



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS)

Document de recherche 2026/043

Région de la capitale nationale

Évaluation des risques pour l'environnement posés par les corydoras (*Corydoras aeneus*) GloFish^{MD} Electric Green^{MD}, Sunburst Orange^{MD} et Moonrise Pink^{MD} : trois lignées de poissons ornementaux transgéniques

Colin McGowan, Sherry Walker, Shauna Baillie et Rosalind Leggatt

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

Avant-propos

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

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien des avis scientifiques
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

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



© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du
ministère des Pêches et des Océans, 2026

Ce rapport est publié sous la [Licence du gouvernement ouvert – Canada](#)

ISSN 2292-4272

ISBN 978-0-660-99886-2 N° cat. Fs70-5/2026-043F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

McGowan, C., Walker, S., Baillie, S., et Leggatt, R. 2026. Évaluation des risques pour l'environnement posés par les corydoras (*Corydoras aeneus*) GloFish^{MD} Electric Green^{MD}, Sunburst Orange^{MD} et Moonrise Pink^{MD} : trois lignées de poissons ornementaux transgéniques. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2026/043. v + 32 p.

Also available in English :

McGowan, C., Walker, S., Baillie, S., and Leggatt, R. 2026. *Environmental Risk Assessment of the GloFish® Electric Green®, Sunburst Orange® and Moonrise Pink® Corydoras (Corydoras aeneus): Three Lines of Transgenic Ornamental Fish*. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2026/043. v + 27 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	v
1. INTRODUCTION	1
2. CARACTÉRISATION DES ORGANISMES	2
2.1. CORYDORAS GLOFISH ^{MD} ELECTRIC GREEN ^{MD} (GCA2021)	2
2.1.1. Production du GCA2021	3
2.1.2. Caractérisation de l'intégrant transgénique.....	3
2.1.3. Transmission et stabilité du transgène.....	3
2.1.4. Méthode de détection du GCA2021	3
2.1.5. Caractérisation phénotypique	3
2.2. CORYDORAS GLOFISH ^{MD} SUNBURST ORANGE ^{MD} (OCA2020).....	4
2.2.1. Production du OCA2020	4
2.2.2. Caractérisation de l'intégrant transgénique.....	4
2.2.3. Transmission et stabilité du transgène.....	4
2.2.4. Méthode de détection du OCA2020	4
2.2.5. Caractérisation phénotypique	4
2.3. CORYDORAS GLOFISH ^{MD} MOONRISE PINK ^{MD} (PiCA2020)	5
2.3.1. Production du PiCA2020	5
2.3.2. Caractérisation de l'intégrant transgénique.....	5
2.3.3. Transmission et stabilité du transgène.....	5
2.3.4. Méthode de détection du PiCA2020	6
2.3.5. Caractérisation phénotypique	6
2.4. EFFETS PLÉIOTROPIQUES DES TRANSGÈNES FLUORESCENTS CHEZ LES AUTRES POISSONS	6
2.5. CARACTÉRISATION RELATIVE AUX POISSONS GLOFISH ^{MD} DÉJÀ ÉVALUÉS	8
3. CARACTÉRISATION DES ESPÈCES COMPARABLES	8
3.1. STATUT TAXONOMIQUE	8
3.2. BESOINS PHYSIQUES, CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES	9
3.3. CYCLE VITAL	9
3.4. BAGAGE GÉNÉTIQUE	9
3.5. CARACTÈRE ENVAHISSANT	10
4. CARACTÉRISATION DU MILIEU RÉCEPTEUR POTENTIEL.....	10
5. ÉVALUATION DES RISQUES POUR L'ENVIRONNEMENT	11
5.1. ÉVALUATION DE L'EXPOSITION	11
5.1.1. Probabilité de rejet	13
5.1.2. Probabilité de survie.....	13
5.1.3. Probabilité de reproduction	14
5.1.4. Probabilité de prolifération et de dissémination	15
5.1.5. Conclusions de l'évaluation de l'exposition.....	15
5.2. ÉVALUATION DES DANGERS	15
5.2.1. Dangers possibles liés à la toxicité environnementale.....	18
5.2.2. Dangers possibles liés à la transmission horizontale de gènes	18
5.2.3. Dangers possibles liés aux interactions avec d'autres organismes	19

5.2.4. Dangers possibles liés à l'hybridation avec des espèces indigènes	21
5.2.5. Dangers possibles en tant que vecteur de maladies	21
5.2.6. Dangers possibles pour le cycle biogéochimique	22
5.2.7. Dangers possibles pour l'habitat	22
5.2.8. Dangers possibles pour la biodiversité	22
5.2.9. Conclusions de l'évaluation des dangers	23
5.3. ÉVALUATION DES RISQUES	24
5.3.1. Évaluation des risques posés par les corydoras GloFish ^{MD}	25
5.4. RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS	26
6. RÉFÉRENCES CITÉES	28

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Variantes fluorescentes transgéniques de GloFish ^{MD} (<i>C. aeneus</i>) visées par le présent avis. <i>C. aeneus</i> albinos non transgénique (A), corydoras GloFish ^{MD} Electric Green ^{MD} (B), corydoras GloFish ^{MD} Sunburst Orange ^{MD} (C) et corydoras GloFish ^{MD} Moonrise Pink ^{MD} (D). Toutes les images sont fournies par Spectrum Brands.	2
Figure 2. Matrice des risques et échelle de spectres illustrant comment l'exposition et les dangers sont intégrés afin d'établir un niveau de risque dans l'évaluation des risques pour l'environnement.....	25
Figure 3. Les évaluations des risques associées aux composantes de danger évaluées à l'exposition évaluée sont indiquées par un numéro : 1) par la toxicité environnementale; 2) par la transmission horizontale de gènes; 3) par les interactions avec d'autres organismes; 4) par l'hybridation; 5) comme vecteur de maladies; 6) pour le cycle biogéochimique; 7) pour l'habitat et 8) pour la biodiversité.....	26

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Classement de la probabilité d'exposition de l'environnement canadien à des poissons génétiquement modifiés.....	11
Tableau 2. Classement de l'incertitude associée à la probabilité de la présence de l'organisme et à son devenir dans l'environnement canadien (exposition environnementale).	13
Tableau 3. Classement des dangers pour l'environnement découlant de l'exposition à l'organisme.....	16
Tableau 4. Classement de l'incertitude associée aux dangers pour l'environnement.	17
Tableau 5. Résumé de tous les classements et niveaux d'incertitude liés aux évaluations des risques pour l'environnement posés par des lignées de corydoras GloFish ^{MD} actuellement déclarées, ainsi que des lignées de tétras, de danios, de bettas, de barbus, de tétras rayon X et de labéos verts GloFish ^{MD} précédemment déclarées. Les éléments soulignés indiquent une différence entre les évaluations précédentes et l'évaluation actuelle. Nég. = négligeable, Mod. = modéré.....	24

RÉSUMÉ

Conformément à la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*, un avis en vertu du *Règlement sur les renseignements concernant les substances nouvelles (organismes)* a été soumis par Spectrum Brands à Environnement et Changement climatique Canada pour l'importation de trois lignées de *Corydoras aeneus* génétiquement modifiés appelés les corydoras GloFish^{MD} Electric Green^{MD} (GCA2021), Sunburst Orange^{MD} (OCA2020) et Moonrise Pink^{MD} (PiCA2020) en vue de leur vente commerciale au Canada. L'évaluation des risques pour l'environnement a permis d'analyser les dangers potentiels, la probabilité d'exposition et les incertitudes connexes, pour parvenir à une conclusion sur les risques. L'évaluation de l'exposition environnementale a permis de conclure que la présence du GCA2021, du OCA2020 et du PiCA2020 dans l'environnement canadien, hors des aquariums, devrait être rare, isolée et éphémère en raison de leur incapacité de survivre aux températures généralement basses dans les milieux d'eau douce canadiens en hiver. Par conséquent, la probabilité d'exposition de l'environnement canadien est considérée comme faible. L'incertitude associée à l'évaluation de l'exposition environnementale est faible au vu des données accessibles sur la tolérance des lignées déclarées et des espèces comparables pertinentes à l'égard de la température, et du fait que malgré un long historique d'utilisation du *C. aeneus* non transgénique en Amérique du Nord, le poisson ne s'y est jamais établi. L'évaluation des dangers pour l'environnement a permis de conclure que les dangers potentiels liés à la toxicité environnementale, aux interactions trophiques, à l'hybridation, aux maladies, à la biodiversité, au cycle biogéochimique et à l'habitat sont négligeables. La transmission horizontale de gènes représente un danger faible (c.-à-d. aucun effet nocif prévu). L'incertitude associée aux cotes de danger pour l'environnement varie de négligeable à modérée en raison des données limitées sur les organismes substitués et déclarés, ou d'une certaine dépendance à l'égard de l'opinion d'experts et de preuves anecdotiques. L'utilisation d'ARN guide et de Cas9 pendant la création des lignées peut avoir entraîné des mutations non ciblées dans les populations de corydoras GloFish^{MD}, ce qui ajoute à l'incertitude de l'évaluation des dangers, mais sans modifier les conclusions générales sur les risques. Globalement, il existe un faible risque d'effets environnementaux négatifs selon les niveaux d'exposition prévus pour l'environnement canadien découlant de l'utilisation de GCA2021, de OCA2020 et de PiCA2020 comme poissons ornementaux d'aquarium ou à d'autres fins.

1. INTRODUCTION

Le 22 janvier 2025, GloFish LLC et Spectrum Brands ont soumis trois dossiers réglementaires (avis) à Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) en vertu du *Règlement sur les renseignements concernant les substances nouvelles (organismes)* (RRSN(O)) de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999)* (LCPE) pour les corydoras GloFish^{MD} Electric Green^{MD}, Sunburst Orange^{MD} et Moonrise Pink^{MD}. Ces poissons ornementaux sont des *Corydoras aeneus* domestiqués qui ont subi des modifications génétiques leur donnant différentes couleurs fluorescentes lorsqu'ils sont dans des aquariums domestiques. L'avis concernant les corydoras GloFish^{MD} au titre de la LCPE donne suite aux avis précédents similaires qui concernaient six lignées de tétras GloFish^{MD} (MPO 2018, 2019), trois lignées de danios GloFish^{MD} (MPO 2020a, 2020b), trois lignées de bettas GloFish^{MD} (MPO 2021a), quatre lignées de barbus GloFish^{MD} (MPO 2023), quatre lignées de tétras rayon X GloFish^{MD} (MPO 2024) et quatre lignées de labéos verts GloFish^{MD} (MPO 2026).

Les dispositions de la LCPE relatives à la biotechnologie adoptent une approche préventive en matière de pollution, en exigeant de déclarer et d'évaluer tous les nouveaux organismes vivants issus de la biotechnologie, y compris les poissons génétiquement modifiés, avant qu'ils ne soient fabriqués ou importés au Canada, afin de déterminer s'ils sont « toxiques » ou susceptibles de le devenir avec le temps. En vertu de la LCPE (article 64), un organisme est considéré comme toxique s'il « pénètre ou peut pénétrer dans l'environnement en une quantité ou concentration ou dans des conditions de nature à a) avoir, immédiatement ou à long terme, un effet nocif sur l'environnement ou sur la diversité biologique; b) mettre en danger l'environnement essentiel pour la vie; c) constituer un danger au Canada pour la vie ou la santé humaines ». Quiconque propose d'importer ou de fabriquer un produit animal vivant issu de la biotechnologie au Canada, y compris des poissons génétiquement modifiés, doit fournir à ECCC les renseignements prescrits dans le RRSN(O) au moins 120 jours avant le début de l'importation ou de la fabrication de l'organisme. Ces renseignements sont utilisés pour réaliser une évaluation des risques pour l'environnement et une évaluation des répercussions indirectes sur la santé humaine (risques pour la santé humaine si l'environnement est exposé à l'organisme vivant) qui servent ensuite à déterminer si l'organisme est toxique ou peut le devenir au sens de la LCPE. De plus amples renseignements sur la LCPE et le RRSN(O), notamment des directives sur le Règlement, des directives détaillées sur les exigences en matière de renseignements, l'utilisation de dérogations, les nouvelles activités importantes, les résultats des évaluations des risques et la gestion des risques, sont accessibles sur la page [Biotechnologie](#) du site Web d'ECCC.

En vertu d'un protocole d'entente avec ECCC et Santé Canada, Pêches et Océans Canada (MPO) fournit un avis scientifique sous la forme d'une évaluation des risques pour l'environnement pour les poissons issus de la biotechnologie et relevant du RRSN(O). Cet avis sert à éclairer l'évaluation des risques selon la LCPE menée par ECCC et Santé Canada. Conformément à cette entente, le ministre d'ECCC reçoit un avis scientifique du MPO et a la responsabilité de prendre la décision réglementaire définitive en ce qui concerne l'utilisation du poisson déclaré.

C'est dans ce contexte que le MPO a réalisé cette évaluation des risques pour l'environnement posé par les organismes déclarés en fonction de l'utilisation proposée. Dans le présent document, le risque est défini comme une fonction du potentiel que les environnements canadiens soient exposés aux organismes déclarés et du potentiel que les organismes déclarés représentent un danger pour l'environnement canadien. L'évaluation de l'exposition et celle des dangers sont réalisées séparément, puis intégrées à l'évaluation des risques. L'incertitude liée à l'évaluation de l'exposition et celle liée à l'évaluation des dangers sont déterminées, puis sont

analysées dans le contexte de l'évaluation finale des risques. Un aperçu détaillé du contexte juridique du processus d'évaluation des risques, du cadre d'évaluation des risques et du processus décisionnel réglementaire en vertu de la LCPE est fourni dans Leggatt *et al.* (2018a).

