

# Revisiter l'histoire de l'aquaculture ornementale en Europe pour comprendre les avantages et les inconvénients des importations de poissons d'eau douce

Jindrich Novák 1 | Dieter Hohl 2 | Martin Stuchlík 3 | Jaroslav Hofmann 4 | Michael F. Tlustý 5 | André Lincoln Barroso Magalhães 6 | Alberto Maceda-Véiga 7 | Surya Genta Akmal 8 | Gén Hua Yue 9 | Pradeep Kumkar 1 | Sean M. Marr 10 | Joseph R. Sara 10 | Nir Stern 11 | Andrew L. Rhyne 12 | James M. Furse 13 | Lukáš Kalous 1 | Jiří Patoka 1,14,15

1 Département de zoologie et de pêche, Faculté d'agrobiologie, d'alimentation et de ressources naturelles, Université tchèque des sciences de la vie de Prague, Prague- Suchdol, République tchèque | 2 Verband Deutscher Vereine für Aquarien- et Terrarienkunde (VDA) e. V. gegr. 1911, Sparneck, Allemagne | 3 Département de zoologie, Faculté des sciences, Université Charles, Prague, République tchèque | 4 Chercheur indépendant | 5 École de l'environnement, Université du Massachusetts Boston, Massachusetts, États-Unis | 6 Programme de Pós- Graduação Em Ecologia de Biomas Tropicais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Brésil | 7 Département de biologie évolutive, écologie et sciences ambiantes, Institut de recherche de la biodiversité (IRBio), Université de Barcelone, Barcelone, Espagne | 8 Centre d'études sur les ressources côtières et marines (CCMRS), Université IPB, Bogor, Indonésie | 9 Temasek Sciences de la vie Laboratoire, Université nationale de Singapour, Singapour, Singapour | 10 Chaire DSI/NRF SARChI en santé des écosystèmes, Département de la biodiversité, Université de Limpopo, Sovenga, Afrique du Sud | 11 Institut israélien de recherche océanographique et limnologique, Haïfa, Israël | 12 Département de biologie et biologie marine, Université Roger Williams, Bristol, Rhode Island, États-Unis | 13 Institut de recherche sur les villes, campus de la Gold Coast, Université Griffith, Southport, Queensland, Australie | 14 Département d'enseignement préscolaire et primaire, Faculté d'éducation, Université Jan Evangelista Purkyně d'Ústí nad Labem, Usti nad Labem, République tchèque | 15 Département de biologie, Faculté des sciences, des lettres et de l'éducation, Université technique de Liberec, Liberec, République tchèque

**Financement :** JP et LK ont été soutenus par l'Agence technologique de la République tchèque dans le cadre du projet « DivLand » (SS02030018). AMV a été soutenu par la Fundació Barcelona Zoo. Ce document fait partie du portefeuille d'activités du Centre indonésien de recherche sur les bioinvasions. Le soutien à cette étude a été fourni au JMF par le Coastal and Marine Research Centre et le Cities Research Institute de l'Université Griffith.

## RÉSUMÉ

L'aquaculture ornementale et l'aquariophilie sont très populaires auprès de millions de passionnés dans le monde entier. Le nombre d'espèces de poissons nouvellement importées à des fins ornementales a augmenté lentement de la première guerre mondiale jusqu'aux années 1980. Il a ensuite augmenté de manière exponentielle jusqu'à aujourd'hui avec plus de 7900 espèces et un grand nombre de morphotypes non décrits scientifiquement. Nous présentons ici la première étude complète des importations de poissons d'eau douce et d'eau saumâtre pendant l'essor de l'élevage de poissons d'ornement au tournant du millénaire et nous en discutons sous un angle culturel et socio-économique dans le contexte européen. L'augmentation des importations s'est accélérée après la disponibilité du transport aérien et la fin de la guerre froide. Parmi les espèces commercialisées, le plus grand nombre d'espèces importées à des fins ornementales a été trouvé dans les groupes suivants : les poissons-chats loriciariidés (famille des Loricariidae), les poissons-chats corydoras (famille des Callichthyidae, sous-famille des Callichthyinae), les cichlidés des grands lacs africains (ordre des Cichliformes), les killis (espèces pondeuses de l'ordre des Cyprinodontiformes) et les characidés (ordre des Characiformes). Ces taxons représentent environ 74 % de toutes les espèces de poissons d'ornement d'eau douce et d'eau saumâtre. Les espèces de poissons ayant la capacité d'absorber l'oxygène atmosphérique (par exemple, les Belontiidae, y compris les gouramis et les bettas) ont dominé le marché, mais leur ratio par rapport aux autres espèces a diminué au cours de l'ère moderne de l'aquaculture ornementale (après la fin de la Première Guerre mondiale). En identifiant les espèces d'aquarium les plus populaires commercialisées au cours de l'histoire du commerce des aquariums, nos conclusions visent à guider la gestion actuelle de l'aquaculture ornementale et à mieux éclairer les évaluations des risques d'invasion.

## 1 Introduction

L'aquariophilie et l'industrie des animaux de compagnie qui lui est associée (ci-après aquaculture ornementale) sont un secteur socio-économique important et en pleine croissance, qui compte des millions de passionnés dans le monde entier [ 1 - 4 ]. L'aquaculture ornementale a également contribué à la recherche scientifique et aux interventions de conservation, à la fois de manière positive, par exemple, une étude des besoins vitaux, de la reproduction, de la croissance, de l'éthologie, de l'écologie et de la taxonomie [ 5 - 11 ] et négative, par exemple, les invasions biologiques, la propagation de symbiotes associés, y compris les agents pathogènes, le braconnage et la surexploitation [ 12 - 18 ]. L'élevage de poissons d'ornement et d'autres biotes d'eau douce a une longue histoire qui remonte à l'antiquité [ 19, 20 ], cependant, l'ère moderne de l'aquaculture ornementale n'a commencé que dans la seconde moitié du 19<sup>e</sup> siècle, lorsque les premières espèces de poissons tropicaux ont été importées en Europe et aux États-Unis

spécifiquement à des fins ornementales [ 3 , 21 - 23 ]. Contrairement à la grande quantité de littérature évaluée par des pairs publiée pour l'industrie de l'aquaculture commerciale, qui produit des organismes aquatiques destinés à la consommation humaine, l'histoire de l'aquaculture ornementale d'eau douce moderne a été largement ignorée avant la récente étude complète de son développement [ 3 ]. Étant donné que la période de développement discutée par Novák, Kalous et Patoka [ 3 ] s'est terminée à la fin de la Première Guerre mondiale en 1918, nous examinons ici la période en cours de 1919 à nos jours.

Les informations sur les premières importations de poissons d'ornement d'eau douce et d'eau saumâtre (ci-après : « eau douce ») et le nombre d'espèces commercialisées ont été recueillies principalement à partir d'articles publiés, de monographies, de sites web et de bases de données, notamment de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, [www.fao.org](http://www.fao.org) ).

Non seulement des sources scientifiques ont été étudiées, mais également des magazines et des livres spécialisés dans les loisirs et le commerce. Beaucoup d'entre eux sont écrits dans les langues locales (par exemple, l'allemand et le tchèque), et ces publications sont généralement négligées par les chercheurs. Ainsi, nous avons récolté les données de la manière la plus exhaustive possible. Toutes les espèces, sous-espèces, formes géographiques et formes sauvages et phénotypes différenciables enregistrées et indiquées simplement par des codes [ 24 ], la localité ou en indiquant « sp. » ou « cf. » ont été évaluées pour estimer le nombre total de taxons importés. À cette fin, toutes les formes de reproduction ont été omises et exclues de l'analyse. Tous les noms scientifiques ont été vérifiés à l'aide d'une version électronique du catalogue de poissons d'Eschmeyer ( [www.calacademy.org/scientists/projects/eschmeyers-catalog-of-fishes](http://www.calacademy.org/scientists/projects/eschmeyers-catalog-of-fishes) ; [ 25 ] ). Les noms de poissons courants de FishBase ( [www.fishbase.se](http://www.fishbase.se) ) [ 26 ] ont été utilisés. La plupart des données proviennent d'Europe, qui a été une région clé dans le développement de l'aquaculture ornementale [ 27 ]. Bien que le nombre d'espèces importées puisse différer pour d'autres régions (par exemple, les États-Unis, l'Afrique, l'Asie ou l'Australie), les différences sont mineures et peuvent être exprimées spécifiquement dans le volume total d'individus de poissons commercialisés [ 2 ].

En se basant sur leur popularité en tant qu'espèces ornementales et leur importance socio-économique, les neuf groupes suivants de taxons de poissons d'eau douce sont examinés plus en détail :

- (i) les poissons-chats cuirassés (ordre des Siluriformes, familles Loricariidae et Callichthyidae),
- (ii) les cichlidés endémiques (famille des Cichlidae) de la vallée du Rift (c.-à-d. les Grands Lacs africains : Malawi et Tanganyika),
- (iii) les killies (taxons pondeurs d'œufs des ordres Cyprinodontiformes : familles Aplocheilidae, Cyprinodontidae, Fundulidae, Nothobranchiidae, Profundulidae, Rivulidae, Valenciidae ; et Beloniformes : famille Adrianichthyidae),
- (iv) les characidés (ordre des Characiformes),
- (v) les cichlidés nains d'Amérique du Sud du genre *Apistogramma* sl,
- (vi) les vivipares (taxons vivipares et ovovivipares des ordres Cyprinodontiformes : familles Anablepidae, Goodeidae, Poeciliidae ; et Béloniformes : famille Hemiramphidae),
- (vii) poissons arc-en-ciel (ordre Atheriniformes : familles Bedotiidae, Melanotaeniidae, Pseudomugilidae et Telmatherinidae),
- (viii) cyprinidés (ordre Cypriniformes), et
- (ix) poissons labyrinthes (ordre Anabantiformes, sous-ordre Anabantoidei).

