 2003. The state of the art of the zebrafish model for toxicology and toxicologic pathology research—advantages and current limitations. *Toxicol. Pathol.* 31(Suppl): 62-87.
- Stewart, C. N. 2006. Go with the glow: fluorescent proteins to light transgenic organisms. *Trends Biotechnol.* 24: 155-162.
- Trujillo-González-A., Becker, J.A., and Hutson, K.S. 2018. Parasite dispersal from the ornamental goldfish trade. *Adv. Parasit.* 100: 239-281.
- Trumpikas, J., Shuter, B.J, Minns, C.K., and Cyr, H. 2015 Characterizing patterns of nearshore water temperature variation in the North American Great Lakes and assessing sensitivities to climate change. *Great Lakes Res.* 41: 53-64.
- Tuckett, Q.M., Ritch, J.L., Lawson, K.M., and Hill, J.E. 2017. Landscape-scale survey of non-native fishes near ornamental aquaculture facilities in Florida, USA. *Biol. Invasions* 19(1): 223-237.
- 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.
- 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.

CE RAPPORT EST DISPONIBLE AUPRÈS DU :

Secrétariat canadien de consultation scientifiques (SCCS)
Région de la capitale nationale
Pêches et Océans Canada
200, rue Kent, poste 12E239, Ottawa (Ontario) K1A 0E6 Canada

Téléphone : 613-990-0293

Courriel : csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca

Adresse Internet : www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/

ISSN 1919-5117

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2020



La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2020. Évaluation des risques pour l'environnement et des risques indirects pour la santé humaine posés par le danio (danio rerio) glofish^{MD} sunburst orange^{MD} : un poisson d'ornement transgénique. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2020/015.

Also available in English

DFO. 2020. Environmental and Indirect Human Health Risk Assessment of the Glofish® Sunburst Orange® Danio (Danio rerio): A Transgenic Ornamental Fish. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2020/015.