2. CARACTÉRISATION DES ORGANISMES

Dans ses déclarations actuelles, Spectrum Brands demande à pouvoir importer trois nouvelles souches transgéniques de corydoras (*Corydoras aeneus*) au Canada en provenance des États-Unis pour leur vente dans l'industrie de l'aquariophilie ornementale. Les noms commerciaux des organismes transgéniques sont le corydoras GloFish^{MD} Electric Green^{MD} (GCA2021), le corydoras GloFish^{MD} Sunburst Orange^{MD} (OCA2020) et le corydoras GloFish^{MD} Moonrise Pink^{MD} (PiCA2020); ci-après appelés collectivement les « corydoras GloFish^{MD} ». Les corydoras GloFish^{MD} sont des variantes génétiquement modifiées du *C. aeneus* albinos domestiqué et diffèrent les uns des autres par l'expression de protéines fluorescentes distinctes qui se traduisent par de nouveaux phénotypes de couleur. La figure 1 (B-D) montre l'apparence physique des trois souches de corydoras GloFish^{MD} déclarées, ainsi que du *C. aeneus* albinos domestiqué non transgénique (A).

Bien que plus de détails sur la structure, l'élaboration et la fonction des constructions transgéniques utilisées pour créer les labéos frenatus GloFish^{MD} aient été fournis par l'entreprise à des fins d'examen, ces renseignements sont considérés comme des renseignements commerciaux confidentiels et ne sont pas inclus dans le présent document.

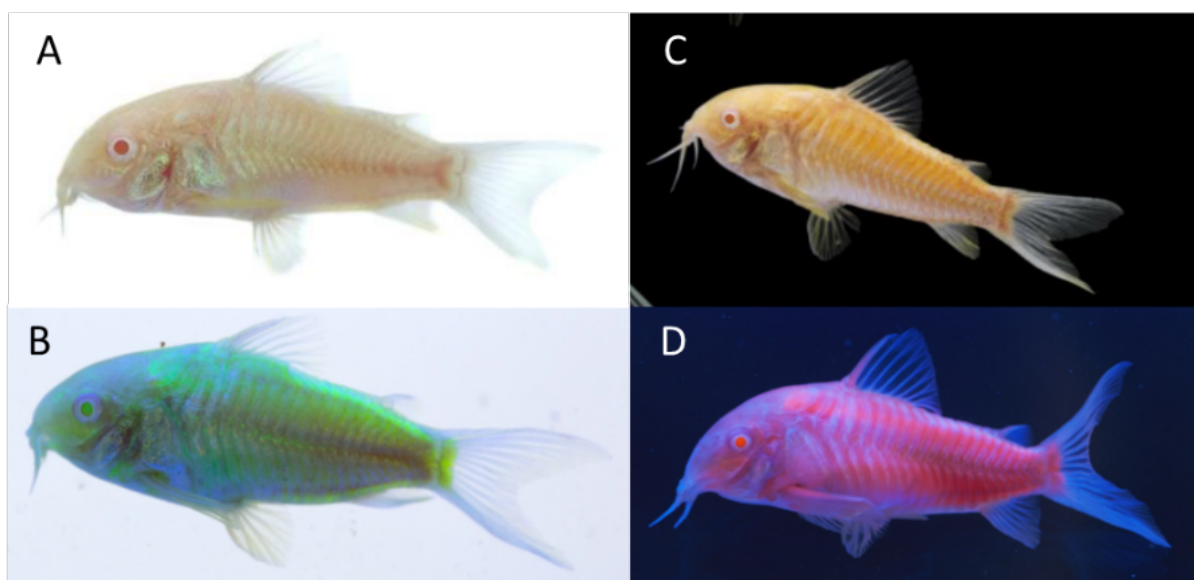


Figure 1. Variantes fluorescentes transgéniques de GloFish^{MD} (*C. aeneus*) visées par le présent avis. *C. aeneus* albinos non transgénique (A), corydoras GloFish^{MD} Electric Green^{MD} (B), corydoras GloFish^{MD} Sunburst Orange^{MD} (C) et corydoras GloFish^{MD} Moonrise Pink^{MD} (D). Toutes les images sont fournies par Spectrum Brands.

2.1. CORYDORAS GLOFISH^{MD} ELECTRIC GREEN^{MD} (GCA2021)

Le corydoras GloFish^{MD} Electric Green^{MD} est un *C. aeneus* albinos génétiquement modifié. La modification génétique entraîne une coloration verte partout sur l'organisme à la lumière ambiante, y compris la lumière du soleil et la lumière bleue (figure 1B). Cette modification génétique a pour but de créer un nouveau phénotype chez le *C. aeneus*, qui est destiné au marché des aquariums d'ornement.

2.1.1. Production du GCA2021

La cassette purifiée d'expression transgénique a été injectée dans des œufs nouvellement fertilisés de *C. aeneus*. D'autres détails fournis par l'entreprise qui décrivent l'élaboration et l'analyse de la lignée pour confirmer que le GCA2021 constitue une seule lignée homogène et que l'ossature de vecteur n'a pas été incorporée avec les transgènes sont considérés comme des renseignements commerciaux confidentiels et ne sont pas déclarés ici.

2.1.2. Caractérisation de l'intégrant transgénique

La séquence de la construction transgénique insérée dans le GCA2021 n'a pas été déterminée, et l'emplacement précis de l'insert dans le génome de l'organisme est inconnu. Les détails concernant l'analyse visant à confirmer que de multiples copies de la cassette d'expression transgénique ont été incorporées à un seul site d'insertion sont considérés comme des renseignements commerciaux confidentiels et ne sont pas mentionnés ici.

2.1.3. Transmission et stabilité du transgène

Comme le site d'insertion précis du transgène n'a pas été déterminé, il n'est pas possible de déterminer si le transgène est inséré dans un site stable du génome ou dans une région sujette à la répression de l'expression. L'individu porteur d'un transgène silencieux ne présenterait pas de phénotype de couleur verte et serait donc éliminé de la population reproductrice.

Spectrum Brands maintient cette lignée de reproduction depuis plus de huit générations et produit commercialement le GCA2021 depuis le mois de septembre 2021. Au cours de cette période, l'entreprise a observé que le phénotype fluorescent vert restait durable et stable d'une génération à l'autre.

2.1.4. Méthode de détection du GCA2021

Les individus GCA2021 se distinguent facilement des *C. aeneus* domestiqués non transgéniques par leur coloration verte uniforme phénotypique sous la lumière naturelle et leur fluorescence sous la lumière bleue ou ultraviolette. Les GCA2021 peuvent être distingués génétiquement des autres corydoras transgéniques fluorescents verts portant une cassette différente à l'aide de l'amplification en chaîne par polymérase (PCR).

2.1.5. Caractérisation phénotypique

2.1.5.1. Effet phénotypique ciblé de la modification

L'effet phénotypique ciblé de la modification génétique est une couleur verte lorsque le GCA2021 est exposé à la lumière ambiante et fluorescente sous la lumière bleue ou ultraviolette, pour créer une nouvelle variante de couleur vive destinée au marché des aquariums d'ornement. Ce nouveau phénotype de couleur se voit dans les muscles, la peau et les yeux.

L'entreprise rapporte que les individus GCA2021 hémizygotes et homozygotes pour l'insert transgénique ne peuvent être distingués visuellement les uns des autres et qu'ils sont tous destinés à la vente.

2.1.5.2. Effets phénotypiques supplémentaires de la modification

L'entreprise a fourni des renseignements et des données issues d'expériences sur la tolérance aux basses températures et la capacité de reproduction utilisées pour cerner les différences potentielles entre les individus GCA2021 et le *C. aeneus* domestiqué non transgénique qui pourraient avoir une incidence sur leur capacité de survivre et de se reproduire à l'état sauvage.

Les résultats indiquent que le corydoras transgénique Electric Green^{MD} est plus sensible au froid que ses frères et sœurs non transgéniques, et que la capacité de reproduction du GCA2021 est faible par rapport à celle du *C. aeneus* albinos domestiqué.

2.2. CORYDORAS GLOFISH^{MD} SUNBURST ORANGE^{MD} (OCA2020)

Le corydoras GloFish^{MD} Sunburst Orange^{MD} est un *C. aeneus* albinos génétiquement modifié. La modification génétique entraîne une coloration orange partout sur l'organisme à la lumière ambiante, y compris la lumière du soleil et la lumière bleue (figure 1C). Cette modification génétique a pour but de créer un nouveau phénotype chez le *C. aeneus*, qui est destiné au marché des aquariums d'ornement.

2.2.1. Production du OCA2020

La cassette purifiée d'expression transgénique a été injectée dans des œufs nouvellement fertilisés de *C. aeneus*. D'autres détails fournis par l'entreprise qui décrivent l'élaboration et l'analyse de la lignée pour confirmer que le OCA2020 constitue une seule lignée homogène et que l'ossature de vecteur n'a pas été incorporée avec les transgènes sont considérés comme des renseignements commerciaux confidentiels et ne sont pas déclarés ici.

2.2.2. Caractérisation de l'intégrant transgénique

La séquence de la cassette d'expression transgénique insérée dans le OCA2020 n'a pas été déterminée, et l'emplacement précis de l'insert dans le génome de l'organisme est inconnu. Les détails concernant l'analyse visant à confirmer que de multiples copies de la cassette d'expression transgénique ont été incorporées à un seul site d'insertion sont considérés comme des renseignements commerciaux confidentiels et ne sont pas mentionnés ici.

2.2.3. Transmission et stabilité du transgène

Comme le site d'insertion précis du transgène n'a pas été déterminé, il n'est pas possible de déterminer si la cassette d'expression est insérée dans un site stable du génome ou dans une région sujette à la répression de l'expression. L'individu porteur d'un transgène silencieux ne présenterait pas de phénotype de couleur orange et serait donc éliminé de la population reproductrice.

Spectrum Brands maintient cette lignée de reproduction depuis plus de huit générations et produit commercialement le OCA2020 depuis le mois de septembre 2022. Au cours de cette période, l'entreprise a observé que le phénotype fluorescent orange restait durable et stable d'une génération à l'autre.

2.2.4. Méthode de détection du OCA2020

Les individus OCA2020 se distinguent facilement des *C. aeneus* domestiqués non transgéniques par leur coloration orange uniforme phénotypique sous la lumière naturelle et leur fluorescence sous la lumière bleue ou ultraviolette. Les OCA2020 peuvent être distingués génétiquement des autres corydoras fluorescents orange portant une cassette différente à l'aide de l'amplification en chaîne par polymérase (PCR).

2.2.5. Caractérisation phénotypique

2.2.5.1. Effet phénotypique ciblé de la modification

L'effet phénotypique ciblé de la modification génétique est une couleur orange lorsque le OCA2020 est exposé à la lumière ambiante et fluorescente sous la lumière bleue ou

ultraviolette, pour créer une nouvelle variante de couleur vive destinée au marché des aquariums d'ornement. Ce nouveau phénotype de couleur se voit dans les muscles, la peau et les yeux.

L'entreprise rapporte que les individus OCA2020 hémizygotes et homozygotes pour l'insert transgénique ne peuvent être distingués visuellement les uns des autres et qu'ils sont tous destinés à la vente.

2.2.5.2. Effets phénotypiques supplémentaires de la modification

L'entreprise a fourni des renseignements et des données issues d'expériences sur la tolérance aux basses températures et la capacité de reproduction utilisées pour cerner les différences potentielles entre les individus OCA2020 et le *C. aeneus* domestiqué non transgénique qui pourraient avoir une incidence sur leur capacité de survivre et de se reproduire à l'état sauvage. Les résultats indiquent que le corydoras transgénique Sunburst Orange^{MD} est plus sensible au froid que ses frères et sœurs non transgéniques, et que la capacité de reproduction du OCA2020 est faible par rapport à celle du *C. aeneus* albinos domestiqué.

2.3. CORYDORAS GLOFISH^{MD} MOONRISE PINK^{MD} (PiCA2020)

Le corydoras GloFish^{MD} Moonrise Pink^{MD} est un *C. aeneus* albinos génétiquement modifié. La modification génétique entraîne une coloration rose partout sur l'organisme à la lumière ambiante, y compris la lumière du soleil et la lumière bleue (figure 1D). Cette modification génétique a pour but de créer un nouveau phénotype chez le *C. aeneus*, qui est destiné au marché des aquariums d'ornement.

2.3.1. Production du PiCA2020

La cassette purifiée d'expression transgénique a été injectée dans des œufs nouvellement fertilisés de *C. aeneus*. D'autres détails fournis par l'entreprise qui décrivent l'élaboration et l'analyse de la lignée pour confirmer que le PiCA2021 constitue une seule lignée homogène et que l'ossature de vecteur n'a pas été incorporée avec les transgènes sont considérés comme des renseignements commerciaux confidentiels et ne sont pas déclarés ici.

2.3.2. Caractérisation de l'intégrant transgénique

La séquence de la construction transgénique insérée dans le PiCA2020 n'a pas été déterminée, et l'emplacement précis de l'insert dans le génome de l'organisme est inconnu. Les détails concernant l'analyse visant à confirmer que de multiples copies de la cassette d'expression transgénique ont été incorporées à un seul site d'insertion sont considérés comme des renseignements commerciaux confidentiels et ne sont pas mentionnés ici.