## 2 Une brève note sur la période de développement précoce avant 1918

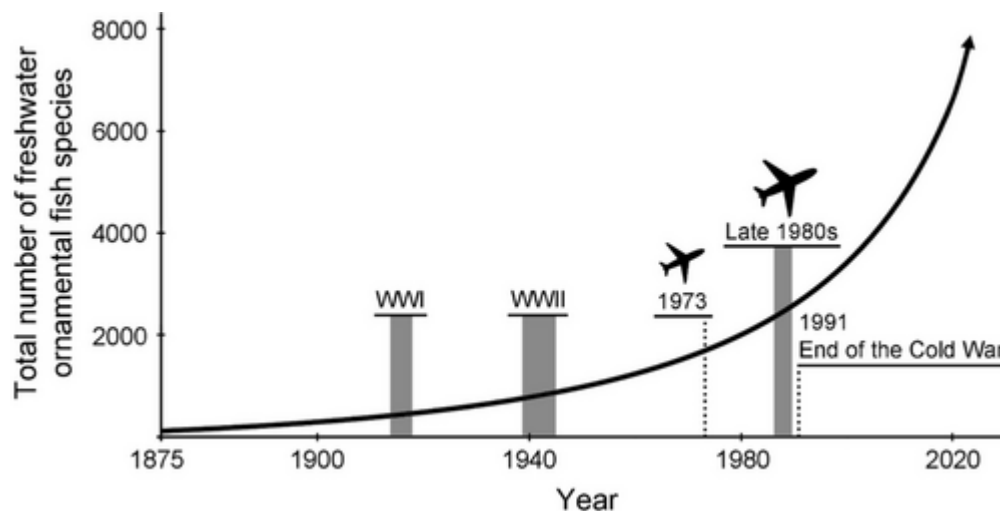
Français Novák, Kalous et Patoka [ 3 ] ont signalé qu'environ 470 taxons de poissons d'eau douce avaient été importés comme espèces ornementales avant la fin de la Première Guerre mondiale. Cependant, certaines espèces ont été renommées plus tard, révisées en plusieurs espèces différentes ou mises en synonymie. De plus, certains détails, comme l'année de la première importation de cichlidés ornementaux, devaient être mis à jour. Le cichlidé caméléon *Australoheros autochtone* (= *A. oblongus* ), et non *A. facetus* , a été introduit à Paris, en France, par Jeunet en 1889 [ 28 ], et *Australoheros facetus* a été importé à Berlin, en Allemagne, par Nitsche en 1894. Malgré son incertitude taxonomique concernant *A. autochtone* [ 29 ], la France a la priorité à cet égard. Par la suite, d'autres importations d'espèces de ce genre n'ont probablement pas été documentées ou ont été identifiées à tort comme *A. angiru* , qui a été décrit plus tard [ 30 ]. Hohl [ 31 - 33 ] attire l'attention sur les difficultés d'identification correcte des taxons importés présentés dans la littérature historique sur les illustrations peintes et souligne la nécessité d'objectiver la détermination. Entre autres, l'espèce de poisson d'ornement la plus emblématique, le petit téléostéen d'eau douce vivipare, le guppy *Poecilia reticulata* , a également été introduit en Europe au cours de cette période [ 3 ].

## 3 Période de l'effet boule de neige (1918-1970)

D'après Arnold [ 34 ], Arnold et Ahl [ 35 ], Holly et al. [ 36 ] et Rachow [ 37 ], le nombre de poissons d'eau douce ornementaux nouveaux et exotiques importés en Europe entre la première et la seconde guerre mondiale a été estimé

à (nombre de taxons nouvellement importés ; nombre cumulé de taxons ornementaux) : 1921-1930 (95 ; 592), 1931-1938 (242 ; 834), 1939-1945 (10 ; 844) Figure 1.

Les changements dans les conditions sociales et économiques résultant de l'armement de l'Allemagne dans les années 1930 ont conduit à une brève reprise économique, qui s'est reflétée dans le nombre de nouveaux poissons d'ornement importés entre 1933 et 1936. Les introductions ont été les plus importantes pour une seule année en 1935, lorsque 56 nouveaux taxons de poissons d'ornement ont été importés en Europe [ 35 ]. Les Characidés ont gagné en popularité et en prédominance dans le commerce et le loisir des aquariums dans les années 1930, période que Hohl [ 38 ] a décrite comme la « décennie des Characidés ». Cette période s'est produite en conjonction avec leur propagation réussie grâce à une meilleure compréhension de leur cycle biologique et des exigences en matière de chimie de l'eau. Après cette période, l'importation de nouvelles espèces en Europe a diminué en raison du déclenchement de la seconde guerre mondiale.



**FIGURE 1**

*Nombre total d'espèces de poissons d'eau douce importées à des fins ornementales au fil du temps, avec les événements clés indiqués : première guerre mondiale (1914-1918) ; seconde guerre mondiale (1939-1945) ; fondation de Federal Express (c'est-à-dire FedEx) en 1973 ; mise en service d'un gros avion-cargo à la fin des années 1980 ; fin de la guerre froide en 1991.*

Pendant et immédiatement après la Seconde Guerre mondiale, le nombre de poissons d'ornement nouvellement importés en Europe et aux États-Unis a légèrement augmenté, voir le livre d'Innes « Exotic Aquarium Fishes » publié à plusieurs reprises au cours de cette période [ 39 ]. L'édition finale de ce livre contient un supplément qui ne recense que quatre nouvelles espèces de poissons d'ornement importées [ 39 ]. L'année suivante, Arnold [ 34 ] a répertorié 870 espèces en culture, ce qui concorde avec les monographies de Holly et al. [ 36 ], voir Zarske et Berkenkamp [ 40 ]. Dans les années 1950, une moyenne de 15 nouvelles espèces ornementales étaient importées en Europe par an, toutes importées en Allemagne [ 38 ]. En 1959, un total de 1 003 taxons de poissons d'ornement avaient été importés [ 41 ] et l'équipement nécessaire à la pisciculture et à la propagation était disponible, par exemple, l'éclairage des aquariums, les pompes électriques, les sources d'air comprimé, les tests de qualité de l'eau, les thermomètres, les chauffages d'aquarium, les aliments, les médicaments et les anesthésiques pour les poissons [ 38 ].

De plus, la production commerciale d'aliments artificiels pour poissons avait commencé en 1951 à Melle, en Allemagne, où le Dr Ulrich Baensch avait fondé la société (Tetra Werke ; <https://www.tetra-fish.com/about-us.aspx>) et avait été le pionnier du développement d'aliments pour poissons en flocons, une innovation qui a révolutionné l'industrie [ 23 ], mais le nombre de nouvelles espèces de poissons d'ornement n'a que légèrement augmenté au cours de cette période. Sterba [ 42 ] a rapporté qu'en 1977, 1165 espèces de poissons d'ornement avaient été importées.

A partir des années 1950, la dimension humaine et les qualifications professionnelles des amateurs ont augmenté avec une plus grande spécialisation et une concentration sur des taxons de poissons spécifiques. Des associations ciblées, des réunions organisées, des symposiums et des expositions se sont développés dans divers pays, par exemple en Allemagne et en Tchécoslovaquie [ 38 , 43 ].

Par exemple, les premières importations de cichlidés endémiques des grands lacs africains, comme le Malawi et le Tanganyika, vers l'Europe ont commencé en 1958 [ 38 ] et sont devenues plus fréquentes à partir des années 1970 [ 44 ]. Bon nombre des 28 espèces ornementales importées à l'origine restent emblématiques. Cependant, l'incertitude dans l'identification ou l'identification erronée de certains individus/taxons importés a également augmenté. Des espèces formellement inconnues ont été importées [ 38 ] mais ont été accidentellement ou par erreur emballées dans des lots de poissons définis comme « prises accessoires » (« Beifang » en allemand ; [ 45 , 46 ]). Par conséquent, Brühlmeyer et Frotzler ont commencé à identifier des formes/taxons non spécifiés du lac Malawi avec la

lettre M et un numéro unique au début des années 1970 ([ 47 ]). De plus, les cichlidés du genre *Haplochromis* étaient codés par CH et un numéro (C = cichlid, H = *Haplochromis*) mais ce système a été abandonné en 1994 [ 48 ]. En particulier, le grand intérêt pour les cichlidés du Malawi en tant qu'animaux d'ornement a conduit à de nouvelles importations, à la collecte d'informations et à la publication de monographies ciblées, ce qui a valu aux années 1970 et 1980 le nom de « vague malawienne » [ 38 ].

Les premières publications qui ont préfiguré l'émergence de l'intérêt scientifique, de l'élevage et du commerce pour les cichlidés comprennent la typologie des eaux tropicales liées à la reproduction des poissons d'ornement [ 49, 50 ], l'importance des taches d'œufs dans le processus de fécondation des incubateurs buccaux ovophiles [ 51 ] et la classification des stades de l'ontogénie précoce des poissons [ 52 ]. Des monographies ont suivi, notamment celles sur les cichlidés en général par Goldstein [ 53, 54 ] et Staeck [ 55 ], et plus spécifiquement sur les lacs Malawi et Tanganyika par Fryer et Illes [ 56 ], Axelrod et Burgess [ 57 ] et Neergard [ 58 ]. Les découvertes scientifiques ont été partagées par le biais de revues d'aquariophilie, contribuant à la réussite de l'élevage de characidés et de cichlidés incubateurs buccaux [ 59 ].

Des monographies ont également été produites pour des groupes ou des familles entières de poissons, notamment les killis [ 60 ], les characidés [ 61 ] et les vivipares [ 62 ]. Ces travaux étaient très demandés. Le nombre croissant de monographies reflétait le nombre croissant d'espèces de poissons conservées comme poissons d'ornement, et certains éleveurs ont commencé à se concentrer sur des taxons spécifiques. Cela a donné lieu à la création de groupes de travail, de clubs et d'associations spécifiques, suprarégionaux ou internationaux. D'un point de vue international, une encyclopédie complète axée sur l'aquaculture ornementale et l'ichtyologie est une production clé de cette période [ 63 ].

En raison de la prospérité économique croissante de l'Europe occidentale dans les années 1970, les amateurs se rendirent régulièrement dans les régions tropicales, ce qui conduisit à de nombreuses importations privées de poissons de diverses espèces à des fins ornementales. Cependant, ces poissons étaient souvent réservés à un petit groupe de spécialistes particulièrement intéressés ; par exemple, des amateurs ont importé 107 nouvelles espèces de killis en Allemagne entre 1971 et 1980 [ 38 ].

#### **4 Période florissante (années 1980-1990)**

À la fin des années 1970, les aquariums furent fabriqués à partir de caoutchouc de silicone, et la production à grande échelle et la durabilité accrue des aquariums rendirent l'élevage de poissons d'ornement plus accessible aux amateurs novices ( [www.juwel-aquarium.de/en/company/history](http://www.juwel-aquarium.de/en/company/history) ).

Dans les années 1980, le nombre de nouveaux poissons d'ornement d'eau douce importés en Europe augmenta considérablement. On estime que 1 165 espèces de poissons d'ornement avaient été importées en 1977, ce nombre étant passé à environ 2 000 espèces dans les années 1980 [ 42, 64 ].