2.3.3. Transmission et stabilité du transgène

Comme le site d'insertion précis du transgène n'a pas été déterminé, il n'est pas possible de déterminer si le transgène est inséré dans un site stable du génome ou dans une région sujette à la répression de l'expression. L'individu porteur d'un transgène silencieux ne présenterait pas de phénotype de couleur rose et serait donc éliminé de la population reproductrice.

Spectrum Brands maintient la lignée de PiCA depuis plus de huit générations en vue d'une production commerciale. Au cours de cette période, l'entreprise a observé que le phénotype fluorescent rose restait durable et stable.

2.3.4. Méthode de détection du PiCA2020

Les individus PiCA2020 se distinguent facilement des *C. aeneus* domestiqués non transgéniques par leur coloration rose uniforme phénotypique sous la lumière naturelle et leur fluorescence sous la lumière bleue ou ultraviolette. Les PiCA2020 peuvent être distingués génétiquement des autres corydoras transgéniques fluorescents roses portant une cassette différente à l'aide de l'amplification en chaîne par polymérase (PCR).

2.3.5. Caractérisation phénotypique

2.3.5.1. Effet phénotypique ciblé de la modification

L'effet phénotypique ciblé de la modification génétique est une couleur rose lorsque le PiCA2020 est exposé à la lumière ambiante et fluorescente sous la lumière bleue ou ultraviolette, pour créer une nouvelle variante de couleur vive destinée au marché des aquariums d'ornement. Ce nouveau phénotype de couleur se voit dans les muscles, la peau et les yeux.

L'entreprise rapporte que les individus PiCA2020 hémizygotes et homozygotes pour l'insert transgénique ne peuvent être distingués visuellement les uns des autres et qu'ils font tous partie de la population commerciale destinés à la vente publique.

2.3.5.2. Effets phénotypiques supplémentaires de la modification

L'entreprise a fourni des renseignements et des données issues d'expériences sur la tolérance aux basses températures et la capacité de reproduction utilisées pour cerner les différences potentielles entre les individus PiCA2020 et le *C. aeneus* domestiqué non transgénique qui pourraient avoir une incidence sur leur capacité de survivre et de se reproduire à l'état sauvage. Les résultats indiquent que le corydoras transgénique Moonrise Pink^{MD} présente une sensibilité au froid semblable à celle de ses frères et sœurs non transgéniques, et que la capacité de reproduction du PiCA2020 est faible par rapport à celle du *C. aeneus* albinos domestiqué.

2.4. EFFETS PLÉIOTROPIQUES DES TRANSGÈNES FLUORESCENTS CHEZ LES AUTRES POISSONS

De nombreuses protéines fluorescentes, particulièrement la protéine fluorescente verte améliorée (eGFP), sont largement utilisées dans les études sur différents organismes, et il existe certaines données pertinentes à l'évaluation des risques sur le poisson-zèbre (*Danio rerio*) transgénique pour la protéine fluorescente rouge (RFP) et d'autres protéines fluorescentes.

Il a été observé que les poissons-zèbres porteurs d'un transgène RFP étaient moins tolérants au froid que les poissons-zèbres non transgéniques non apparentés, dans des études sous différentes températures d'acclimatation (Cortemeglia and Beitinger, 2005, 2006a), bien que les différences dans le bagage génétique de la souche et les conditions d'élevage (Schaefer and Ryan, 2006) préalables à l'expérience aient pu avoir une incidence sur la tolérance relative aux températures extrêmes. En outre, Leggatt *et al.* (2018a) ont signalé que le poisson-zèbre porteur du transgène de l'eGFP, dirigé par le promoteur de la protéine Fli-1, était moins tolérant au froid que la souche non transgénique de source. Cependant, Leggatt *et al.* (2018a) ont également signalé deux autres lignées d'eGFP, dirigées par d'autres promoteurs, qui ne présentaient pas une tolérance réduite au froid. Cela indique que différentes lignées transgéniques peuvent présenter des réactions différentes à des facteurs de stress environnementaux extrêmes.

Aucun effet de la transgénèse de la protéine de fluorescence n'a été observé sur la survie des poissons-zèbres exprimant la RFP par rapport aux poissons non transgéniques apparentés dans des conditions de laboratoire (Howard *et al.* 2015). Dans une population de poissons-zèbres eGFP, RFP, eGFP-RFP et non transgéniques, la survie des poissons eGFP était plus faible. La survie des porteurs du transgène de la RFP ou du double transgène n'était toutefois pas touchée (Gong *et al.* 2003), ce qui indique que différents transgènes ou lignées transgéniques peuvent également avoir des effets différents sur la survie.

Les rapports décrivant les effets de la transgénèse de la RFP sur la vulnérabilité à la prédation présentent des résultats variés. Cortemeglia and Beitingger (2006b) ont constaté que les poissons-zèbres RFP et non transgéniques non-apparentés faisaient l'objet d'une prédation égale. Hill *et al.* (2011) ont constaté que le poisson-zèbre GloFish^{MD} exprimant la RFP est deux fois plus vulnérable à la prédation que les poissons-zèbres non transgéniques non apparentés. En revanche, Jha (2010) a découvert qu'une souche indienne de poisson-zèbre RFP domestiqué constituait une proie moins importante pour les têtes-de-serpent capturées dans la nature que le poisson-zèbre non transgénique capturé dans la nature. Les facteurs influant sur la différence de vulnérabilité relative du poisson-zèbre RFP à la prédation ne sont pas connus, mais pourraient inclure des différences dans le bagage génétique ou l'histoire de l'élevage du poisson-zèbre transgénique et non transgénique, la préférence innée ou le cycle biologique des prédateurs, ou les conditions expérimentales (p. ex. la présence d'un abri pour les espèces proies). Jha (2010) a constaté que les poissons-zèbres RFP sont plus agressifs que les poissons-zèbres non apparentés capturés dans la nature, bien que cela puisse être dû à des différences de domestication ou d'élevage. Le tétra GloFish^{MD} Electric Green^{MD} ne différait pas des tétras non transgéniques quant à la réussite de la quête de nourriture ou aux degrés d'agressivité lors de tests de compétition liée à la quête de nourriture par paires (Leggatt and Devlin 2020).

Les effets déclarés de la RFP et d'autres transgènes fluorescents sur le succès ou les préférences de reproduction du poisson-zèbre varient également d'une étude à l'autre. Les poissons-zèbres RFP et non transgéniques atteignent la maturité à un âge semblable chez les femelles apparentées, ainsi qu'une fécondité mâle et femelle comparable (Howard *et al.* 2015). Dans une population comprenant un nombre égal de poissons-zèbres eGFP et non transgéniques, les descendants eGFP n'affichaient ni avantage ni désavantage reproductif (Gong *et al.* 2003). En revanche, Owen *et al.* (2012) ont constaté que les poissons-zèbres femelles non transgéniques et exprimant la RFP (apparentées) préféraient toutes deux s'associer aux mâles RFP plutôt qu'aux mâles non transgéniques, et ce, peu importe le ratio d'individus RFP et non transgéniques dans leur cohorte d'élevage. Dans une autre étude, (Howard *et al.* 2015) ont signalé un succès d'accouplement plus faible chez les mâles RFP et moins d'agressivité envers les poissons mâles et femelles par rapport aux mâles non transgéniques apparentés.

Snekser *et al.* (2006) rapportent que le transgène RFP n'influe pas sur les préférences des partenaires sociaux pour la formation de banc ou dans un contexte se prêtant à la reproduction chez des populations vraisemblablement non apparentés de poissons-zèbres RFP et non transgéniques. Jiang *et al.* (2011) ont signalé des différences selon le sexe dans la préférence du vairon de Chine (*Tanichthys albonubes*) non transgénique pour les congénères non transgéniques ou transgéniques RFP, où les mâles non transgéniques avaient tendance à préférer les femelles transgéniques, tandis que les femelles non transgéniques préféraient les mâles non transgéniques et n'avaient aucune préférence pour un type de banc. Howard *et al.* (2015) ont étudié le devenir des spécimens porteurs du transgène RFP sur 15 générations dans le cadre d'une expérience de reproduction concurrentielle en série dans 18 populations de poisson-zèbre GloFish^{MD}. Dans toutes les populations, la fréquence du transgène RFP a

diminué rapidement et la variante a été éliminée dans toutes les populations, sauf une, ce qui indique un fort désavantage reproducteur associé au transgène RFP. Pour les GloFish^{MD} précédemment déclarés, trois des six lignées de tétras, les trois lignées de danios GloFish^{MD}, deux des trois lignées de bettas GloFish^{MD}, les quatre lignées de barbus tigrés et tétras rayon X GloFish^{MD} ont été signalées comme ayant un succès reproducteur réduit en contexte de compétition.

Dans l'ensemble, les rapports sur les effets pléiotropiques dans d'autres modèles transgéniques de protéines fluorescentes ne sont pas cohérents et, pour la plupart, ces effets seraient considérés comme préjudiciables à l'organisme (p. ex. diminution de la tolérance au froid, diminution du succès reproducteur).

2.5. CARACTÉRISATION RELATIVE AUX POISSONS GLOFISH^{MD} DÉJÀ ÉVALUÉS

Les corydoras GloFish^{MD} ont été produits à l'aide de méthodologies et protocoles d'essai semblables à ceux utilisés pour les autres lignées de poissons GloFish^{MD} déclarées et évaluées précédemment. Pour toutes les lignées de poissons GloFish^{MD} déjà déclarées, on a utilisé des éléments et des méthodes de production semblables pour la cassette d'expression du transgène (promoteurs, séquences de terminaison), mais les gènes de pigment varient selon la couleur des poissons.

3. CARACTÉRISATION DES ESPÈCES COMPARABLES

Aux fins de la présente évaluation des risques, le *Corydoras aeneus* domestiqué (Gill 1858), communément appelé corydoras, corydoras bronze, corydoras vert, fouilleur bronzé, corydoras à taches claires ou Wavy Catfish ([FishBase](#); en anglais seulement), a été choisi comme comparateur. Le *C. aeneus* est une espèce ornementale populaire qui est élevée et commercialisée en Amérique du Nord depuis 1915 environ (Nico and Fuller 2025). Il s'agit d'une espèce tropicale naturellement répartie en Amérique du Sud, du côté est des Andes, depuis la Colombie et le sud de l'île Trinité jusqu'au bassin du Rio de la Plata au Brésil et en Argentine ([FishBase](#); en anglais seulement), mais il n'est pas clair si une seule espèce occupe toute cette région (Tencatt *et al.* 2023). En captivité, le *C. aeneus* atteint une taille d'environ 7 cm, les femelles étant légèrement plus grosses que les mâles, et sa durée de vie est d'environ 10 ans ([Seriously Fish](#); en anglais seulement). Le commerce des animaux de compagnie décrit le *C. aeneus* comme un poisson non agressif vivant en bancs, sur le fond.

3.1. STATUT TAXONOMIQUE

Le *C. aeneus* est un poisson tropical d'eau douce de la famille des *Callichthyidae* (ordre des siluriformes), aussi connu comme les poissons-chats cuirassés en raison de leurs deux rangées de plaques dermiques le long de leur corps. Il existe actuellement 220 espèces valides au sein de la famille, dont 180 appartiennent au genre *Corydoras*. Dans un examen de la sous-famille *Corydoradinae*, Britto (2003) a examiné 56 espèces de corydoras et, à l'aide d'une analyse cladistique, il a été constaté que le genre n'est pas monophylétique, les espèces appartenant à différents clades.

Bien qu'il n'y ait pas d'articles scientifiques décrivant l'hybridation naturelle entre les espèces de corydoras à l'état sauvage, des forums Internet rapportent des observations dispersées d'hybrides en captivité. Teletchea (2016) a inscrit le *C. aeneus* élevé pour le commerce comme étant une espèce très domestiquée.

3.2. BESOINS PHYSIQUES, CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES

Dans la nature, le *C. aeneus* vit généralement dans des rivières et des ruisseaux au débit lent, de préférence avec des eaux boueuses peu profondes, mais il a aussi été trouvé dans des rivières à débit rapide et des étangs et marais presque stagnants (aquariumtidings.com; en anglais seulement). Sa capacité de prospérer dans des eaux stagnantes découle de sa capacité de respirer en envoyant l'air de la surface dans ses intestins, où l'air peut être absorbé par le sang. Cependant, le risque de prédation peut augmenter lorsque l'espèce remonte à la surface pour respirer (Pineda *et al.* 2020). Il est omnivore et se nourrit de vers, de crustacés, d'insectes et de matières végétales (Mills and Ververs 1982). Dans un aquarium, il peut être un mangeur vorace et avoir une incidence importante sur la densité des populations de nématodes benthiques (Majdi *et al.* 2018).

Les corydoras préfèrent une température de 22 à 29 °C, un pH entre 6 et 8, et une dureté de l'eau entre 36 et 268 ppm (aquariumtidings.com; en anglais seulement). Dans des expériences menées au MPO, lorsque la température chutait de 1 °C par jour, à partir d'une température de départ de 20,5 °C, les corydoras non transgéniques de souche albinos et issus du commerce, diminuaient leur activité à environ 14,5 °C, diminuaient leur alimentation à 13,5 °C et perdaient l'équilibre à une température moyenne de 12,7 ± 1,1 °C. (plage de 11 à 15,2 °C) (Leggatt 2025; en préparation).