Après 1987, il est devenu difficile de comptabiliser toutes les importations de nouvelles espèces, et le nombre exact d'espèces nouvellement importées ne peut être qu'estimé en raison du nombre sans cesse croissant d'importations et du manque de précision des diverses sources d'information [ 3, 5 ]. La commercialisation croissante des magazines d'aquarium a entraîné le signalement de nombreuses nouvelles espèces importées, et il est devenu difficile de suivre l'abondance croissante des taxons ornementaux dans les encyclopédies, par exemple, Baensch et Riehl [ 65 - 67 ], Riehl et Baensch [ 68, 69 ] et Sterba [ 64 ] ; l'exception étant l'« Aquarium Atlas » de Riehl et Baensch [ 70 ].

Un nombre croissant d'articles et de livres spécialisés ont été publiés au cours de cette période florissante. Par exemple, Fryer et Illes [ 56 ] ont été suivis par des publications détaillant l'évolution, le cycle biologique, la conservation et la reproduction des cichlidés dans les lacs africains Malawi et Tanganyika [ 71 - 78 ]. L'intérêt croissant de la communauté des aquariophiles ornementaux pour les cichlidés néotropicaux a donné lieu à des livres de Koslowski [ 79 ], Schaefer [ 80 ], Schmettkamp [ 81 ] et Zenner et Hohl [ 82 ] traitant du genre *Apistogramma*, et de Stawikowski et Werner [ 83 ] sur les cichlidés mésoaméricains. Des informations détaillées sur les soins aux poissons-chats ornementaux [ 84 ] et des descriptions complètes des vivipares [ 85 ] ont également été publiées. Aucun ouvrage complet sur les characidés n'a été publié depuis Géry [ 61 ].

Au cours des années 1980, un nombre croissant de poissons-chats à bouche ventouse blindée (famille Loricariidae) et de poissons-chats corydoras (famille Callichthyidae, sous-famille Callichthyinae) ont été importés en Europe par des grossistes commerciaux de poissons tropicaux, et la popularité de ces taxons a augmenté rapidement [ 23 ].

À la fin des années 1980, des tentatives politiques ont été faites en Allemagne pour générer une « liste positive » contenant un nombre limité d'espèces ornementales à faible risque pour lesquelles la détention et l'élevage seraient légaux [ 86, 87 ]. L'importation et l'élevage d'autres espèces seraient interdits et limités afin de réduire le risque d'invasions biologiques et d'éviter la souffrance des poissons sauvages en captivité. Cette initiative a été abandonnée après une protestation avec 25 000 signatures d'éleveurs de poissons d'ornement [ 38 ]. Considérant l'importance historique du « phénomène allemand de l'aquarium » et de l'industrie [ 3 ], de telles restrictions auraient eu un impact

néгатif sur diverses économies, entraînant potentiellement des pertes d'emplois considérables dans les pays en développement et les pays donateurs et auraient également des effets sociaux et culturels négatifs et entravé l'éducation scientifique du grand public. De plus, les avantages de l'aquaculture ornementale pour la conservation des espèces seraient réduits. Il n'est pas encore certain que des restrictions ciblées et politiquement motivées similaires puissent être attendues à l'avenir, par exemple pour l'UE.

Dans les années 1990, des ouvrages importants ont été publiés, résumant les développements des années précédentes, reliant les connaissances en matière d'aquariophilie pratique et reliant la recherche commerciale et fondamentale dans le domaine de l'écologie [ 88 - 90 ]. Parallèlement, des symposiums présentant des informations scientifiques sur l'étude des animaux dans des systèmes aquatiques contrôlés directement applicables aux pratiques d'élevage et de conservation ont été organisés [ 91 , 92 ].

De là est né le domaine multidisciplinaire de l'aquariologie, l'étude de la faune et de la flore dans les aquariums [ 93 ].

## 5. La période de boom économique mondial (1995-2005)

Cette période se caractérise par une relation positive entre la recherche, la production, le commerce et les pratiques d'élevage de poissons [ 94 , 95 ], ainsi que par un essor de la publication d'ouvrages volumineux, à la fois atlas et monographies spécialisées. Parmi les encyclopédies, les plus complètes étaient « Aquarien-Atlas » [ 65 - 69 ], Axelrod [ 96 ] et Axelrod et Burgess [ 97 ]. Les ouvrages spécialisés comprennent des publications sur les cichlidés [ 98 , 99 ], les cichlidés néotropicaux [ 100 - 103 ], les cichlidés d'Afrique de l'Ouest [ 104 ], les cichlidés nains *Apistogramma* [ 105 - 108 ], les cichlidés d'Amérique Centrale [ 75 ], les cichlidés africains [ 109 , 110 ], les cichlidés du lac Tanganyika [ 111 ], les cichlidés paons du Malawi des genres *Aulonocara* , *Lethrinops* , *Taeniolethrinops* , *Tramitichromis* et *Trematocranus* [ 112 ], les cichlidés à tête émoussée du genre *Tropheus* [ 113 ], les poissons-chats [ 114 - 116 ], les poissons-chats africains [ 117 ], les poissons-chats blindés à bouche suceuse [ 118 ], les coryphènes [ 119 , 120 ], les vivipares [ 121 ], les killies [ 122 - 124 ], les poissons arc-en-ciel [ 125 , 126 ] et les characidés [ 127 - 129 ]. L'intérêt croissant pour l'aquariophilie a également conduit à la publication d'ouvrages hautement spécialisés sur les bichirs, c'est-à-dire le genre *Polypterus* [ 130 ], les raies pastenagues d'eau douce des genres *Potamotrygon* et *Paratrygon* [ 131 ], les poissons-ballons d'eau douce et saumâtre des genres *Colomesus* , *Carinotetraodon* et *Dichotomyctere* [ 132 ] et les poissons d'eau saumâtre en général [ 133 ].

Au cours du nouveau millénaire, de nouvelles espèces de poissons intéressantes ont commencé à être importées comme espèces ornementales et d'autres pays auraient commencé à fournir des espèces de poissons sauvages et d'élevage. De plus, de nouveaux groupes de taxons d'eau douce, par exemple des crustacés décapodes, dont des écrevisses, des crevettes et des crabes, ont été introduits pour l'aquaculture ornementale [ 134 - 138 ]. Les importations en provenance de pays « traditionnels » (pays ayant une longue histoire d'aquaculture ornementale) sont devenues plus difficiles en raison des conditions politiques et des réglementations en vigueur dans ces pays, par exemple le Venezuela, tandis que la normalisation politique dans d'autres pays, par exemple en Asie du Sud-Est et du Sud, a permis l'accès à de nombreuses nouvelles espèces de poissons et autres taxons d'eau douce et saumâtre (par exemple, [ 38 , 139 , 140 ]).

Cependant, la popularité croissante de l'aquariophilie ornementale n'était plus corrélée au développement de clubs et d'associations spécialisés. Par exemple, en Allemagne, l'adhésion à l'un des leaders de l'aquaculture ornementale en Europe, la Société allemande des associations d'aquariophilie et de terrariophilie (Verband Deutscher Vereine für Aquarien- und Terrarienkunde, VDA) a considérablement diminué après l'année 2000 [ 3 ]. En 2010, le nombre de clubs de cette association avait diminué pour revenir aux niveaux des années 1960, et le nombre de membres a diminué [ 38 ]. L'essor d'Internet et l'augmentation subséquente de la disponibilité des informations et des possibilités de socialisation sur les médias sociaux (par exemple, Orkut/Facebook en 2004, YouTube en 2005, Twitter - actuellement X - en 2006, Instagram en 2010) sont probablement les principaux facteurs contribuant à ce phénomène [ 141 , 142 ]. Par rapport aux périodes précédentes, les médias grand public n'ont pas soutenu l'aquaculture ornementale. Par conséquent, les fonctions sociales, culturelles et éducatives de ce secteur de l'aquaculture ont été négligées.

## 6 Période de la Corne d'Abondance (Après 2005)

Le nombre croissant de taxons commercialisés et l'amélioration des connaissances constituent un aspect évident et positif de l'aquaculture ornementale mis en évidence à notre époque, notamment : la biologie, la phylogénie, la distribution, les exigences du cycle de vie, la reproduction, la socialité, le comportement, le régime alimentaire, l'écotoxicologie et les symbiotes, traduits dans la pratique des gardiens, des commerçants et des producteurs, en synergie avec la science [ 143 - 146 ].

L'aquaculture ornementale est devenue un passe-temps avec de nombreux passionnés dans les pays tempérés, tropicaux et subtropicaux qui n'étaient auparavant perçus que comme des fournisseurs/producteurs [ 138 ]. Cependant, l'essor de l'aquaculture ornementale a entraîné une augmentation de la libération illégale de poissons de

grande taille et indésirables dans les plans d'eau naturels, dont certains sont devenus envahissants ou problématiques, affectant le biote indigène de ces habitats et constituant une menace sérieuse pour le biote indigène (et principalement endémique) et les écosystèmes entiers de ces régions [ 147 , 148 ]. Parmi les exemples d'espèces à fort impact, on peut citer les poissons *Arapaima gigas*, *Polypterus senegalus*, *Potamotrygon* spp., *Pterygoplichthys* spp., le cichlidé « flowerhorn » (hybride) et les écrevisses *Procambarus clarkii* et *Cherax quadricarinatus* en Indonésie [ 13 , 149 - 155 ]. La libération, en grande partie illégale, d'espèces ornementales indésirables a été rendue publique grâce aux médias sociaux, comme YouTube au Brésil [ 152 , 156 ].

En ce qui concerne l'aquaculture ornementale, les décideurs politiques ont tendance à protéger les espèces menacées et à réglementer les espèces envahissantes, mais l'efficacité de cet effort est au moins discutable ou inefficace dans de nombreux cas [ 157 - 159 ].

En prenant comme exemple le cas du poisson-chat cuirassé et du poisson-chat cory, Novák et al. [ 24 ] ont souligné que sans l'aquariophilie et le commerce, la science seule n'aurait probablement pas découvert la diversité des espèces de poissons. D'un autre côté, la tendance actuelle des revues spécialisées imprimées ou en ligne sur l'aquariophilie et le commerce, qui souffrent de plus en plus de la commercialisation et deviennent un personnage de magazine, est en contradiction avec cela, et il est de plus en plus difficile d'analyser de manière fiable le spectre global de l'aquaculture ornementale. En ce qui concerne les poissons d'ornement, il convient de mentionner que l'ampleur est probablement sous-estimée en raison d'erreurs d'identification et de faux synonymes utilisés par les commerçants. De plus, toutes les nouvelles importations n'ont pas été publiées et restent négligées [ 160 ].

## 7 exemples concrets

Chaque groupe important d'espèces de poissons d'ornement d'eau douce possède des caractéristiques spécifiques qui influencent sa popularité et sa commercialisation à travers divers aspects, notamment la biologie, l'écologie, l'éthologie, la coloration, le régime alimentaire, les exigences de vie, la tolérance environnementale, la capacité de respiration aérienne, la taille du corps, la reproduction, etc. Les aspects spécifiques et les notes importantes selon chaque groupe sont indiqués ci-dessous, tandis que les poissons adultes de petite à moyenne taille, la coloration attrayante, les exigences alimentaires non spécifiques et une large tolérance aux paramètres de l'eau sont typiques, au moins pour certaines des espèces de chaque groupe répertoriées. Le nombre d'espèces d'ornement dans chaque groupe chronologiquement pendant la période évaluée est indiqué en détail dans le tableau [S1](#) .

### 7.1 Poisson-chat blindé d'Amérique du Sud

Les espèces valides et potentiellement nouvelles appartenant au poisson-chat cuirassé d'Amérique du Sud (famille des Loricariidae) et au poisson-chat corydoras (famille des Callichthyidae) représentent ensemble 19 % de toutes les espèces de poissons d'eau douce ornementaux importés. Diverses espèces sont commercialisées sous des noms commerciaux ou des codes (C ou CW plus un numéro pour la famille des Callichthyidae et L ou LDA plus un numéro pour la famille des Loricariidae). Bon nombre de ces codes sont associés aux noms scientifiques des espèces, cependant, plusieurs codes se sont avérés être utilisés pour différentes populations d'une même espèce [ 24 ]. Malgré de nombreux synonymes [ 161 ], avec plus de 1 500 espèces commercialisées, ces poissons-chats représentent le plus grand groupe d'entités importées (espèces/formes) de poissons d'eau douce ornementaux. Garder et élever des poissons-chats cuirassés en captivité est un défi pour de nombreux taxons, à quelques exceptions près, par exemple, *Ancistrus* spp.

Par conséquent, les poissons élevés en captivité ne constituent pas une part significative des poissons sur le marché, mais les poissons capturés dans la nature ne représentent pas adéquatement toute leur diversité [ 24 ]. Même s'ils ne sont pas introduits uniquement via l'aquaculture ornementale, certaines espèces de poissons-chats cuirassés, en particulier *Pterygoplichthys disjunctivus* , *P. pardalis* , *P. ambrosetii* et leurs hybrides, ont été établis avec succès dans de nombreux pays tropicaux et subtropicaux [ 162 - 166 ] et ont également été trouvés dans les zones tempérées/méditerranéennes [ 167 , 168 ]. Ils sont désormais considérés comme faisant partie des poissons introduits les plus nuisibles, présentant un « risque très élevé » de devenir invasifs une fois introduits [ 169 ].

### 7.2 Cichlidés lacustres endémiques d'Afrique de l'Est

Les premiers cichlidés importés d'Afrique de l'Est comme espèces ornementales furent le tilapia du Nil ( *Oreochromis niloticus* ), très répandu et principalement riverain, et le cichlidé égyptien ( *Pseudocrenilabrus multicolor* ), tous deux en 1902. En 1914, la première espèce à prédominance lacustre fut importée en Europe. Il s'agissait du cichlidé à couvain buccale *Haplochromis obliquidens* (en raison de l'incertitude dans l'identification des formes phénotypiquement similaires de ce taxon, par exemple *H. latifasciatus* , nous désignons ces espèces non spécifiées par le « complexe Zebra obliquidens » ; [ 3 ]). Les premiers cichlidés endémiques des lacs Malawi et Tanganyika furent importés en Allemagne en 1958 [ 38 ].

Le nombre total de taxons de cichlidés d'Afrique de l'Est importés est difficile à quantifier en raison de leur degré élevé de spéciation et de leurs préférences en matière de micro habitat, ce qui se traduit par de nombreuses formes locales isolées sur le plan de la reproduction. Par exemple, au moins 45 formes isolées sur le plan de la reproduction des cichlidés Blunthead (genre *Tropheus* ) du lac Tanganyika ont été conservées et élevées vers 2005 en République

Tchèque. Ces poissons peuvent à juste titre être considérés comme de nouvelles espèces potentielles [ 170 ]. De même, dans le lac Malawi, on trouve un grand nombre de formes ou d'espèces, en particulier au sein des groupes Peacocks [ 112 ] et Mbuna [ 171 ], écologiquement isolés.

Nous estimons que le nombre total d'espèces commercialisées comme espèces ornementales, y compris les formes géographiques bien connues de cichlidés endémiques du lac Malawi, est d'environ 1 000 espèces, d'après Snoeks [ 172 ] et Weyl et al. [ 173 ]. Toutes les formes connues de cichlidés du lac Malawi ont peut-être déjà été importées dans des aquariums au moins une fois. Nous pensons qu'il en va de même pour le lac Tanganyika, où le nombre total d'espèces de cichlidés (y compris les quelque 100 formes du genre *Tropheus* mentionnées ci-dessus) est estimé à environ 350. Nous estimons que les cichlidés endémiques des lacs Malawi et Tanganyika constituent 16,5 % de tous les poissons d'eau douce conservés comme espèces ornementales. Cette augmentation a été facilitée par le développement et l'expansion du transport aérien (voir ci-dessous) et par une meilleure compréhension de la biodiversité des lacs Malawi et Tanganyika [ 172 ].

En revanche, les cichlidés endémiques du lac Victoria sont moins populaires. Le nombre total d'espèces connues a été estimé à environ 750, d'après Seehausen [ 174 ] et Verheyen et al. [ 175 ]. Cependant, seule une petite proportion d'entre elles sont conservées comme espèces ornementales, comme *Haplochromis nyererei*. Par exemple, Böhner [ 176 ] cite 80 espèces ou formes géographiques conservées en Allemagne. Comme ces espèces sont très attrayantes en termes de couleurs et présentent souvent un comportement alimentaire unique, leur représentation limitée dans les aquariums est probablement principalement due à des contraintes géopolitiques spécifiques.

De plus, l'écosystème du lac Victoria s'est effondré après l'introduction d'espèces non indigènes, par exemple, la perche du Nil (*Lates niloticus*), le tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*), le tilapia à points bleus (*Oreochromis leucostictus*), le tilapia à ventre rouge (*Coptodon zillii*), la sardine du lac Tanganyika (*Stolothrissa tanganicae*) et la jacinthe d'eau (*Pontederia crassipes*) à la fin des années 1950 et au début des années 1960 [ 177, 178 ]. L'absence d'espèces ornementales dans le lac Victoria est probablement aussi due au fait que les populations de cichlidés ont tellement diminué qu'elles sont en dessous du seuil de détection et ne sont pas adaptées à l'exploitation aux niveaux de population actuels.

### **7.3 Killi**

Les killis étaient des poissons très populaires au début de l'aquaculture ornementale moderne en raison de leur tolérance aux faibles concentrations d'oxygène dissous dans l'eau en raison de la capacité de certaines espèces à absorber l'oxygène atmosphérique à travers leur peau et leurs muqueuses [ 179 ]. Par exemple, la carpe à dents de Valence (*Valencia hispanica*) a été introduite en Allemagne dès 1881, suivie par le killi rayé ou choquemort rayé (*Fundulus majalis*) en 1893.

L'élevage et la reproduction du killi sont généralement peu rentables pour les producteurs à grande échelle. Par conséquent, ces poissons sont principalement fournis au marché à partir de stocks capturés dans la nature ou par des amateurs. Hohl [ 38 ] a noté qu'au cours des années 1970, diverses populations de killi non décrites formellement ont été importées comme espèces ornementales. Depuis les années 1980, une augmentation significative du nombre d'espèces/formes de killi importées a été enregistrée. Nous estimons que le killi constitue environ 20,3 % des espèces de poissons d'eau douce ornementaux. De nombreuses formes de killi sont importées à petite échelle par des particuliers pour les experts en élevage et les passionnés.

### **7.4 Characidés**

Les characidés représentaient environ 20 % des importations de poissons d'ornement en 1918 [ 3 ]. L'augmentation du nombre d'espèces d'ornement a été à peu près linéaire ; avec des pics d'importation significatifs entre 1933 et 1935, et plus tard dans les années 1990, s'écartant de cette tendance (tableau S1 ). Actuellement, nous estimons que la part des characidés est de 5,7 % du nombre total de poissons d'ornement d'eau douce. Bien que les characidés ne constituent pas actuellement une composante particulièrement importante du nombre total d'espèces maintenues en captivité, les quantités commercialisées sont considérables pour certaines espèces. Par exemple, le tétra cardinal (*Paracheirodon axelrodi*) représente environ 65 % de toutes les exportations de poissons d'ornement d'Amazonie au Brésil (capturés dans la nature ; [ 180 ]) et environ 10 % de la République tchèque (production nationale ; [ 24 ]).

Les tétras cardinal et néon (*P. innesi*) ont joué un rôle déterminant dans l'apport de couleurs aux premiers aquariums d'amateurs [ 181 ]. Les efforts pour élever le tétra néon en captivité ont été importants, au point qu'il est désormais considéré comme une espèce domestiquée [ 182 ]. Il y a peu d'animaux sauvages dans le commerce, ce qui indique une perte de revenus économiques importante pour les communautés locales au Pérou. Le tétra cardinal a été plus difficile à élever en captivité, et il existe toujours une pêche sauvage robuste qui soutient les communautés isolées du bassin amazonien [ 183 ]. Cependant, des efforts d'aquaculture pour le tétra cardinal sont en cours, notamment en République Tchèque [ 24 ], qui peuvent avoir des répercussions sur les communautés brésiliennes qui tirent des avantages économiques de cette pêche sauvage [ 9 ].

### **7.5 Cichlidés nains du genre *Apistogramma***

Les cichlidés nains du genre *Apistogramma* sont populaires en raison de leur coloration attrayante, des soins parentaux et de leur petite taille ([ 184 ]). Le système de code spécifique utilisé pour les cichlidés nains ornementaux tropicaux et subtropicaux sud-américains du genre *Apistogramma* commercialisés a été introduit par Koslowski [ 185 ] et formait une série numérique ascendante commençant par une lettre majuscule « A ». Le principal objectif de ce code était de présenter un guide complet et aussi définitif que possible du nombre énorme d'espèces du genre *Apistogramma*. Les codes ont également été associés à des taxons existants, y compris des formes correspondant au phénotype des espèces décrites (par exemple, A1 = *Apistogramma taeniata* « Cupari », A2 = *A. cf. taeniata* « Tapajós », A3 = *A. cf. taeniata* « Arapiums »).