3.3. CYCLE VITAL

Le comportement reproducteur de *C. aeneus* est complexe. Comme le décrivent Sakurai *et al.* (1992) : *à l'arrivée de la saison de fraie, les mâles entament une parade nuptiale et touchent le dos des femelles. Une fois que la femelle accepte ces avances, le mâle fait vibrer son corps et l'incite à amorcer des activités de fraie. La femelle aspire le sperme dans sa bouche à partir du pore génital du mâle. À ce stade, la femelle éjecte une couvée d'œufs qu'elle tient ensuite de façon unique entre ses nageoires ventrales. Après avoir trouvé un endroit convenable, elle recrache le sperme sur ce site et y fixe ensuite les œufs, et la fécondation a lieu. Au cours de cette série d'activités répétées, plus de 200 œufs peuvent être pondus.* Dans la nature, la reproduction de *C. aeneus* coïncide avec la saison des pluies, mais il est probable que la maturation soit continue et que les femelles puissent se reproduire plus d'une fois par saison (Alkins-Koo *et al.* 2000). Dans l'aquarium, ou en production commerciale, l'état de reproduction des poissons adultes est déclenché par la manipulation des températures de l'eau et des régimes de remplacement de l'eau (composition chimique de l'eau). La parade nuptiale peut se dérouler sur plusieurs jours avant que les poissons soient prêts à s'accoupler, ce qui peut se produire plusieurs fois sur une période de plusieurs heures.

À 25 °C, les œufs fécondés éclosent au bout de trois jours, et les poissons sont prêts à se nourrir trois à cinq jours après l'éclosion. Les corydoras femelles mettent environ 12 mois à atteindre la maturité sexuelle à une taille légèrement supérieure à celle des mâles, qui prennent environ 24 mois. Les mâles adultes mesurent environ 6,5 cm de longueur, tandis que les femelles adultes sont légèrement plus grandes à 7 cm.

3.4. BAGAGE GÉNÉTIQUE

Pour le genre *Corydoras*, le nombre de chromosomes et la teneur en ADN nucléaire varient considérablement, ce qui indique une histoire évolutive caractérisée par des duplications du génome et d'importants réarrangements chromosomiques (Carvaho *et al.* 1998; Bell *et al.* 2020). En effet, chez le *C. aeneus*, le nombre de chromosomes est variable, et des individus diploïdes et naturellement tétraploïdes sont observés.

Sun *et al.* (2022) ont séquencé l'ensemble du génome mitochondrial de *C. aeneus* dans le cadre d'une analyse phylogénétique de 44 espèces de poissons de l'ordre des siluriformes. Ils ont constaté que les espèces du genre *Corydoras* se regroupaient en un seul groupe monophylétique au sein de la famille des *Callichthyidae*, et que la taille du génome mitochondrial, le contenu génétique et l'arrangement génétique chez les *Corydoras* étaient hautement conservés.

Aucun rapport publié ne tient compte de la génétique de *C. aeneus* ou d'autres espèces du genre *Corydoras* à l'échelle des populations. Cependant, Bell *et al.* (2020) ont observé une faible variabilité au niveau du gène du récepteur de type Toll lié à l'immunité chez le *Corydoras maculifer* (n = 20) et le *Corydoras araguaiaensis* (n = 41), deux espèces coexistantes qui sont respectivement diploïdes et présumées tétraploïdes.

3.5. CARACTÈRE ENVAHISSANT

Le *C. aeneus* domestiqué est une espèce populaire qui est commercialisée et vendue au Canada et aux États-Unis depuis plus de 100 ans, sans preuve de caractère envahissant. Les seuls exemples de populations établies de *C. aeneus* à l'extérieur de leur aire de répartition naturelle sont ceux signalés en 1984 pour les cours d'eau douce des îles Oahu et Kauai, à Hawaï (USFWS 2017). Toutefois, les effets négatifs sur les écosystèmes locaux ne sont pas documentés et la situation actuelle de ces populations est inconnue. Selon Hill *et al.* (2017), le potentiel d'envahissement de *C. aeneus* aux États-Unis limitrophes se situe légèrement au-dessus du seuil inférieur selon l'outil d'évaluation du caractère envahissant des poissons (FISK).

Tuckett *et al.* (2017) ont trouvé des preuves de la présence d'une espèce établie de la famille des *Callichthyidae*, l'hoplo brun (*Hoplosternum littorale*), à moins de 500 mètres de l'effluent des fermes de poissons tropicaux d'ornement près de Tampa Bay, en Floride, mais n'ont jamais détecté le *C. aeneus*. D'autres introductions d'espèces de corydoras non identifiées ont été observées au Colorado et en Floride, mais elles ont été observées pour la dernière fois en 1986 et en 1984, respectivement, sans qu'aucun effet environnemental n'ait été signalé.

4. CARACTÉRISATION DU MILIEU RÉCEPTEUR POTENTIEL

Bien que les profils de température annuels de nombreux lacs et cours d'eau du Canada varient, tout comme les températures minimales et maximales moyennes, la plupart atteignent 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 valeur. De ces derniers lacs, tous sauf un affichent une température minimale inférieure à 6 °C, et le seul lac dont la température minimale est supérieure à 6 °C (le lac Cowichan) affiche parfois des températures minimales inférieures à 6 °C (voir Leggatt *et al.* 2018a). Il convient de noter que les enregistrements de température de ces lacs plus chauds sont souvent limités à une seule mesure par hiver, et les températures enregistrées peuvent ne pas représenter la température la plus froide ou la plus chaude obtenue pendant les mois d'hiver. Compte tenu de ce qui précède, 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 entre 4 et 6 °C).

Précisons que les profils de température de nombreux plans d'eau douce présentent une certaine hétérogénéité. Par exemple, les contributions des eaux souterraines peuvent faire monter ou baisser les températures dans des zones localisées d'un plan d'eau, et les eaux près des rives connaissent plus souvent des températures extrêmes que les eaux profondes. De

plus, les températures moyennes des eaux douces de surface au Canada augmentent en raison des changements climatiques, et elles devraient 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 des organismes ayant une tolérance modérée au froid sont susceptibles de survivre pourrait augmenter.

On présente dans Leggatt *et al.* (2018a) une description plus détaillée des milieux récepteurs potentiels au Canada dans le contexte de l'introduction de poissons tropicaux d'eau douce.

5. ÉVALUATION DES RISQUES POUR L'ENVIRONNEMENT

La présente section comprend l'évaluation des risques pour l'environnement effectuée en vertu de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (LCPE) en ce qui concerne les trois lignées de corydoras GloFish^{MD} décrites dans la première partie du document et déclarées par Spectrum Brands conformément au *Règlement sur les renseignements concernant les substances nouvelles (organismes)*. Compte tenu des espèces comparables communes et des similitudes physiologiques et écologiques entre les trois lignées, la section suivante traite de toutes les lignées ensemble. Le format de l'évaluation des risques pour l'environnement suit celui utilisé précédemment pour les autres lignées de GloFish^{MD}, à savoir celles des tétras, des danios (MPO, 2020a, 2020b), des bettas (MPO 2021a), des barbus tigrés (MPO 2023), des tétras rayon X (MPO 2024) et des labéos verts (MPO 2026). Sauf indication contraire, les résultats de l'évaluation actuelle sont équivalents à ceux des évaluations de GloFish^{MD} précédentes.

5.1. ÉVALUATION DE L'EXPOSITION

L'évaluation de l'exposition pour les trois organismes vivants traite à la fois de la probabilité qu'ils pénètrent dans l'environnement (rejet) et de leur devenir une fois dans l'environnement. La probabilité et l'ampleur de l'exposition environnementale sont déterminées par l'intermédiaire d'une évaluation approfondie de tout le cycle vital qui détaille les potentiels de rejet, de survie, de persistance, de reproduction, de prolifération et de dissémination de l'organisme dans l'environnement canadien. Le tableau 1 présente le classement des probabilités d'exposition de l'environnement canadien.

Tableau 1. Classement de la probabilité d'exposition de l'environnement canadien à des poissons génétiquement modifiés.

Probabilité d'exposition	Évaluation
Négligeable	Aucune présence; non observé dans l'environnement canadien ¹
Faible	Présence rare et isolée; présence éphémère
Modérée	Présence fréquente, mais seulement à certaines périodes de l'année ou dans des régions isolées
Élevée	Présence fréquente tout au long de l'année et/ou dans diverses régions

¹ Extrêmement improbable ou imprévisible

Étant donné le statut réglementaire des poissons génétiquement modifiés soumis à une évaluation du risque pour l'environnement en vertu de la LCPE, l'absence de données empiriques sur la survie, la valeur adaptative et la capacité de reproduction des corydoras

GloFish^{MD} dans l'environnement naturel contribue à l'incertitude dans l'évaluation de l'exposition. L'incertitude quant au devenir environnemental d'un organisme ou l'échec de son confinement biologique et géographique peut dépendre de l'accessibilité 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 2 présente le classement de l'incertitude associée à la probabilité de présence de l'organisme et à son devenir dans l'environnement canadien.

Toutes les évaluations précédentes des lignées de GloFish^{MD} déclarées et évaluées ont permis de conclure à un faible indice d'exposition environnementale avec un faible niveau d'incertitude. Aucune caractéristique moléculaire ou phénotypique connue chez les corydoras GloFish^{MD} ne semble indiquer un classement différent de celui des lignées évaluées précédemment, et aucun nouveau texte scientifique n'a été publié qui pourrait modifier les classements précédents. Par conséquent, l'évaluation de l'exposition environnementale pour les corydoras GloFish^{MD} est **faible**, avec un **faible** niveau d'incertitude qui est cohérent avec les lignées déclarées précédemment. Des précisions soutenant cette conclusion suivent.

Tableau 2. Classement de l'incertitude associée à la probabilité de la présence de l'organisme et à son devenir dans l'environnement canadien (exposition environnementale).

Incertitude	Information accessible
Négligeable	Données de grande qualité sur l'organisme (p. ex. stérilité, tolérance aux températures et valeur adaptative). Données relatives aux paramètres environnementaux du milieu récepteur et au point d'entrée. Preuve de l'absence d'effets génotype-environnement 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. Données sur les paramètres environnementaux du milieu récepteur. Compréhension des effets génotype-environnement potentiels dans différentes conditions environnementales pertinentes. Signes de variabilité.
Modérée	Données limitées sur l'organisme, les organismes apparentés ou les substituts valides. Données limitées concernant les paramètres environnementaux du milieu récepteur. Lacunes dans les connaissances. Dépendance à l'égard de l'historique de l'utilisation ou l'expérience avec des populations dans d'autres zones géographiques présentant des conditions environnementales semblables ou meilleures qu'au Canada.
Élevée	Importantes lacunes dans les connaissances. Dépendance importante à l'égard des opinions d'experts.

5.1.1. Probabilité de rejet

Bien que les organismes soient destinés à la vente sur le marché des poissons d'ornement et que les amateurs qui les achètent suivent, pour la plupart, les instructions d'élimination recommandées par le détaillant ou l'entreprise déclarante elle-même, il est tout de même fort probable que des corydoras GloFish^{MD} seront introduits dans l'environnement canadien. Une fois les organismes vendus au détail, ils ne sont 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. De nombreux poissons d'aquarium se sont établis dans des milieux naturels en Amérique du Nord; des signalements récurrents, bien qu'isolés, témoignent de la présence de poissons d'aquarium dans les eaux canadiennes, et il y a lieu de croire que la libération de ces organismes dans l'environnement est une pratique courante et continue (Kerr *et al.* 2005; Rixon *et al.* 2005; Marson *et al.* 2009; Strecker *et al.* 2011; MPO 2021b). La mesure dans laquelle l'environnement sera exposé aux corydoras GloFish^{MD} dépendra donc fortement de la capacité de ces poissons à survivre et à se reproduire dans les lacs et les rivières du Canada.

5.1.2. Probabilité de survie

Comme *C. aeneus* est une espèce tropicale, elle ne devrait pas survivre en région tempérée, où la température de l'eau est inférieure à la température optimale pour sa survie. En effet, la température de l'eau est un facteur abiotique clé qui influe sur la survie et la reproduction de la plupart des populations de poissons d'eau douce; c'est aussi un facteur important dans la détermination du caractère convenable de l'habitat (Magnuson *et al.* 1979; Jobling 1981).

En aquarium, *C. aeneus* se porte mieux à des températures comprises entre 22 et 29 °C (aquariumtidings.com; en anglais seulement; voir la section 3.2).

Dans des expériences menées au MPO (voir la section 3.2), lorsque la température chutait de 1 °C par jour, à partir d'une température de départ de 20,5 °C, les corydoras non transgéniques de souche albinos et issus du commerce, diminuaient leur activité à environ 14,5 °C, diminuaient leur alimentation à 13,5 °C et perdaient l'équilibre à une température moyenne de 12,7 ± 1,1 °C (plage de 11 à 15,2 °C) (Leggatt; données non publiées).

Comme discuté dans la section 4.1, il n'existe aucun lac connu au Canada qui demeure constamment au-dessus de 7 °C pendant une année entière, ou au-dessus de 6 °C sur plusieurs années, et presque tous ne demeurent pas au-dessus de 4 °C tout au long de l'année (à l'exception de ceux où il y a des sources thermales et des effluents industriels). Par conséquent, les températures nécessaires à la survie des corydoras GloFish^{MD} pourraient être présentes dans plusieurs lacs canadiens pendant l'été, mais sont extrêmement improbables durant l'hiver canadien.

Il convient de noter que les températures moyennes des eaux douces de surface au Canada augmentent en raison des changements climatiques mondiaux. Le MPO (2013) a prévu une augmentation de 1,5 à 4,0 °C au cours des 50 prochaines années, et, dans son rapport, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat prévoit des augmentations de 2 à 7 °C des températures de surface des lacs à l'échelle mondiale (IPCC 2021). Bien que la majorité des réseaux d'eau douce qui présentent une couverture de glace importante en hiver devraient connaître une diminution du nombre de jours de glace (MPO 2013), le maintien de toute couverture de glace en hiver entraînerait des températures égales ou inférieures à 4 °C à un certain moment au cours de l'hiver, ce qui empêcherait la survie à l'année des corydoras GloFish^{MD}. Les données sur la tolérance au froid indiquent un potentiel de survie négligeable dans les eaux canadiennes, même avec la hausse des températures de l'eau associée aux changements climatiques. Au mieux, sa présence dans l'environnement serait saisonnière ou éphémère.

5.1.3. Probabilité de reproduction

Même si les températures de l'eau au Canada limiteront la persistance des corydoras GloFish^{MD} dans l'environnement (voir la section 5.1.2), ceux-ci pourraient encore avoir le temps de se reproduire s'ils sont introduits au début d'une saison chaude. Par exemple, le lac Osoyoos, dans l'intérieur de la Colombie-Britannique, est l'un des plus chauds du Canada pendant l'été, avec une température moyenne comprise entre 20 et 25 °C pendant deux mois de l'année (de la mi-juillet à la mi-septembre), les températures plus élevées (p. ex. 25 °C) étant limitées à une période encore plus courte (p. ex. de la fin juillet au début août; (BCLSS, 2013). Les corydoras pourraient également se reproduire dans des zones isolées d'eau chaude (p. ex. sources thermales, effluents industriels).

Dans la nature, la reproduction de *C. aeneus* coïncide avec la saison des pluies, mais il est probable que la maturation soit continue et que les femelles puissent se reproduire plus d'une fois par saison (Alkins-Koo *et al.* 2000). La parade nuptiale peut se dérouler sur plusieurs jours avant que les poissons soient prêts à s'accoupler, ce qui peut se produire plusieurs fois sur une période de plusieurs heures. À 25 °C, les œufs fécondés éclosent au bout de trois jours, et les poissons sont prêts à se nourrir trois à cinq jours après l'éclosion (voir la section 3.3).

Même si certains lacs au Canada peuvent atteindre une température de 25 °C pendant de courtes périodes en été (voir la section 4), il est très peu probable que toutes les autres conditions environnementales saisonnières nécessaires à la maturité sexuelle et à la reproduction de *C. aeneus* se produisent dans un environnement tempéré. Par conséquent, la

reproduction de *C. aeneus* au cours de cette courte période, et dans un environnement tempéré, est très peu probable.

5.1.4. Probabilité de prolifération et de dissémination

Les corydoras GloFish^{MD} ne peuvent proliférer et se disséminer dans l'environnement canadien, puisque le *C. aeneus* ne peut survivre à l'hiver. Les corydoras GloFish^{MD} rejetés occuperaient probablement des rivières et des cours d'eau à faible débit, de préférence avec des eaux boueuses peu profondes, d'après les connaissances sur l'habitat de prédilection de l'espèce sauvage dans la nature (voir la section 3.2). Ces zones devraient présenter des variations de température plus grandes que les eaux profondes ou la partie médiane des lacs, où sont souvent prises les mesures de la température de l'eau (Trumpikas *et al.* 2015). Les températures hivernales périodiques peuvent donc être plus froides que ne l'indiquent les données enregistrées, ce qui réduirait d'autant plus le potentiel d'hivernage des corydoras GloFish^{MD}.

5.1.5. Conclusions de l'évaluation de l'exposition

Compte tenu de l'analyse ci-dessus, la présence des corydoras GloFish^{MD} dans l'environnement canadien devrait être rare, isolée et éphémère. Par conséquent, la probabilité d'exposition de l'environnement canadien à des corydoras GloFish^{MD} est considérée comme **faible** selon le tableau 1. L'incertitude associée à cette estimation est **faible** (tableau 2), étant donné la qualité des données (tolérance aux températures) accessibles sur les corydoras GloFish^{MD} et sur les substituts valides, les signes d'une variabilité (tolérance aux températures, succès de la reproduction, faible variabilité de la couleur), ainsi que les données accessibles sur les paramètres environnementaux du milieu récepteur au Canada. Même si les interactions génotype-environnement peuvent contribuer à la variabilité observée de la sensibilité à la température, la caractéristique ne devrait pas changer au-delà de la plage normale de tolérance aux basses températures et ne devrait pas améliorer la capacité des organismes de survivre à des températures basses dans la nature. Cette cote est conforme à la cote d'exposition faible et la faible incertitude pour toutes les autres espèces de GloFish^{MD}.

L'entreprise déclarante indique que la seule utilisation prévue des organismes déclarés est celle de poisson d'ornement d'intérieur destiné aux aquariums domestiques fixes. Cependant, une fois ces poissons achetés par les consommateurs, les autres utilisations non prévues ne peuvent être écartées (élevage dans des étangs extérieurs, utilisation comme poissons d'appâts, etc.). Certaines utilisations non prévues pourraient mener au rejet de corydoras GloFish^{MD}, mais elles ne devraient pas modifier la capacité de ces organismes de passer l'hiver dans un environnement canadien, ni le faible niveau d'exposition de l'environnement à ces organismes.

Bien que l'évolution de la température de l'eau associée aux changements climatiques mondiaux puisse accroître l'incertitude lorsqu'il s'agit de déterminer la capacité des organismes déclarés de survivre, de se reproduire et de proliférer dans les écosystèmes canadiens d'eau douce, cela n'influe pas sur le classement final d'une faible exposition environnementale.

5.2. ÉVALUATION DES DANGERS

L'évaluation des dangers examine les répercussions potentielles sur l'environnement qui pourraient découler de l'exposition aux corydoras GloFish^{MD}. Le processus de détermination des dangers tient compte des voies possibles des dommages, y compris ceux liés à la toxicité environnementale (c.-à-d. le potentiel toxique), à la transmission de gènes, aux interactions trophiques, en tant que vecteur d'agents pathogènes, ainsi qu'à la capacité d'influer sur les

composantes de l'écosystème (p. ex. habitat, cycle nutritif, biodiversité). Dans le tableau 3, 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. Toute différence dans les paramètres de mesure est évaluée par rapport à la variation « normale », selon les études publiées et les opinions des experts.

Tableau 3. Classement des dangers pour l'environnement découlant de l'exposition à l'organisme.

Classement du danger	Évaluation
Négligeable	Aucun effet ¹
Faible	Aucun effet nocif ²
Modéré	Effets nocifs réversibles
Élevé	Effets nocifs irréversibles

¹ Aucune réponse biologique attendue au-delà des fluctuations naturelles. ² Effet 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.

L'incertitude entourant l'évaluation des dangers est importante en raison des lacunes dans les connaissances et des données empiriques insuffisantes sur le comportement et les effets des corydoras GloFish^{MD} lorsqu'ils se trouvent dans l'environnement naturel. Les paramètres d'évaluation de l'incertitude portent sur les effets potentiels sur l'environnement, qui peuvent s'appuyer fortement sur l'information et les données figurant dans la documentation scientifique publiée et révisée par les pairs. Le tableau 4 décrit les classements relatifs à l'incertitude concernant les dangers potentiels posés par les organismes dans l'environnement.

Tableau 4. Classement de l'incertitude associée aux dangers pour l'environnement.

Classement de l'incertitude	Information accessible
Négligeable	Données de grande qualité sur les organismes. Preuve de l'absence d'effets des interactions génotype-environnement 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. Compréhension des effets des interactions génotype-environnement dans les conditions environnementales pertinentes. Une certaine variabilité.
Modérée	Données limitées sur les organismes, les organismes apparentés ou les substituts valides. Compréhension limitée des effets des interactions génotype-environnement dans les différentes conditions environnementales pertinentes. Lacunes dans les connaissances. Dépendance à l'égard des opinions d'experts.
Élevée	Importantes lacunes dans les connaissances. Dépendance importante à l'égard des opinions d'experts.

En ce qui concerne l'incertitude, la qualité des données renvoie aux données ou aux renseignements accessibles pour chaque paramètre examiné, à l'intégration de ces renseignements et à l'étendue des conditions expérimentales examinées, à la taille de l'échantillon, au caractère approprié des témoins, à l'analyse statistique ainsi qu'à la conception des expériences et à l'interprétation des résultats. La variabilité concerne à la fois la gamme des différences phénotypiques entre les individus ou les souches dans un même environnement, ainsi que l'éventail des conditions physiques, chimiques et biologiques que peut rencontrer un poisson génétiquement modifié dans le milieu récepteur. Les grands principes qui influent sur le niveau d'incertitude dans les évaluations des dangers associés aux poissons génétiquement modifiés (p. ex. interactions génotype-environnement, effets du bagage génétique, effets non ciblés ou pléiotropiques) sont présentés en détail dans Leggatt *et al.* (2018b) et Devlin *et al.* (2015).

L'utilisation proposée des corydoras GloFish^{MD} au Canada (importation et transport dans des conteneurs fixes, entreposage dans des aquariums fixes de grossistes et de détaillants, élevage dans des aquariums domestiques fixes) réduit au minimum les séquences d'effets sur l'environnement canadien. La majorité des dangers posés par les corydoras GloFish^{MD} (p. ex. interactions avec d'autres organismes, conséquences sur le cycle biogéochimique, l'habitat et la

biodiversité) serait causée par un rejet direct de poissons dans des écosystèmes aquatiques naturels, bien que certains dangers pourraient en découler indirectement, par le rejet d'eaux usées ou de carcasses dans l'environnement (p. ex. toxicité pour l'environnement, transmission horizontale de gènes, vecteur de maladies).

Toutes les évaluations des lignées de GloFish^{MD} précédemment déclarées ont abouti à un indice de danger négligeable pour la plupart des voies de pénétration dans l'environnement et à un indice de danger faible pour la transmission horizontale de gènes, avec une incertitude allant de négligeable à modérée. Bien que *C. aeneus* diffère des espèces précédemment déclarées dans certains phénotypes (c.-à-d. le comportement reproducteur et la physiologie), aucune caractéristique moléculaire ou phénotypique connue des corydoras GloFish^{MD} dérivée des modifications génétiques ne semble indiquer un classement différent de celui des lignées précédemment évaluées, et aucun nouveau texte scientifique qui modifierait les classements précédents n'a été publié. Par conséquent, les évaluations des risques pour l'environnement posés par les corydoras GloFish^{MD} sont cohérentes avec celles des autres espèces de GloFish^{MD} précédemment déclarées. Des précisions soutenant ces conclusions suivent, et de plus amples détails sur chaque évaluation des risques sont accessibles dans Leggatt *et al.* (2018b).

5.2.1. Dangers possibles liés à la toxicité environnementale

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 par des prédateurs. L'exposition de l'environnement aux protéines fluorescentes devrait être plus faible que l'exposition aux protéines des lignées de corydoras GloFish^{MD}, bien que les différentes voies d'exposition ne soient pas nécessairement comparables. Les protéines fluorescentes sont souvent utilisées comme marqueurs neutres dans la recherche scientifique, et ce, chez une vaste 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 sur les organismes hôtes sont probablement dus à la production de protéines dans la cellule hôte, et il ne devrait pas y avoir d'effets similaires suite à l'exposition par contact ou par ingestion.

Les déclarations indiquent la réalisation d'une analyse de l'allergénicité de la séquence d'acides aminés des protéines fluorescentes sur [Allermatch^{MC}](#) et [AllergenOnline](#) qui 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 d'autres espèces de GloFish^{MD} contenant des transgènes codant les mêmes protéines que celles des lignées de corydoras GloFish^{MD} n'a été signalé, tant au Canada qu'aux États-Unis. Par conséquent, le danger potentiel pour l'environnement lié à la toxicité environnementale des corydoras GloFish^{MD} est classé **négligeable**. L'incertitude liée à ce classement est **modérée** en raison des données directes limitées sur les organismes déclarés ou les organismes substitués, et du recours à des preuves anecdotiques et indirectes provenant d'autres organismes. Ce résultat correspond avec ceux des évaluations des espèces de GloFish^{MD} précédemment déclarées, et aucune nouvelle donnée pertinente n'est devenue accessible depuis les analyses des lignées de GloFish^{MD} précédemment déclarées.

5.2.2. Dangers possibles liés à la transmission horizontale de gènes

La transmission horizontale de gènes (THG) consiste en l'échange non sexuel de matériel génétique entre des organismes de la même espèce ou de différentes espèces (MPO 2006). Les voies d'exposition de nouveaux organismes (très probablement des procaryotes) à de

l'ADN transgénique libre peuvent comprendre l'exposition à l'intérieur des intestins et l'exposition aux excréments, au mucus et aux autres déchets rejetés dans l'eau par le poisson. Les constructions transgéniques ne contiennent pas d'éléments transposables qui pourraient accroître le potentiel d'absorption ou de mobilité de l'ADN vers un nouvel organisme. L'expression du transgène en un changement phénotypique nécessite une transmission concomitante d'éléments régulateurs. Une forte proximité des promoteurs aux transgènes pigmentaires pourrait accroître la probabilité de transmission concomitante et d'expression, mais les promoteurs des vertébrés présentent généralement une faible activité chez les procaryotes. Une étude récente a analysé le potentiel de THG de transgènes de protéines fluorescentes en utilisant des mouches des fruits génétiquement modifiées (transgéniques pour DsRed) et leur parasitoïde (Ramirez-Santos *et al.* 2018). Les auteurs n'ont trouvé aucune preuve de THG du transgène de la protéine fluorescente sur 16 générations d'élevage expérimental, tout en mettant en garde contre la possibilité que leur plan d'étude n'ait pas permis de détecter des événements rares de THG ou de transfert de transgènes mutés.