Les noms de localité/aire de répartition naturelle (zone, bassin fluvial) ou la désignation d'un motif de coloration typique ont été utilisés comme critères supplémentaires (par exemple, A11 = *A. sp.* « Wangenflecken/Cheek-spots »). Des efforts ont été faits pour rendre le système aussi cohérent que possible et pour mettre en synonymie les noms scientifiques, communs et commerciaux (par exemple, A18 = *A. rubrolineata* = *A. sp.* « Beni » = *A. sp.* « Manu »). Lors de sa publication, le système contenait un total de 243 codes plus une ou plusieurs photographies en couleur.

En comparaison avec les codes susmentionnés pour le poisson-chat cuirassé d'Amérique du Sud, il existe une différence par rapport à la philosophie du « concept A » : les codes A sont basés sur des résultats de recherche publiés confirmant la monophylie du genre et la phylogénie définie [ 186 ], ainsi que sur des caractéristiques morphologiques et comportementales [ 108 ]. Ce concept est conforme aux diagnostics d'espèces récents, qui contiennent souvent une référence à la relation de l'espèce avec des populations déjà conservées comme espèces ornementales [ 187 ]. Le nombre total d'espèces/espèces potentielles a été estimé à au moins 250 et à 3,2 % de tous les poissons d'ornement d'eau douce.

### **7.6 Les vivipares et l'histoire des guppys**

À la fin de la première guerre mondiale, les vivipares constituaient environ 10 % du nombre total d'espèces de poissons d'ornement nouvellement importées en Europe [ 3 ], alors que leur part actuelle était estimée à seulement 3,8 % de tous les poissons d'ornement d'eau douce. Cependant, ce chiffre ne dit rien sur la popularité ininterrompue de ce groupe de poissons d'ornement, qui sont élevés dans de nombreuses variétés de coloration et de forme en aquaculture ornementale [ 188 , 189 ]. Cela s'explique par les aires de répartition indigènes relativement limitées et le nombre total restreint d'espèces dans ce groupe. Certaines espèces, en particulier des genres *Poecilia* et *Xiphophorus*, sont adaptées à une sélection plus poussée de la coloration et de la forme du corps et des nageoires. Celles-ci sont principalement basées sur des normes établies et sont évaluées lors de concours nationaux et internationaux (voir par exemple, [justguppies.uk/ikgh/principles](http://justguppies.uk/ikgh/principles)).

Le vivipare le plus populaire est probablement le guppy (*Poecilia reticulata*). La première importation connue de guppys vivants pour l'aquariophilie ornementale en Europe a été effectuée par une société allemande appartenant à Carl Siggelkow à Hambourg en 1908 [ 3 ]. Ce poisson est originaire du Venezuela, de la Guyane, du Suriname, du nord du Brésil et de plusieurs petites Antilles, dont Trinidad et Tobago [ 190 , 191 ]. À cette époque, toutes les marchandises arrivant des tropiques étaient désinfectées en pulvérisant leurs conteneurs avec de l'acide prussique dans les ports d'arrivée, afin d'empêcher l'introduction d'agents pathogènes. Cette pratique a tué de nombreux animaux [ 192 ]. Néanmoins, les guppys ont survécu et les amateurs allemands ont surnommé cette espèce le « millionenfish » (poisson millionnaire). Un autre nom populaire pour le guppy était le poisson missionnaire, car il a converti de nombreuses personnes à l'aquariophilie ornementale [ 192 , 193 ].

Une reproduction facile, une large tolérance environnementale, une courte période de génération, une maturation rapide et une grande variabilité de coloration, de longueur des nageoires et de forme ont donné lieu à des concours de beauté ciblés [ 194 ]. Vers 1920, un club d'aquariophilie ornementale de Leipzig, en Allemagne, a établi le premier système de jugement des guppys par score et a organisé la première exposition de guppys connue en novembre 1922. Vers 1928, la première forme d'élevage de guppy, le soi-disant double porte-épée, a été isolée avec succès [ 192 ]. Whitem [ 195 ] a également signalé la culture de guppys aux États-Unis au début des années 1930. Les premiers guppys albinos sont issus d'une lignée consanguine en 1941 [ 196 ].

Dans les années 1950, on a enregistré un intérêt croissant pour l'élevage de poissons sélectionnés, en particulier de guppys. La première exposition internationale de guppys a eu lieu en Allemagne en 1954, présentant le guppy à queue voilée. Jordan [ 192 ] a énuméré des personnalités importantes qui ont élevé diverses formes de guppys : P. Hahnel (guppy à queue voilée), WG Phillips (guppy à queue en pique et guppy léopard) et E. Schmidt Focke (guppy demi-noir). La variété de formes qui est devenue un objet de recherche sur l'hérédité a été élevée au cours des années suivantes [ 190 ].

L'association la plus importante consacrée à l'élevage des guppys est l'International Board of Guppy Highbreeding (IKGH, Internationales Kuratorium Guppy Hochzucht, [ikgh.org](http://ikgh.org)). Il existe 52 clubs de guppys dans 22 pays à travers le monde. Les règles de compétition sont spécifiées par l'International High-Breeding Standard (HIS) publié par l'International Congress for Guppy High-Breeding. Avec le tétra néon (*Paracheirodon innesi*), le guppy est le poisson d'ornement le plus populaire aux États-Unis, en République tchèque, en Roumanie et en Turquie [ 23 , 189 , 197 , 198 ], et la troisième espèce la plus populaire au Brésil [ 199 ].

Les guppys sont également utilisés comme organismes modèles, notamment dans les études sur le comportement,

les stratégies de vie et l'évolution [ 200 , 201 ]. Leur popularité en tant qu'espèces ornementales et le fait que les formes non reproductrices sont des créatures robustes couramment utilisées comme agents de lutte biologique ont entraîné l'établissement de populations non indigènes et autosuffisantes hors de l'aire de répartition naturelle de l'espèce ( [ 202 , 203 ]). Selon Froese et Pauly [ 26 ], les guppys sont présents dans au moins 69 pays, dont six sont indigènes [ 15 ]. De plus, d'autres membres de ce groupe de poissons sont connus comme des envahisseurs ayant des effets négatifs sur les poissons, les invertébrés et les amphibiens indigènes, par exemple les espèces des genres *Gambusia* , *Poecilia* , *Xiphophorus* , et devraient être surveillés et réglementés à cet égard [ 204 - 206 ].

### 7.7 Poisson arc-en-ciel

Français Le premier poisson arc-en-ciel, le poisson arc-en-ciel de la rivière Murray ( *Melanotaenia fluviatilis* ) a été importé en Europe sous le faux nom de *Melanotaenia nigrans* en 1927. Les poissons arc-en-ciel ne se sont jamais largement répandus parmi les aquariophiles malgré l'abondance considérable d'espèces et de formes locales sauvages connues aujourd'hui. Cela est dû à une croissance lente et à une maturité tardive des couleurs, ce qui affecte négativement leur attrait pour les commerçants et les gardiens. De plus, la production aquacole est confrontée à de faibles taux de croissance et à une mortalité élevée dans le développement larvaire des poissons arc-en-ciel [ 207 ]. Selon Hohl [ 38 ], les importations de poissons arc-en-ciel rouges aux couleurs attrayantes ( *Glossolepis incisus* ), de poissons arc-en-ciel à bandes ( *Melanotaenia trifasciata* ) et de poissons arc-en-ciel de Boeseman ( *Melanotaenia boesemani* ) ont suscité l'intérêt d'un petit groupe de passionnés spécialisés qui ont essayé de maintenir les poissons arc-en-ciel en aquaculture ornementale dans les années 1970 et 1980. Leur proportion actuelle est estimée à seulement 1,9 % de tous les poissons d'ornement d'eau douce.

### 7.8 Cyprinidés

Français En raison d'une révision récente de la famille, ce groupe contient les « cyprinidés » au sens large. Au total, 46 espèces de cyprinidés ont été introduites dans l'aquariophilie ornementale avant 1918 [ 3 ]. Ce nombre est passé à environ 87 espèces en 1977 [ 42 ], 214 en 1987 [ 64 ] et 276 en 2002, qui étaient commercialisées [ 208 ]. Une augmentation spectaculaire du nombre d'espèces commercialisées n'a pas été enregistrée dans ce groupe de poissons d'eau douce. Cela est probablement dû à la faible popularité des cyprinidés par rapport aux autres taxons, en particulier les characidés, qui sont généralement plus petits et plus joliment colorés. Leur proportion actuelle a été estimée à 3,8 % de toutes les espèces de poissons d'ornement d'eau douce.

Cependant, certains cyprinidés ornementaux sont très populaires (par exemple, *Danio rerio* , *Trigonostigma hétéromorpha* , les loches et les barbues). Les poissons rouges ( *Carassius auratus* ) et les Nishikigoi ( *Cyprinus carpio* , *C. rubrofuscus* et leurs hybrides, appelés Koi) ont probablement été les premiers taxons de poissons d'eau douce élevés à des fins ornementales. Ces taxons se distinguent comme étant parmi les poissons d'ornement les plus populaires au monde. Réputés pour leurs couleurs vives, leurs mouvements élégants et leurs besoins de soins faciles à gérer, les poissons rouges plaisent particulièrement aux aquariophiles novices et expérimentés. Ils sont fréquemment hébergés dans des aquariums domestiques, des étangs extérieurs et même intégrés dans des fontaines de jardin ou des jeux d'eau. L'histoire des poissons rouges et des Nishikigoi, ainsi que de nombreuses formes attrayantes élevées de manière sélective, remonte à l'Antiquité, la Chine puis le Japon étant les principaux producteurs [ 20 , 209 , 210 ].

### 7.9 Poisson labyrinthe

Français Les poissons labyrinthes étaient un groupe clé au début de l'aquaculture ornementale et de l'aquariophilie car ils étaient capables de survivre à un long transport océanique en raison de leur capacité à respirer l'oxygène atmosphérique [ 3 ]. Mais le nombre total d'espèces importées et conservées est relativement faible : 41 espèces en 1977 [ 42 ], 83 en 1982 [ 211 ] et 180 en 2013 [ 212 ]. Néanmoins, parmi ces taxons, on trouve des espèces très populaires et couramment disponibles : le poisson combattant du Siam ( *Betta splendens* ), le poisson-paradis ( *Macropodus opercularis* ), le gourami perlé ( *Trichopodus leerii* ), le gourami à trois taches ( *T. trichopterus* ), le gourami nain ( *Trichogaster lalius* ) et le gourami embrasseur ( *Helostoma temminckii* ).