Des gènes codants des protéines fluorescentes ont été introduits dans une grande diversité d'organismes, et seuls quelques cas d'effets nocifs découlant de l'introduction du transgène ont été signalés. Il y a donc lieu de penser que l'introduction du transgène par THG dans un nouvel hôte ne devrait pas entraîner d'effets nocifs, si elle se produit. Graham and Davis (2021) ont récemment démontré la THG d'un gène favorable à l'environnement (protéine antigel) entre deux espèces de poissons à une échelle évolutive. Bien que cela démontre que la THG peut se produire très rarement avec des gènes avantageux entre organismes d'un niveau trophique plus élevé, l'absence d'avantage lié à la valeur adaptative (p. ex. tolérance au froid) conférée par les transgènes de protéines fluorescentes actuels suggère que si une THG se produisait, elle se ferait probablement sur un seul organisme. 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 classé **faible** en raison de l'absence d'effets nocifs attendus liés à une telle introduction. Bien que les transgènes soient bien définis, la connaissance limitée de leur emplacement dans le génome du *C. aeneus* ainsi que l'absence d'études sur la THG des transgènes et les conséquences qui en découlent donnent lieu à une incertitude **modérée**. Ces résultats concordent avec les évaluations précédentes des espèces de GloFish^{MD}, bien que l'incertitude pour certains groupes (les tétras) ait été classée faible (tableau 12). Ici, de même que pour les danios, les bettas, les barbus, les tétras rayon X et les labéos verts GloFish^{MD}, la cote d'incertitude a été relevée à modérée afin de mieux refléter l'absence ou le nombre limité d'études pertinentes sur la THG et ses conséquences.

5.2.3. Dangers possibles liés aux interactions avec d'autres organismes

Si des corydoras GloFish^{MD} étaient rejetés dans l'environnement, ils pourraient interagir avec d'autres organismes présents dans les écosystèmes d'eau douce canadiens, dont de possibles proies, compétiteurs et prédateurs. Les interactions trophiques du *C. aeneus* sauvage dans son aire de répartition d'origine ne sont pas bien documentées, ni celles du *C. aeneus* non transgénique domestiqué échappé dans d'autres zones. Les données limitées décrites ci-dessous indiquent que le *C. aeneus* non transgénique pourrait avoir une incidence limitée sur les espèces canadiennes par l'intermédiaire d'interactions trophiques, et que les corydoras GloFish^{MD} auraient probablement une incidence similaire par des interactions trophiques.

Les corydoras sauvages sont omnivores et se nourrissent de vers, de crustacés, d'insectes et de matières végétales (Mills and Vevers 1982). Dans un aquarium, ils peuvent être des mangeurs voraces et avoir une incidence importante sur la densité des populations de nématodes benthiques (Majdi *et al.* 2018). Par conséquent, ils peuvent avoir un effet sur les

populations localisées de petites proies ou de compétiteurs occupant des niches semblables à l'endroit de leur rejet.

Le commerce des animaux de compagnie décrit le *C. aeneus* comme un poisson non agressif vivant en bancs, sur le fond. Les informations anecdotiques fournies par la société déclarante indiquent qu'aucune différence de comportement n'a été détectée entre les corydoras GloFish^{MD} et les corydoras non transgéniques vendus sur le marché des animaux de compagnie. Dans des expériences avec des organismes substitués, les tétras GloFish^{MD} Electric Green^{MD} ont eu un comportement agressif et un succès de quête de nourriture semblables à ceux des frères et sœurs non transgéniques lors d'essais d'alimentation par paires (Leggatt et Devlin 2020). Cependant, Howard *et al.* (2015) a constaté que le poisson-zèbre RFP présentait une agressivité et un succès d'accouplement des mâles plus faibles que ses frères et sœurs non transgéniques. Ces études, bien que menées sur des espèces substitutives, suggèrent que la transgénèse des protéines fluorescentes peut diminuer ou ne pas affecter la réussite concurrentielle chez les poissons tropicaux.

Compte tenu des faibles températures prévues presque toute l'année dans les écosystèmes d'eau douce du Canada et de l'absence de preuves d'un comportement modifié par les modifications génétiques, les possibles effets du rejet prévu de corydoras GloFish^{MD} sur les espèces aquatiques indigènes, par prédation ou compétition, devraient être négligeables presque toute l'année, et ne pas être plus importants que ceux du *C. aeneus* non transgénique.

Les corydoras GloFish^{MD} rejetés pourraient constituer de nouvelles proies, et risquent donc aussi d'avoir une incidence sur les populations indigènes de prédateurs. Ils pourraient avoir un effet positif sur les populations de prédateurs en fournissant une nouvelle source de nourriture, ou un effet négatif si l'ingestion de corydoras GloFish^{MD} cause des effets nocifs sur les populations de prédateurs. Cette deuxième situation est improbable, puisque les corydoras GloFish^{MD} ne sont pas censés être toxiques pour l'environnement (voir la section 5.2.1).

La pression de prédation sur les corydoras GloFish^{MD} par rapport au *C. aeneus* non transgénique n'a pas été signalée. Il est possible que les corydoras aux couleurs vives soient davantage soumis à des pressions sélectives telles que la prédation, un effet observé chez d'autres espèces de poissons tropicaux d'ornement élevés pour leur couleur (Tuckett *et al.* 2021). Cependant, l'effet de la transgénèse fluorescente dans d'autres modèles transgéniques (poisson-zèbre RFP) est contradictoire, le poisson-zèbre exprimant la RFP ayant une vulnérabilité à la prédation plus élevée, égale ou inférieure à celle des poissons non transgéniques non apparentés. Ces résultats variables peuvent être dus à des différences dans l'historique d'élevage, le bagage génétique ou les conditions expérimentales des études. Comme ce n'est pas connu si l'une ou l'autre des études susmentionnées sur la vulnérabilité à la prédation peut s'appliquer aux corydoras GloFish^{MD} dans les environnements canadiens, il est impossible d'estimer avec une certitude raisonnable leur vulnérabilité par rapport à leurs congénères non transgéniques. Cependant, en raison de l'absence de toxicité attendue résultant de l'ingestion de corydoras GloFish^{MD}, et de l'introduction aux échelles prévues, les corydoras GloFish^{MD} ne devraient pas constituer un danger pour les prédateurs indigènes, quelle que soit la vulnérabilité potentielle à la prédation.

Compte tenu de la faible activité de *C. aeneus* dans les eaux froides et de l'absence de modifications constatées dans le comportement trophique des lignées déclarées, les corydoras GloFish^{MD} ne devraient pas affecter les interactions trophiques des organismes indigènes au-delà des fluctuations naturelles. Le danger qui leur est associé est donc **négligeable** par rapport à leurs congénères non transgéniques. Le manque d'études portant directement sur les dangers des corydoras GloFish^{MD}, les données accessibles limitées sur les organismes substitués (poisson-zèbre RFP) et la mauvaise compréhension des interactions génotype-

environnement en ce qui concerne l'agressivité et la vulnérabilité à la prédation dans les modèles transgéniques fluorescents substitués se traduisent par un niveau d'incertitude **modéré**. Ce résultat concorde avec ceux des évaluations des autres espèces de GloFish^{MD} déclarées.

5.2.4. Dangers possibles liés à l'hybridation avec des espèces indigènes

L'espèce *Corydoras aeneus* est un poisson d'eau douce de la famille des *Callichthyidae* (aussi connu comme les poissons-chats cuirassés), qui sont néotropicaux. Elle n'est présente qu'en Amérique du Sud, aussi loin qu'au nord du Panama. Les corydoras ne sont pas présents en Amérique du Nord ni ailleurs, à l'exception d'une population de *C. aeneus* introduite à Hawaï qui a été confirmée pour la dernière fois en 1984, et d'autres introductions au Colorado et en Floride au milieu des années 1980 qui n'ont pas été confirmées récemment. Bien que l'espèce *C. aeneus* compte de nombreuses espèces congénères dans son aire de répartition naturelle (Tencatt *et al.* 2023), aucune n'est établie au Canada et aucun autre genre de la famille des *Callichthyidae* n'est indigène au Canada. Par conséquent, le risque que les corydoras GloFish^{MD} présentent des dangers en raison d'une hybridation naturelle avec un poisson indigène au Canada est **négligeable**. Des données de grande qualité sur les besoins en matière de reproduction et la répartition des espèces de la famille des *Callichthyidae* et des genres apparentés donnent lieu à une incertitude **faible**.

5.2.5. Dangers possibles en tant que vecteur de maladies

Les poissons d'ornement d'aquarium commerciaux sont des vecteurs courants d'agents pathogènes, tels que des virus, des bactéries, des champignons ou des parasites (Evans and Lester 2001; Řehulka *et al.* 2006; Whittington and Chong 2007; Hongslo and Jansson 2009; Rose *et al.* 2013).

Alors que les agents pathogènes sont courants chez les poissons d'aquarium d'eau douce d'origine tropicale, tout agent pathogène dont les corydoras GloFish^{MD} seraient porteurs devrait être d'origine tropicale et/ou persister dans les eaux chaudes que l'on trouve normalement dans les aquariums domestiques (p. ex. 25-28 °C) et, par conséquent, pourrait avoir une capacité limitée de persister à l'intérieur ou à l'extérieur des corydoras GloFish^{MD} s'ils étaient rejetés dans les milieux d'eau douce canadiens qui sont plus froids.

C. aeneus ne figure pas sur la liste des quelques espèces tropicales vulnérables à des maladies d'importance majeure pour la santé des animaux aquatiques et l'économie canadienne, dressée par l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) ([Espèces d'animaux aquatiques vulnérables](#)). Puisque le principal mode d'entrée au Canada des corydoras GloFish^{MD} sera l'importation en provenance des États-Unis, l'ACIA jouera un rôle essentiel dans la réglementation des agents pathogènes associés aux *C. aeneus* importés au Canada. Toute personne qui importe des animaux aquatiques figurant sur la liste des espèces vulnérables doit obtenir un permis d'importation relatif à la santé des animaux aquatiques, tandis que toutes les autres importations doivent faire l'objet d'une « déclaration » à la frontière.

La possibilité que la capacité des corydoras GloFish^{MD} d'agir comme vecteurs d'agents pathogènes ait été modifiée n'a pas été examinée directement. 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, il a été démontré que l'expression de l'eGFP diminue l'activation des lymphocytes T (Koelsch *et al.* 2013), induit la sécrétion de cytokine IL-6 (Mak *et al.* 2007), inhibe les voies de signalisation immunitaire (Baens *et al.* 2006), et modifie l'expression des gènes en jeu dans la fonction immunitaire (Coumans *et al.* 2014) et la réponse au stress (Badrian and Bogoyevitch 2007). De plus, Chou *et al.* (2015) ont signalé

que des souris transgéniques pour DsRed présentaient des modifications du nombre de certains globules blancs (lymphocytes et monocytes), mais pas d'autres. Cependant, de nombreuses autres espèces et lignées fluorescentes transgéniques d'aquarium ont été cultivées à l'échelle commerciale aux États-Unis depuis 2003, sans changement observé dans la vulnérabilité aux maladies ou dans la capacité d'agir comme vecteur. Par conséquent, il existe un potentiel **négligeable** que les corydoras GloFish^{MD} présentent une capacité altérée comme vecteurs de maladies par rapport aux *C. aeneus* non transgéniques. Comme ce paramètre n'a pas été directement observé chez les corydoras GloFish^{MD}, qu'il existe peu de données sur un substitut et qu'il existe une dépendance à l'égard de l'opinion des experts, le niveau d'incertitude est **modéré**. Ce résultat concorde avec ceux des évaluations des autres espèces de GloFish^{MD} déclarées.

5.2.6. Dangers possibles pour le cycle biogéochimique

Les corydoras GloFish^{MD} devraient contribuer aux cycles des éléments nutritifs au sein des habitats en ingérant des aliments ainsi qu'en éliminant des déchets (ammoniac et déjections). Les effets possibles des protéines fluorescentes sur le métabolisme des corydoras GloFish^{MD}, et donc sur le cycle nutritif, n'ont pas été examinés. Dans un autre organisme modèle, les souris eGFP transgéniques ont subi des modifications du cycle de l'urée, du métabolisme de l'acide nucléique et des acides aminés ainsi que de leur utilisation de l'énergie (Li *et al.* 2013). Les effets de ces changements sur le cycle biogéochimique si les corydoras GloFish^{MD} avaient des influences semblables de l'expression génique transgénique fluorescente ne sont pas connus. Toutefois, la petite taille de *C. aeneus* et le faible nombre d'individus susceptibles d'entrer dans un écosystème indiquent un potentiel **négligeable** pour que des corydoras GloFish^{MD} aient une incidence sur le cycle biogéochimique dans les environnements naturels est négligeable, même avec des voies métaboliques modifiées. Le niveau d'incertitude est **modéré** en raison du manque d'études portant expressément sur ce danger. Ce résultat concorde avec ceux des évaluations des autres espèces de GloFish^{MD} des lignées précédemment déclarées (tableau 5).

5.2.7. Dangers possibles pour l'habitat

Les corydoras sont des petits poissons qui ne construisent pas de structures susceptibles d'affecter l'habitat des autres poissons. Aucun signalement, anecdotique ou autre, ne fait état d'une modification du comportement des corydoras GloFish^{MD}, par rapport au *C. aeneus* domestiqué, qui pourrait affecter la structure de l'habitat. Par conséquent, les corydoras GloFish^{MD} ne devraient avoir que des effets **négligeables** sur l'habitat avec une **faible** incertitude en raison du manque d'information concernant ce danger pour les corydoras GloFish^{MD} ou les espèces comparables. Ce résultat concorde avec ceux des évaluations des autres espèces de GloFish^{MD} précédemment déclarées (tableau 5).