### 7.10 Autres poissons

De nombreux autres taxons de poissons ont été importés comme poissons d'ornement, qui, combinés aux poissons labyrinthes, représentent 25,9 % de tous les poissons d'ornement d'eau douce. À titre d'exemple, nous allons discuter des poissons-chats.

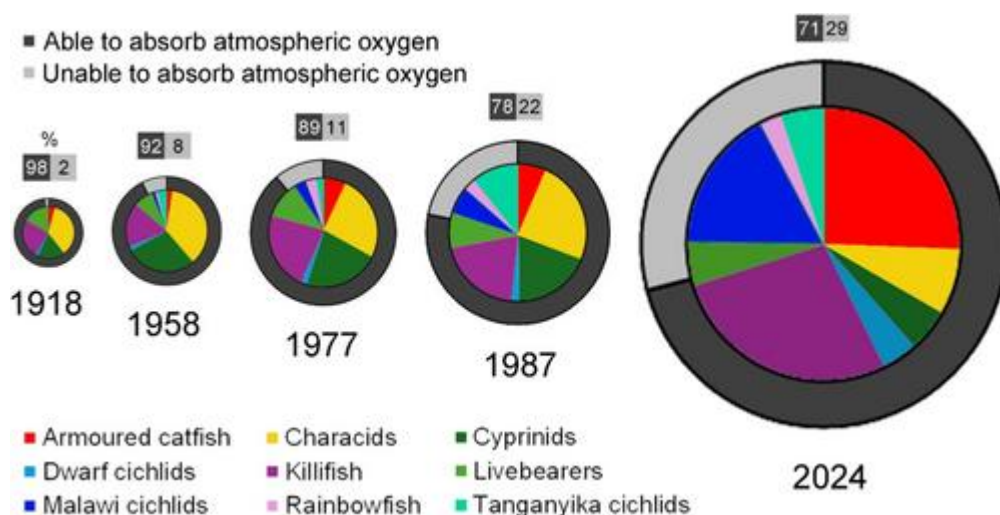
En comparaison avec le poisson-chat cuirassé mentionné ci-dessus, les autres poissons-chats d'eau douce ne sont pas abondants dans l'aquaculture et le commerce d'ornements. Ces taxons de poissons-chats ont été importés comme poissons d'ornement au début de l'histoire de l'aquaculture ornementale, mais le nombre total d'espèces était faible (seulement 12 espèces importées en 1900, 29 en 1918, 84 en 1977, 92 en 1987 et 198 en 2002 ; [ 3 , 63 , 64 , 208 ]). Ces poissons ne sont pas aussi populaires dans l'aquaculture ornementale en raison de leur activité principalement nocturne, de leur grande taille, de leur appétit vorace, de leur comportement prédateur, de leur coloration banale et peu attrayante, et sont difficiles à propager en captivité [ 213 ]. Sur environ 500 poissons-chats africains [ 117 ], seule une douzaine sont couramment disponibles sur le marché, dont aucun ne fait partie des espèces les plus courantes

[ 23 ]. En général, la grande majorité des espèces de poissons-chats d'eau douce sont considérées comme inappropriées pour l'aquariophilie ornementale.

## 8 tendances mondiales

Sur la base de l'étude de la littérature et de la liste des espèces commercialisées, nous avons établi une chronologie du nombre cumulé d'espèces de poissons d'ornement importées. Nous présentons cette chronologie dans la figure 1 et y avons inclus la chronologie des événements politiques et socio-économiques importants qui ont influencé l'importation de poissons d'ornement. Nous avons également identifié les groupes de poissons les plus importants qui ont contribué de manière significative au nombre total actuel d'espèces de poissons d'ornement : 20,3 % pour le killi, 19,0 % pour le poisson-chat cuirassé et 16,5 % pour les cichlidés lacustres d'Afrique de l'Est.

La grande plasticité phénotypique du comportement naturel des poissons associée à la respiration aérienne, y compris une combinaison de diverses stratégies liées aux différents niveaux d'oxygène dans l'eau, est une caractéristique souhaitable chez les taxons de poissons d'ornement [ 3 ]. Par conséquent, les espèces de poissons capables d'absorber l'oxygène atmosphérique ont dominé le marché, mais leur ratio par rapport aux autres a progressivement diminué au cours de l'ère moderne de l'aquaculture ornementale, passant de 98:2 en 1918 à 71:29 en 2024 (Figure 2 ). Les progrès technologiques et le transport international rapide ont également permis aux commerçants et aux éleveurs d'importer avec succès davantage d'espèces, en particulier celles qui ne peuvent pas respirer ou absorber l'oxygène atmosphérique.



**FIGURE 2**

Nombre total d'espèces de poissons d'ornement d'eau douce importées au fil du temps par les groupes suivants : poisson-chat cuirassé, characidés, cyprinidés, cichlidés nains, killis, vivipares, cichlidés du Malawi, poissons arc-en-ciel et cichlidés du Tanganyika. Chaque groupe est indiqué par une couleur spécifique. La taille du cercle indique le nombre total d'espèces importées jusqu'à cette année-là. Le cercle extérieur représente le ratio des espèces capables d'absorber l'oxygène atmosphérique (gris foncé) par rapport aux espèces qui ne le peuvent pas (gris pâle). Ce ratio est également donné ci-dessus en %.

Le commerce international a été encouragé par la réduction ou la suppression des barrières commerciales telles que les tarifs ou les quotas dans l'accord général sur les tarifs douaniers et le commerce signé en 1947. Cependant, même s'il était crucial, l'impact direct de cet accord juridique sur les importations de poissons d'ornement n'était pas évident. La fondation de l'industrie du courrier aérien express et la séparation ultérieure du transport de marchandises et de passagers dans la première moitié des années 1970 [ 214 ], ainsi que l'introduction de gros avions cargo à la fin des années 1980 [ 215 ], ainsi qu'un intérêt plus profond pour l'aquaculture ornementale (Figure 1 ), ont été les principaux moteurs pertinents de l'augmentation rapide des importations commerciales de poissons d'ornement dans les années 1990 et le nouveau millénaire. Simultanément, la fin de la guerre froide en 1991 a amélioré la communication entre les pays, rendu plus de zones accessibles et accru la sécurité des voyages [ 216 ]. La disponibilité d'une grande variété d'espèces de poissons d'ornement a inspiré un large éventail de passionnés à se lancer dans l'aquariophilie.

Cela a également été étroitement associé à un intérêt croissant et profond pour l'aquaculture ornementale dans les pays d'origine en tant que secteur économiquement précieux et rentable. De nombreuses espèces auparavant négligées sont devenues populaires, et leur aquaculture ou leur récolte sauvage a augmenté rapidement (par exemple, chez *Dawkinsia denisonii*, qui a été introduit sur le marché au plus tôt en 1996 ; [ 217 ]). En outre, diverses espèces de poissons et d'invertébrés jusqu'alors non décrites ont été officiellement décrites en raison de leur importation et de leur vente comme plantes ornementales, par exemple, les poissons cyprinidés annoncés comme « Galaxy Rasbora » ou « Galaxy Microrasbora » qui ont été plus tard officiellement décrits comme *Celestichthys margaritatus* et actuellement acceptés comme *Danio margaritatus* [ 218 ] ou les écrevisses parastacidés annoncées comme « Blue

moon » et plus tard officiellement décrites comme *Cherax woworae* et *C. pulverulentus* [ 219 , 220 ]. Sur la base des listes d'espèces et de prix de certains grossistes et producteurs locaux bien établis de République Tchèque et d'Indonésie, deux importants négociants et producteurs de poissons d'ornement, nous avons mis à jour les estimations du nombre total d'espèces de poissons d'eau douce (et saumâtres) conservées plus ou moins fréquemment comme poissons d'ornement, qui s'élève actuellement à environ 7 900, et augmente de manière exponentielle d'année en année ( $y = -5402,01/[1 + (-8,6193 \times 10^{-14}) \times e^{-0,0167324 \times x}]$ ,  $R^2 = 0,9382$ ,  $x = \text{année}$  ; Figure 1).

Nous pensons personnellement que le point de saturation du marché sera atteint lorsque le nombre total de poissons d'eau douce ornementaux atteindra environ 10 000 espèces. Étant donné que cette valeur n'est qu'une estimation approximative et qu'elle correspond à nos prévisions et attentes, une surveillance continue et précise du marché est fortement recommandée et nécessaire, car il y aura toujours des prises accessoires et l'intérêt des spécialistes pour les nouvelles espèces et formes restera intact.

Il ne fait aucun doute que l'aquaculture ornementale présente de nombreux aspects positifs. Les aquariums d'intérieur et les étangs extérieurs peuvent servir de bons modèles pour l'éducation et la formation à la conservation de la nature, qui peuvent être bien enrichies par des expériences pratiques, des expériences personnelles et une relation intime avec les animaux et les écosystèmes entiers [ 5 ]. En outre, les défenseurs de l'environnement et les gestionnaires de la faune sauvage peuvent utiliser la plus grande popularité des espèces ou des groupes d'espèces pour communiquer avec le public et sensibiliser davantage les parties prenantes aux avantages et aux risques liés à l'aquaculture ornementale et à la conservation de la biodiversité [ 9 ].

Cependant, la commercialisation continue de l'aquaculture ornementale s'accompagne d'un affaiblissement des associations d'amateurs et des activités des clubs. Cette tendance a été suivie au début du nouveau millénaire par un déclin rapide du nombre de membres et une réduction presque équivalente à celle du milieu des années 1930 [ 38 ]. Simultanément, les nombreuses petites animaleries locales ont disparu, remplacées par de grandes chaînes de vente au détail, des magasins de bricolage et des jardineries.

Au cours des deux dernières décennies, Internet est devenu la principale source d'information, ce qui a entraîné une augmentation de la commercialisation, de l'individualisation et un rétrécissement de la base professionnelle de l'aquaculture ornementale avec une part croissante du commerce en ligne [ 221 ]. Cependant, cela a conduit à négliger la richesse des connaissances et des observations sur l'aquariophilie ornementale publiées dans plus de 100 ans de magazines, livres et revues, ce qui a conduit à une simplification excessive de la pratique de la pisciculture par les auteurs de sites et les blogueurs qui n'ont pas l'expérience de l'application pratique de ces techniques. La surcharge d'informations de qualité variable sur Internet érode les connaissances et l'expertise existantes parmi les amateurs et les propriétaires d'aquarium. L'absence d'un organisme de contrôle pour vérifier les informations publiées sur Internet pourrait sérieusement nuire au domaine, à la santé, au commerce et au bien-être des organismes gardés. En conséquence, certains propriétaires d'aquarium se comportent de manière irresponsable, notamment en achetant des espèces qui deviennent trop grandes pour la captivité, en achetant des animaux sans connaissances suffisantes sur leurs besoins vitaux, en surpeuplant le bac, etc. [ 6 ].