5.2.8. Dangers possibles pour la biodiversité

La biodiversité peut être négativement touchée par de nombreux facteurs, notamment par les espèces envahissantes et l'introduction de maladies. Malgré leur utilisation de longue date dans le marché des aquariums d'ornement, aucun rapport n'indique que *C. aeneus* est devenu envahissant en dehors de son aire de répartition naturelle. De plus, rien ne prouve que les lignées de corydoras GloFish^{MD} ont une aptitude accrue qui pourrait augmenter le caractère envahissant par rapport aux corydoras non transgéniques.

Comme indiqué précédemment, les corydoras GloFish^{MD} ne devraient pas toucher négativement les espèces indigènes en raison d'interactions trophiques ou d'hybridation ni être des vecteurs d'agents pathogènes préoccupants au Canada, et ils ne devraient pas perturber le

cycle biogéochimique ni nuire à l'habitat. L'ajout de la construction transgénique et de la protéine fluorescente chez les corydoras GloFish^{MD} ne devrait pas causer de toxicité environnementale ni de dangers par l'intermédiaire de la THG du transgène. Dans l'ensemble, le risque que les corydoras GloFish^{MD} nuisent à la biodiversité des écosystèmes canadiens est **négligeable**. Les données relatives au caractère envahissant et aux effets sur la biodiversité des espèces comparables donnent lieu à un niveau d'incertitude **faible**, semblable à celui de la plupart des autres espèces de GloFish (tableau 5).

5.2.9. Conclusions de l'évaluation des dangers

Les corydoras GloFish^{MD} ne devraient pas être dangereux pour les environnements canadiens. Les corydoras non transgéniques n'ont jamais été envahissants, malgré leur utilisation généralisée. Il n'y a aucune preuve de toxicité environnementale associée aux constructions, et la majorité des autres modèles fluorescents ne font pas état de toxicité associée aux transgènes fluorescents. Il n'y a pas non plus d'indication de répercussions possibles sur l'environnement dues à la transmission du transgène à des espèces canadiennes indigènes par l'hybridation ou par la THG. Il n'y a aucune différence rapportée entre les corydoras GloFish^{MD} et d'autres modèles de poissons fluorescents sur le plan de la survie, de la vulnérabilité aux maladies, du comportement ou des conditions d'élevage; ils ne devraient pas non plus pouvoir davantage agir comme vecteur de maladies ni altérer le cycle biogéochimique.

Les dangers examinés sont classés de négligeable à faible (tableau 5), tandis que le niveau d'incertitude varie de négligeable à modéré, en raison du caractère limité des données propres aux corydoras GloFish^{MD}, des données directes limitées sur les espèces comparables, de la variabilité des données provenant de modèles substituts (p. ex. poisson-zèbre RFP) et du recours à l'opinion d'experts pour l'évaluation de certains dangers. Les corydoras GloFish^{MD} ne devraient présenter aucun danger particulier outre ceux associés à leur utilisation prévue comme poissons d'ornement destinés aux aquariums fixes. Le classement des dangers correspond à celui qui a été évalué précédemment pour les autres espèces de GloFish^{MD}, bien que l'incertitude diffère de celle qui a été évaluée pour les tétras, les danios, les bettas, les tétras rayon X et les labéos verts GloFish^{MD} dans plusieurs catégories de danger en raison de la reconnaissance accrue des limites des données (par THG) ou des différences dans les répartitions de la famille (par hybridation).

Tableau 5. Résumé de tous les classements et niveaux d'incertitude liés aux évaluations des risques pour l'environnement posés par des lignées de corydoras GloFish^{MD} actuellement déclarées, ainsi que des lignées de tétras, de danios, de bettas, de barbus, de tétras rayon X et de labéos verts GloFish^{MD} précédemment déclarées. Les éléments soulignés indiquent une différence entre les évaluations précédentes et l'évaluation actuelle. Nég. = négligeable, Mod. = modéré.

Évaluation	Classement/Niveau d'incertitude						
	Corydoras GloFish ^{MD}	Labéos frenatus GloFish ^{MD}	Tétras rayon X GloFish ^{MD}	Barbus GloFish ^{MD}	Bettas GloFish ^{MD}	Danios GloFish ^{MD}	Tétras GloFish ^{MD}
Exposition	Faible/ faible	Faible/ faible	Faible/ faible	Faible/ faible	Faible/ faible	Faible/ faible	Faible/ faible
Dangers							
1. Toxicité environnementale	Nég./mod.	Nég./mod.	Nég./mod.	Nég./mod.	Nég./mod.	Nég./mod.	Nég./mod.
2. THG	Faible/mod.	Faible/mod.	Faible/mod.	Faible/mod.	Faible/mod.	Faible/ mod.	Faible/ <u>faible</u>
3. Interactions trophiques	Nég./mod.	Nég./mod.	Nég./mod.	Nég./mod.	Nég./mod.	Nég./mod.	Nég./mod.
4. Hybridation	Nég./nég.	Nég./ <u>mod.</u>	Nég./nég.	Nég./ <u>faible</u>	Nég./nég.	Nég./ <u>mod.</u>	Nég./nég.
5. Vecteur de maladies	Nég./mod.	Nég./mod.	Nég./mod.	Nég./mod.	Nég./mod.	Nég./mod.	Nég./mod.
6. Cycle biogéochimique	Nég./mod.	Nég./mod.	Nég./mod.	Nég./mod.	Nég./mod.	Nég./mod.	Nég./mod.
7. Habitat	Nég./faible	Nég./ <u>mod.</u>	Nég./faible	Nég./faible	Nég./faible	Nég./faible	Nég./faible
8. Biodiversité	Nég./faible	Nég./ <u>mod.</u>	Nég./faible	Nég./faible	Nég./faible	Nég./faible	Nég./faible
Risques pour l'environnement	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible

5.3. ÉVALUATION DES RISQUES

Le risque est la probabilité qu'un effet nocif se produise en raison de l'exposition à un danger. L'évaluation des risques intègre la nature et la gravité de l'effet nocif, la probabilité que ceux-ci se produisent et le niveau d'incertitude associé à chaque conclusion. Les conclusions de l'avis scientifique du MPO remis à ECCC et à Santé Canada pour la prise de décisions réglementaires sont fondées sur le risque global posé par l'organisme dans le contexte du scénario d'utilisation proposé par le déclarant et de tous les autres scénarios d'utilisation potentielle. La conclusion globale concernant les risques s'appuie sur le paradigme habituel selon lequel les risques sont proportionnels au danger et à l'exposition :

$$\text{Risque} \propto \text{Exposition} \times \text{Danger}$$

Pour chaque paramètre, le danger et l'exposition sont classés comme suit : négligeable, faible, modéré ou élevé, chacun d'eux ayant été analysé et associé à un niveau d'incertitude. Le risque global est estimé en reportant le danger en fonction de l'exposition, au moyen d'une matrice ou d'une carte des risques, comme le montre la figure 2. Bien que la matrice ne puisse être utilisée pour tirer une conclusion précise ou prendre une décision par rapport au risque, elle peut être utilisée pour faciliter la communication et la discussion. L'incertitude associée au

risque global n'est pas estimée, l'incertitude liée aux évaluations des dangers et de l'exposition étant plutôt discutée dans le cadre de la conclusion finale sur le risque.

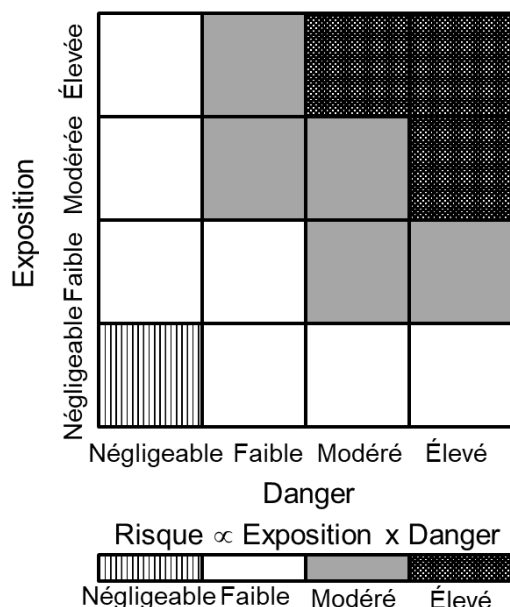


Figure 2. Matrice des risques et échelle de spectres illustrant comment l'exposition et les dangers sont intégrés afin d'établir un niveau de risque dans l'évaluation des risques pour l'environnement.

5.3.1. Évaluation des risques posés par les corydoras GloFish^{MD}

Selon l'évaluation de l'exposition, les corydoras GloFish^{MD}, utilisés dans le commerce des poissons d'ornement destinés aux aquariums ou à d'autres fins non prévues, auraient une **faible** probabilité d'être présents dans l'environnement canadien. Cette situation est attribuable à la forte probabilité de rejet dans l'environnement d'un petit nombre de poissons en provenance d'aquariums domestiques, ainsi qu'à une probabilité négligeable que les corydoras GloFish^{MD} passent l'hiver dans les écosystèmes aquatiques canadiens. Ainsi, toute exposition des écosystèmes canadiens d'eau douce aux corydoras GloFish^{MD} devrait être isolée, rare et éphémère. La qualité des données démontrant l'intolérance au froid des corydoras GloFish^{MD} et des *C. aeneus* domestiqués par rapport aux températures régnant dans les eaux douces canadiennes permet d'obtenir un faible niveau d'incertitude pour le classement de ce danger.

Selon l'évaluation des dangers, les corydoras GloFish^{MD} représentent un danger **négligeable à faible** pour l'environnement canadien, au vu de l'absence de dangers liés au *C. aeneus*, et de l'absence de preuve directe que le danger serait accru par la protéine fluorescente exprimée, par rapport au *C. aeneus*. Le niveau d'incertitude lié à chaque paramètre de danger varie de négligeable à modéré, en raison du caractère limité des données propres aux corydoras GloFish^{MD} et des données directes sur les espèces comparables, de la variabilité des données concernant le modèle substitut (poisson-zèbre RFP) et de la dépendance à l'égard de l'opinion des experts pour l'évaluation de certains dangers.

D'après la matrice des risques de la figure 3, les corydoras GloFish^{MD}, s'ils sont utilisés dans le commerce de poissons d'ornement destinés aux aquariums ou à d'autres fins au Canada, représentent un **risque faible** pour l'environnement canadien. Selon les évaluations des dangers individuels, en fonction du degré d'exposition évalué, il n'y aura pas d'effets nocifs au-delà des variations naturelles attendues de l'environnement canadien. Les sources d'incertitude dans l'évaluation de l'exposition et des dangers pour l'environnement qui peuvent influencer sur le

niveau d'incertitude dans l'évaluation des risques pour l'environnement comprennent le manque de données directes sur les dangers des organismes déclarés et des espèces comparables, la variabilité des données tirées des substituts ainsi qu'une dépendance à l'égard de l'opinion d'experts dans certains cas.

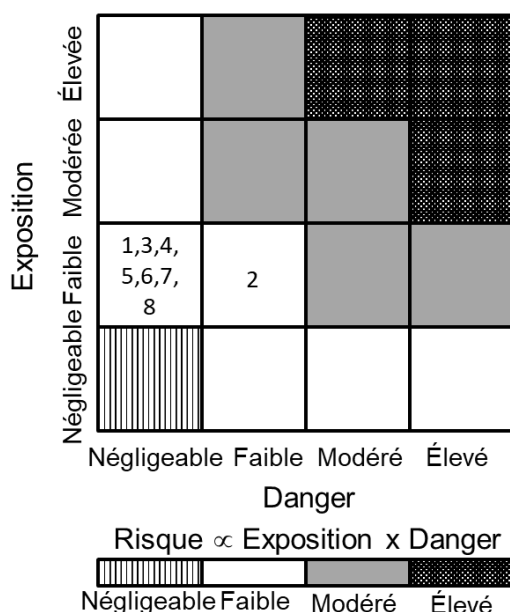


Figure 3. Les évaluations des risques associées aux composantes de danger évaluées à l'exposition évaluée sont indiquées par un numéro : 1) par la toxicité environnementale; 2) par la transmission horizontale de gènes; 3) par les interactions avec d'autres organismes; 4) par l'hybridation; 5) comme vecteur de maladies; 6) pour le cycle biogéochimique; 7) pour l'habitat et 8) pour la biodiversité.

En dépit de l'incertitude modérée associée à certains paramètres d'évaluation individuels, il n'y a rien qui indique que les niveaux globaux de risque posé par les corydoras GloFish^{MD} peuvent être plus élevés que le niveau faible de risque mesuré pour l'environnement canadien. Ce résultat concorde avec le risque faible des évaluations des autres espèces de GloFish^{MD} déclarées précédemment.

5.4. RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

La présence des corydoras GloFish^{MD} dans des aquariums domestiques au Canada, ou leur utilisation non prévue, devrait entraîner des rejets fréquents à très petite échelle dans l'environnement canadien, quoiqu'il ne soit pas possible d'exclure la possibilité qu'ils y soient rejetés de façon importante occasionnellement. Cependant, les données de haute qualité accessibles indiquent que les corydoras GloFish^{MD} n'ont pas la capacité d'hiverner dans les écosystèmes d'eau douce canadiens. Le niveau d'exposition est donc faible, tout comme le niveau d'incertitude qui y est associé. Le manque de preuves de dangers provenant d'espèces comparables non transgéniques, malgré leur utilisation extensive à long terme, ainsi que le manque de preuves de dangers accrus liés aux corydoras GloFish^{MD} par rapport au *C. aeneus* domestiqué non transgénique, indique un danger pour l'environnement canadien de négligeable à faible. L'incertitude concernant les évaluations des dangers variait de négligeable à modérée en raison du manque de données ou d'informations directes limitées sur les dangers des modèles de base ou des corydoras GloFish^{MD}, ainsi que de la variabilité des résultats des organismes substituts, lorsqu'ils sont accessibles. Dans l'ensemble, le risque global des corydoras GloFish^{MD} pour l'environnement canadien est faible, et les organismes déclarés ne

devraient pas y provoquer d'effet nocif au niveau d'exposition évalué. Alors que le niveau d'incertitude associé à certains dangers est modéré en raison du caractère limité ou inexistant de données directes à propos des organismes déclarés ou d'une espèce comparable, rien ne semblait indiquer que les corydoras GloFish^{MD}, dans le cadre de l'utilisation proposée ou d'autres utilisations potentielles, pouvaient nuire à l'environnement canadien en cas d'exposition.

6. RÉFÉRENCES CITÉES

- Alkins-Koo, M. 2000. Reproductive timing of fishes in a tropical intermittent stream. *Enviro. Biol. Fish.* 57:49-66.
- Badrian, B. and Bogoyevitch, M. A. 2007. Changes in the transcriptional profile of cardiac myocytes following green fluorescent protein expression. *DNA Cell Biol.* 26(10): 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(1): e54.
- BCLSS. 2013. Osoyoos Lake 2005-2011. British Columbia Lake Stewardship Society, Kelowna, BC, Kelowna, BC.4 p.
- Bell, E.A., Cable, J., Oliveira, C., Richardson, D.S., Yant, L., and Taylor, M.I. 2020. Help or hindrance? The evolutionary impact of whole-genome duplication on immunogenetic diversity and parasite load. *Eco. Evol.* 10:13949-13956.
- Britto, M. R. 2003. Phylogeny of the subfamily Corydoradinae Hoedeman, 1952 (Siluriformes: Callichthyidae), with a definition of its genera. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 153(1): 119-154.
- Chou, C. J., Peng, S. Y., Wan, C. H., Chen, S. F., Cheng, W. T. K., Lin, K. Y. and Wu, S. C. 2015. Establishment of a DsRed-monomer-harboring ICR transgenic mouse model and effects of the transgene on tissue development. *Chinese J. Physiol.* 58(1): 27-37.
- Cortemeglia, C. and Beitinger, T. L. 2005. Temperature tolerances of wild-type and red transgenic zebra danios. *Trans. Am. Fish. Soc.* 134(6): 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(5): 422-428.
- Cortemeglia, C. and Beitinger, T. L. 2006b. Susceptibility of transgenic and wildtype zebra danios, *Danio rerio*, to predation. *Environ. Biol. Fish.* 76(1): 93-100.
- 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 Comm.* 313(4): 1030-1036.
- Devlin, R. H., Sundström, L. F. and Leggatt, R. A. 2015. Assessing ecological and evolutionary consequences of growth-accelerated genetically engineered fishes. *BioScience.* 65(7): 685-700.
- Evans, B. B. and Lester, R. J. G. 2001. Parasites of ornamental fish imported into Australia. *Bull. Eur. Assoc. Fish Pathol.* 21(2): 51-55.
- 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. *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 308: 58-63.
- Graham, L. A. and Davis, P. L. 2021. Horizontal gene transfer in vertebrates: a fishy tale. *TIGS.* 37(6): 501-503.

-
- 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(6): 829-834.
- 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(4): 1001-1005.
- Hongslo, T. and Jansson, E. 2009. Health survey of aquarium fish in Swedish pet-shops. *Fish Pathol.* 29(5): 163-174.
- 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(5): 1143-1157.
- Huang, W. Y., Aramburu, J., Douglas, P. S. and Izumo, S. 2000. Transgenic expression of green fluorescence protein can cause dilated cardiomyopathy. *Nature Medicine.* 6(5): 482-483.
- IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:[10.1017/9781009157896](https://doi.org/10.1017/9781009157896).
- 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(1): 102-109.
- Jiang, P., Bai, J. J., Ye, X., Jian, Q., Chen, M. and Chen, X. Q. 2011. Shoaling and mate choice of wild-type *Tanichthys albonubes* in the presence of the red fluorescent transgenic conspecifics. *J Fish Biol.* 78: 127-137.
- Jobling, M. 1981. Temperature tolerance and the final preferendum--rapid methods for the assessment of optimum growth temperatures. *J. Fish Biol.* 19: 439-455.
- Kerr, S. J., Brousseau, C. S. and Muschett, M. 2005. Invasive aquatic species in Ontario. *Fisheries.* 30(7): 21-30.
- 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(4): e50068.
- Leggatt, R. A. and Devlin, R. H. 2020. Fluorescent protein transgenesis has varied effects on behaviour and cold tolerance in a tropical fish (*Gymnocorymbus ternetzi*): implications for risk assessment. *Fish Physiol. Biochem.* 46(1): 395-403.
- Leggatt, R. A., Dhillon, R. S., Mimeault, C., Johnson, N., Richards, J. G. and Devlin, R. H. 2018a. Low-temperature tolerances of tropical fish with potential transgenic applications in relation to winter water temperatures in Canada. *Can. J. Zool.* 96: 253-260.
- Leggatt, R. A., Johnson, N. et McGowan, C. 2018b. [Évaluation du risque environnemental pour le tétra GloFish^{MD} Electric Green^{MD} et le tétra à longues nageoires GloFish^{MD} Electric Green^{MD} : des poissons d'ornement transgéniques importés au Canada pour le commerce des animaux domestiques](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2018/049 : xiv + 61 p.
-

-
- 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(8): 3801-3808.
- Magnuson, J. J., Crowder, L. B. and Medvick, P. A. 1979. Temperature as an ecological resource. *Amer. Zool.* 19(1): 331-343.
- Majdi, N., Weber, S. and Traunspurger, W. 2018. The early catfish catches the worm: predation of *Corydoras aeneus* (Siluriformes, Callichthyidae) on freshwater nematodes. *Ann. Limnol. - Int. J. Lim.* 54:29.
- 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. et Mandrak, N. E. 2009. Résumé d'un sondage mené auprès de propriétaires d'aquariums au Canada. *Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat.* 2905 : vi + 23 p.
- Mills, D., Vevers, G. 1982. *The Tetra Encyclopedia of Freshwater Tropical Aquarium Fishes.* Tetra Press, Blacksburg, VA.
- MPO. 2006. [Compte rendu de la réunion des experts sur les risques potentiels liés à la transmission horizontale de gènes de nouveaux organismes aquatiques; 11 janvier 2006.](#) Secr. can. de consult. sci. du MPO. Compte rendu 2006/036.
- 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 douce.](#) Secr. can. de consult. sci. du MPO. Rép. des Sci. 2013/011.
- MPO. 2018. [Évaluation des risques pour l'environnement et des risques indirects pour la santé humaine du tétra GloFish^{MD} Electric Green^{MD} et du tétra à longues nageoires GloFish^{MD} Electric Green^{MD} \(*Gymnocorymbus ternetzi*\) : un poisson d'ornement transgénique.](#) Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2018/027.
- MPO. 2019. [Évaluation des risques pour l'environnement et des risques indirects pour la santé humaine posés par les tétras GloFish^{MD} \(*Gymnocorymbus ternetzi*\) : cinq lignées de poissons d'ornement transgéniques.](#) Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2019/002.
- MPO. 2020a. [Évaluation des risques pour l'environnement et des risques indirects pour la santé humaine posés par le danio \(*Danio rerio*\) GloFish^{MD} Cosmic Blue^{MD} et Galactic Purple^{MD} : poissons d'ornement transgéniques.](#) Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2020/016.
- MPO. 2020b. [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.
- MPO. 2021a. [Évaluation des risques pour l'environnement et des risques indirects pour la santé humaine des bettas GloFish^{MD} : trois lignées de poissons d'ornement transgéniques.](#) Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2021/046.
- MPO. 2021b. [Avis scientifique sur le risque potentiel d'introduction d'organismes vivants lié au commerce d'espèces destinées aux aquariums, aux jardins d'eau et au commerce d'organismes vivants destinés à l'alimentation au Canada.](#) Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2021/032.
-

-
- MPO. 2023. [Évaluation des risques pour l'environnement et des risques indirects pour la santé humaine posés par les barbus *Puntigrus tetrazona* GloFish^{MD}, Starfire Red^{MD}, Electric Green^{MD}, Sunburst Orange^{MD} et Galactic Purple^{MD} : des poissons d'ornement transgéniques.](#) Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2023/043.
- MPO. 2024. [Évaluation des risques pour l'environnement et des risques indirects pour la santé humaine posés par les tétras rayon-X \(*Pristella maxillaris*\) Glofish^{MD} Electric Green^{MD}, Starfire Red^{MD}, Sunburst Orange^{MD} et Galactic Purple^{MD} : des poissons d'ornement transgéniques.](#) Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2024/017.
- MPO. 2026. Évaluation des risques pour l'environnement et des risques indirects pour la santé humaine posés par les labéos frenatus (*Epalzeorhynchos frenatum*) GloFish^{MD} Cosmic Blue^{MD}, Electric Green^{MD}, Sunburst Orange^{MD} et Galactic Purple^{MD}, des poissons d'ornement transgéniques. Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2026/015.
- Nico, L., and Fuller, P. 2025. Corydoras sp. Lacepède, 1803: U.S. Geological Survey, Nonindigenous Aquatic Species Database, Gainesville, FL, Revision Date: 5/21/2019, Peer Review Date: 6/22/2012, Access Date: 3/3/2025
- Owen, M. A., Rohrer, K. and Howard, R. D. 2012. Mate choice for a novel male phenotype in zebrafish, *Danio rerio*. *Anim. Behav.* 83(3): 811-820.
- Pineda, M., Aragao, I., McKenzie, D. J. and Killen, S. S. 2020. Social dynamics obscure the effect of temperature on air breathing in *Corydoras* catfish. *J. Exp. Biol.* 2020 223(21).
- Ramirez-Santos, E., Rendon, P., Bourtzis, K., Schetelig, M. F., Caceres, C., Targovska, A., Rehling, T., Guillen-Navarro, G. K., Ruiz-Montoya, L., Toledo, J. and Liedo, P. 2018. Evaluation of horizontal gene transfer risk between the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Tephritidae) and its parasitoid *Fopius ceratitivorus* (Braconidae). *PLoS ONE*. 13(12): e0207999.
- Řehulka, J., Kaustová, J. and Řehulková, E. 2006. Causal agents of mycobacterial diseases in freshwater ornamental fish and their importance for human health in the Czech Republic. *Acta Vet. Brno.* 75: 251-258.
- Rixon, C. A. M., Duggan, I. C., Bergeron, N. M. N., Ricciardi, A. and Macisaac, H. J. 2005. Invasion risks posed by the aquarium trade and live fish markets on the Laurentian Great Lakes. *Biodivers. Conserv.* 14(6): 1365-1381.
- Rose, S., Hill, R., Bermudez, L. E. and Miller-Morgan, T. 2013. Imported ornamental fish are colonized with antibiotic-resistant bacteria. *J. Fish Dis.* 36(6): 533-542.
- Schaefer, J. and Ryan, A. 2006. Developmental plasticity in the thermal tolerance of zebrafish *Danio rerio*. *J. Fish Biol.* 69(3): 722-734.
- 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.
- Stewart, C. N. 2006. Go with the glow: fluorescent proteins to light transgenic organisms. *Trends. Biotechnol.* 24(4): 155-162.
- Strecker, A. L., Campbell, P. M. and Olden, J. D. 2011. The Aquarium Trade as an Invasion Pathway in the Pacific Northwest. *Fisheries.* 36(2): 74-85.
- Sun, C. H., Huang, Q., Zeng, X. S., Li, S., Zhang, X. L., Zhang, Y. N., Liao, J., Lu, C. H., Han, B. P. and Zhang, Q. 2022. Comparative analysis of the mitogenomes of two *Corydoras* (Siluriformes, Loricarioidei) with nine known *Corydoras*, and a phylogenetic analysis of Loricarioidei. *ZooKeys.* 1083: 89-107.

-
- Teletchea, F. 2016. Domestication level of the most popular aquarium fish species: is the aquarium trade dependent on wild populations? *Cybium*. 40(1): 21-29.
- Tencatt, L. F. C., Gomes, V. D. and Evers, H. G. 2023. A new species of *Corydoras* (Siluriformes: Callichthyidae) from the rio Madre de Dios basin, Peruvian Amazon, with comments on *Corydoras aeneus* identity. *Neotrop. Ichthyol.* 21(2): e230023.
- 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 Research*. 41: 53-64.
- Tuckett, Q.M., Ressel, K.N., Ritch, J.L., Lawson, K.M., and Hill, J.E. 2021. Domestication and feralization influence the distribution and phenotypes of escaped ornamental fish. *Biol. Invasions* 23:1033-1047.
- USFWS. 2017. Bronze *Corydoras* (*Corydoras aeneus*) Ecological Risk Screening Summary. US Fish and Wildlife Service, Revised July 2017.
- 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: 223–237.
- Whittington, R. J. and Chong, R. 2007. Global trade in ornamental fish from an Australian perspective: The case for revised import risk analysis and management strategies. *Prev. Vet. Med.* 81(1-3): 92-116.