L'aquaculture ornementale et le commerce d'animaux de compagnie qui y est associé sont actuellement les principales sources d'organismes non indigènes relâchés dans les plans d'eau naturels, ce qui accroît les risques d'invasion biologique [ 14, 152, 222-225 ]. Cependant, des interdictions strictes concernant les espèces à haut risque et d'autres espèces inscrites sur les « listes positives » pourraient paradoxalement nuire à la biodiversité en raison de l'arrêt de la production nationale et de l'augmentation des captures sauvages illégales. En outre, même si la surexploitation et les autres risques associés à l'aquaculture ornementale constituent de graves menaces pour les taxons endémiques, la destruction de l'habitat continuerait d'être la principale menace pour de nombreuses espèces gravement menacées [ 5, 17 ].

Actuellement, les scientifiques travaillent en collaboration avec des amateurs passionnés et d'autres parties prenantes sur des projets internationaux de sélection conservatrice. Ces projets incluent, sans toutefois s'y limiter,

- Le projet Paro pour la conservation des gouramis du genre *Parosphromenus* (<https://parosphromenus-project.org>),
- Le projet Goodeiden pour la réintroduction des goodeidés des hautes terres mexicaines (<http://www.goodeidworkinggroup.com>),
- Le projet « Mata Atlântica » pour la conservation du poisson-chat cory du Brésil du genre *Scleromystax* (<http://www.oevvoe.org/scleromystax-mata-atl%C3%A1ntica>),
- « Projet Piaba » pour la conservation des populations du tétra cardinal (*Paracheirodon axelrodi*) dans le bassin du Rio Negro, Brésil (<https://projectpiaba.org/>),
- Le projet « Peixes das Nuvens » pour la conservation des 130 espèces de killi brésiliens (<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/pan/pan-rivulideos>),
- Le projet de conservation des killis du genre *Aphanius* (<https://biodiversity.europa.eu/case-study-hub/mediterranean-killifish-aphanius-fasciatus>),
- Les Sulawesi Keepers se sont concentrés sur la conservation et l'élevage de divers poissons d'eau douce,

crevettes, crabes et gastéropodes aquatiques en voie de disparition originaires de Sulawesi, en Indonésie (<https://sulawesikeepers.org>).

L'importance de l'aquariophilie ornementale pour l'éducation populaire doit également être soulignée [ 199 , 226 , 227 ]. Dans ce sens, de très bonnes approches ont déjà été mises en œuvre dans le passé [ 228 , 229 ], qui sont malheureusement aujourd'hui oubliées. Nous considérons qu'une meilleure éducation scientifique pour tous les niveaux de population est indispensable (non seulement dans les pays de destination mais aussi dans les pays/régions d'origine tels que Sulawesi, en Indonésie ; [ 230 ]).

## 9 Cadre législatif dans certains pays importants sélectionnés

Les problèmes évoqués ci-dessus soulèvent la question fondamentale de savoir dans quelle mesure l'État devrait intervenir dans l'importation et le commerce des poissons, invertébrés et plantes ornementaux par le biais de la législation. L'approche de l'aquaculture ornementale, du commerce et du bien-être des animaux d'ornement dans les pays concernés varie à certains égards. Par exemple, en Allemagne, deux partis politiques réclament actuellement une réglementation et des restrictions complètes sur la possession d'animaux de compagnie. Nous pensons que certaines réglementations et restrictions légales sont fondamentalement nécessaires, même si les espèces affectées par les activités de loisir sont plus susceptibles d'être des reptiles, des oiseaux ou des mammifères et, dans une moindre mesure, des poissons. Étant donné que l'aquaculture ornementale est responsable de l'introduction de nombreux organismes non indigènes en dehors de leur aire de répartition d'origine, les espèces identifiées comme ayant un potentiel d'invasion élevé *sensu* Vilizzi et al. [ 169 ] devraient être remplacées par des espèces à faible risque. Une attention particulière devrait être accordée aux vecteurs de maladies et d'agents pathogènes non indigènes [ 231 ]. Cette approche est potentiellement plus efficace qu'une interdiction totale de groupes entiers d'animaux de compagnie commercialisés, mais elle doit être expliquée avec précision au public et aux parties prenantes pour qu'ils comprennent et acceptent pleinement l'idée [ 140 ]. Les espèces à haut risque sont généralement interdites par des listes noires nationales ou internationales telles que celles du règlement de l'Union européenne 1143/2014 : liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union. Même si le nombre d'espèces de poissons répertoriées dans la version actuelle est faible (10 espèces), on peut s'attendre à une augmentation future.

Nous pensons que la restriction législative du commerce international des organismes d'aquarium devrait se faire sur la base du principe des « listes négatives », c'est-à-dire des inventaires d'animaux et de plantes qui ne peuvent, si nécessaire, pas être commercialisés (voir par exemple le système législatif de la CITES, <https://cites.org>), complétés par des actes législatifs nationaux fondés sur le même principe. Pour garantir le bien-être des animaux d'élevage, les pays peuvent prendre des mesures législatives et le font. Sur la base de recherches, des listes noires régionales d'espèces indésirables à haut risque sont créées et publiées, et elles peuvent également être adoptées pour la réglementation de l'aquaculture ornementale.

Deux formes d'aquaculture ornementale sont actives en Europe :

- i. Importer depuis d'autres pays, par exemple, Singapour, l'Indonésie, la Thaïlande, le Brésil, la Colombie, le Pérou et le Nigéria ;
- ii. Production nationale, la République tchèque et l'Allemagne étant les leaders.

Les poissons d'ornement (mais pas les invertébrés, à l'exception des céphalopodes adultes) sont protégés contre la cruauté et la souffrance animales par la directive n° 98/58/CE du Conseil concernant la protection des animaux destinés à la production. Certains taxons de poissons d'ornement d'eau douce sont protégés par le règlement (UE) 2023/966 de la Commission modifiant le règlement (CE) n° 338/97 du Conseil relatif à la protection des espèces de faune et de flore sauvages par le contrôle de leur commerce. La détention d'animaux et de plantes aquatiques ornementales dans des animaleries et des jardinerie est réglementée par l'article n° 6 de la décision 2006/656/CE de la Commission établissant les conditions de police sanitaire et les exigences de certification applicables aux importations de poissons à des fins ornementales ou dans des installations équipées de systèmes de traitement des effluents, qui répondent aux objectifs fixés. Même si plusieurs textes législatifs imposent des réglementations sur les opérations d'aquaculture ornementale, y compris des restrictions sur des taxons spécifiques dans l'Union européenne, les éleveurs privés restent largement non réglementés.

### 9.1 République tchèque

La réglementation de l'aquaculture ornementale en République Tchèque, un pays qui a une longue histoire d'importation et de production nationale de poissons d'ornement et qui sert de plaque tournante pour le commerce d'animaux de compagnie dans l'Union européenne [ 23 , 232 , 233 ], est définie notamment dans la loi n° 114/1992 et le règlement (CE) n° 708/2007 du Conseil, qui fixe entre autres les règles d'utilisation (transfert, lâcher, repeuplement) d'espèces non indigènes en aquaculture. Les poissons d'ornement sont protégés contre la cruauté et la souffrance animales par la loi n° 246/1992. En particulier, le transport, l'euthanasie et la compétence professionnelle pour le commerce et la conduite d'expériences sont soumis à une réglementation. Afin de réglementer le commerce et de

réfléter les amendements adoptés lors de la 19<sup>e</sup> réunion de la Conférence des Parties à la Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction, la loi n° 100/2004 a été transposée dans les mesures législatives tchèques ; Parmi les espèces répertoriées figuraient des raies pastenagues d'eau douce d'Amérique du Sud, toutes membres de l'ordre des Acipenseriformes, des raies asiatiques à langue osseuse (*Scleropages formosus* et *S. inscriptus*), des arapaïmas (*Arapaima gigas*), des poissons-chats géants du Mékong (*Panasianodon gigas*), des poissons-chats blindés pleco zébrés (*Hypancistrus zebra*), des anguilles européennes (*Anguilla anguilla*) et des dipneustes australiens (*Neoceratodus forsteri*).

Certains poissons indigènes font partie des espèces spécialement protégées en République tchèque par la loi n° 114/1992 (par exemple, les lamproies, le goujon de Kessler [*Romanogobio kessleri*], les loches épineuses indigènes [*Cobitis* spp. et *Sabanejewia* spp.], les chabots du genre *Cottus*, le vairon d'Eurasie [*Poxinus phoxinus*] et l'ide [*Leuciscus idus*]) et des permis sont nécessaires pour la pêche à la ligne et tout élevage. La détention et l'élevage d'organismes génétiquement modifiés, c'est-à-dire de poissons tels que le danio zébré (*Danio rerio*) et d'autres espèces, sont limités par la loi n° 78/2004, qui met en œuvre la directive 2001/18/CE du Parlement européen et du Conseil relative à la dissémination volontaire d'organismes génétiquement modifiés et abroge la directive 90/220/CEE du Conseil — Déclaration de la Commission.

### 9.2 Allemagne

En Allemagne, des dispositions légales interdisant la maltraitance animale existent depuis le début du XIX<sup>e</sup> siècle. Cela a donné naissance à la loi sur la protection des animaux (TierSchG.) de la République Fédérale d'Allemagne, entrée en vigueur en tant que loi fédérale le 1<sup>er</sup> octobre 1972 et modifiée à plusieurs reprises depuis. En mai 2002, la protection des animaux a été inscrite comme objectif national dans la Loi fondamentale (article 20a). Cette loi sur la protection des animaux revêt également une importance considérable pour le commerce ainsi que pour l'élevage et la culture de poissons d'aquarium. L'article 2 exige que chaque propriétaire d'animaux possède les connaissances générales et les compétences nécessaires pour une alimentation, des soins et un logement appropriés à l'espèce. L'article 11 (« élevage, détention d'animaux, commerce d'animaux ») résume les exigences de manière beaucoup plus spécifique, car une preuve de compétence au titre de l'article 11 de la loi sur la protection des animaux est requise. Cela s'applique en particulier aux marchands d'animaux et aux personnes impliquées dans la vente d'animaux. Cette preuve de compétence est également exigée par les organisateurs de foires et d'expositions d'animaux si celles-ci durent plus de 3 jours. Comme il est difficile de prouver ses compétences, deux associations proposent régulièrement des formations spécialisées, approuvées et sanctionnées par des examens et des certificats. Il s'agit de l'Association fédérale pour la protection de la nature et des espèces (BNA) et de l'Association des associations allemandes d'aquariophilie et de terrarium (VDA). Cette dernière propose même ces formations sur quatre sites en Allemagne. De plus, le ministère fédéral de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Forêts a publié en collaboration avec des experts un « Guide sur les exigences minimales pour la détention de reptiles » (1997) et un autre « Guide sur les exigences minimales pour la détention de poissons d'eau douce ornementaux » (1998).

### 9.3 Espagne

En comparaison, l'aquaculture ornementale en Espagne est tirée par les importations d'animaux d'ornement [ 234 ]. Le commerce des aquariums en Espagne est réglementé par la réglementation générale du commerce des animaux de compagnie en Europe (par exemple, le document vétérinaire commun d'entrée, règlement 338/1997). De plus, le commerce, la détention et le transport de certaines espèces exotiques sont interdits depuis l'entrée en vigueur de la première « liste noire » des espèces envahissantes en Espagne en 2011 (RD1628/2011) et les mises à jour ultérieures (RD630/2013 ; RD 1143/2014). L'un des principaux problèmes de cette législation est qu'une espèce est interdite lorsqu'il existe une invasion documentée ailleurs [ 235 ]. Ces chercheurs plaident en faveur d'une approche plus proactive qui s'attaque à la cause profonde des invasions liées aux animaux de compagnie : l'abandon des animaux de compagnie. Ils proposent, entre autres mesures proactives, de restreindre la vente d'espèces bon marché et de petite taille au point d'achat pour décourager les achats impulsifs [ 235 ]. Ceci est particulièrement pertinent si l'on considère que de nombreuses espèces facilement disponibles, comme le requin Bala (*Balantiocheilos melanopterus*) ou le Pleco (*Pterygoplichthys gibbiceps*), atteignent des tailles que la plupart des aquariums domestiques ne peuvent pas accueillir [ 234 ]. Bien que le risque d'invasion de ces espèces tropicales soit faible en Espagne continentale, la vente de certaines espèces, qui présentent une forte probabilité de soins inappropriés, suscite des préoccupations éthiques. Il est également important de réduire les abandons d'animaux de compagnie ou les évasions des grossistes en poissons d'ornement, car le changement climatique et les températures hivernales douces peuvent favoriser l'établissement d'espèces de poissons d'ornement subtropicaux ou de leurs parasites dans les eaux douces espagnoles [ 235 ], comme cela s'est produit dans les eaux douces allemandes [ 236 ]. La nouvelle législation sur le bien-être animal, y compris la réglementation relative aux animaux de compagnie (RD7/2023), semble aborder ces questions en élaborant une liste d'espèces autorisées, souvent appelées « listes blanches » ou « listes vertes ». Toutefois, les détails spécifiques de cette législation et son impact potentiel sur le commerce d'espèces librement disponibles depuis des décennies restent flous (voir [ 235 ]).

#### 9.4 États-Unis et Canada

Les réglementations en vigueur en Amérique du Nord pour les poissons d'aquarium d'eau douce incarnent l'axiome susmentionné selon lequel les décideurs politiques « ont tendance à protéger les espèces en voie de disparition et à réglementer les espèces envahissantes ». Les diktats qui pèsent sur les importations d'espèces d'eau douce aux États-Unis comprennent les réglementations du US Fish and Wildlife Service (USFWS) et du US Department of Agriculture (USDA), qui réglementent l'importation, le transport interétatique et la propriété des espèces envahissantes. Les États individuels ont également des réglementations sur les interdictions d'espèces, les exigences de permis et les restrictions sur la collecte dans la nature. Une étude des risques liés aux espèces aquatiques envahissantes dans le commerce est soutenue par le US Department of Interior, disponible sur [www.aisincommerce.org](http://www.aisincommerce.org). Certaines espèces sont évaluées par des modèles de prévision, par exemple *Arapaima gigas* [ 237 ]. En outre, pour minimiser la libération d'animaux aquatiques indésirables, le Pet Advocacy Network USFWS et la National Oceanic and Atmospheric Administration ont développé un programme destiné aux consommateurs appelé Habitattitude (<https://www.habitattitude.net/>). Le message d'éviter d'abandonner les animaux de compagnie est promu sur les marchés de détail, dans les salons professionnels et dans les magazines concernés [ 238 ]. Pour les espèces en voie de disparition, des mandats sont mis en place par la CITES, ainsi que par la loi américaine sur les espèces en voie de disparition (United States. Congress. « Endangered Species Act of 1973. » 16 USC §§ 1531–1544.). La loi Lacey (United States. Congress. « Lacey Act. » 16 USC §§ 3371–3378), qui protège la faune sauvage en interdisant l'importation ou l'exportation d'animaux sauvages au-delà des frontières nationales ou étatiques qui contreviennent aux lois locales, est propre aux États-Unis. Les données sur le commerce interétatique des poissons d'ornement ne sont pas bien tenues à jour, et donc l'impact total de ce commerce en termes d'avantages économiques et de nombre d'espèces est mal connu. Les impacts environnementaux de l'aquaculture domestique sont réglementés par l'Agence de protection de l'environnement (EPA) par le biais de son système national d'élimination des rejets de polluants. La majorité des exploitations d'aquaculture ornementale ne sont pas tenues de signaler ces pertes, car elles ne sont pas considérées comme des installations de production concentrée d'animaux aquatiques, car elles rejettent des effluents moins de 30 jours par an. Les lois sur l'aquaculture varient considérablement d'un État à l'autre et, en Floride, le plus grand producteur national de poissons d'ornement, les réglementations qui entraînent des pertes de production dépassent le coût financier de la conformité [ 239 ]. Les principaux fardeaux réglementaires pour les producteurs comprenaient le transport interétatique et international (supervisé par le ministère de l'Agriculture des États-Unis), l'accès à l'eau (supervisé par le ministère de la Protection de l'environnement de la Floride) et l'approbation des médicaments et des produits chimiques (supervisée par la Food and Drug Administration et l'EPA).

Au Canada, l'Agence des services frontaliers reçoit les importations et travaille ensuite avec Pêches et Océans Canada (ainsi que les provinces et les territoires), l'Agence canadienne d'inspection des aliments et Environnement et Changement climatique Canada pour les questions pertinentes concernant les espèces aquatiques envahissantes, la santé des animaux aquatiques et les espèces CITES, respectivement. Les provinces ont toutes leurs propres mandats, dont beaucoup sont définis sous la forme de listes à éviter, et les réglementations canadiennes concernant les espèces envahissantes sont résumées par Reid et al. [ 240 ].

#### 9.5 Brésil

Français Le commerce brésilien des produits d'aquarium est réglementé par la loi fédérale n° 9605 de 1998. Cette loi met l'accent sur la réglementation du commerce des espèces aquatiques non indigènes par le biais de vecteurs tels que l'importation de poissons et l'industrie des aquariums [ 158 ]. Pour réduire la probabilité d'invasions au Brésil via le commerce des produits d'aquarium, certaines espèces spécifiques ont été placées dans les instructions normatives fédérales 202 et 203 de 2008 pour les espèces de poissons d'eau salée et d'eau douce, respectivement. Ces lois ont été adoptées par l'Institut brésilien de l'environnement et des ressources naturelles renouvelables (IBAMA), une agence fédérale dépendant du ministère de l'Environnement qui a déterminé que l'importation, le commerce, la culture et le transport de spécimens vivants de ces poissons non indigènes dans le commerce brésilien des aquariums étaient illégaux en raison

- (i) de leur non-pertinence pour le hobby (*Lutjanus sebae*, *Pangasianodon hypophthalmus*, *Channa argus*, *Channa striata*, *Clarias batrachus*, *Osphronemus gourami*, *Trichopodus pectoralis*);
- (ii) comportement agressif (*C. argus*, *Channa lucius*, *Channa micropeltes*, *C. striata*, *C. batrachus*); et
- (iii) historique des invasions dans d'autres pays (*Centropyge flavissima*, *T. pectoralis*, *O. gourami*, *C. micropeltes*, *C. striata*, *C. batrachus*) ([ 241 ]).

Récemment (c'est-à-dire le 16 janvier 2017), l'IBAMA a également interdit l'importation, le commerce, la culture et le transport du *Danio rerio* transgénique sur tout le territoire brésilien [ 242 ]. Bien qu'il s'agisse de bonnes lois, elles sont considérées comme « lettres mortes » (c'est-à-dire qu'elles font référence à des lois existantes, mais non appliquées). La récente disponibilité et la facilité d'achat d'espèces illégales sur le marché brésilien, telles que *C. flavissima*, *P. hypophthalmus*, *T. pectoralis*, *O. gourami*, *C. argus*, *C. lucius*, *C. micropeltes*, *C. striata* et *C. batrachus*, indiquent que la conformité aux instructions normatives n° 202 et 203 de 2008 n'est pas effective [ 158 ]. De même, bien

qu'interdits, *D. rerio* transgénique et le tétra de la jupe (*Gymnocorymbus ternetzi*) sont très populaires dans les animaleries des cinq régions géopolitiques du Brésil [ 242 , 243 ] et sont déjà introduits dans les ruisseaux de la forêt atlantique situés dans la région du sud-est ([ 244]; Magalhães ALB, observation personnelle pour *G. ternetzi*). Ce scénario de non-respect des interdictions brésiliennes est dû au fait que l'IBAMA souffre d'une pénurie chronique de fonctionnaires dans son personnel depuis sa création en 1989, ce qui conduit à une inspection inefficace et à un manque de connaissance de ces lois par les parties prenantes (c'est-à-dire les importateurs, les grossistes, les détaillants, les propriétaires d'animaleries) impliquées dans le commerce brésilien des aquariums [ 158 , 242 , 245 ].

## 9.6 Singapour

L'industrie des poissons d'ornement à Singapour a une riche histoire qui remonte aux années 1920, lorsque les immigrants chinois ont commencé à élever des poissons pour l'exportation. Dans les années 1970, Singapour est devenue une plaque tournante mondiale du commerce des poissons d'ornement [ 246 ]. Aujourd'hui, elle reste un acteur important de l'industrie [ 2 ], avec des techniques d'élevage avancées et des mesures de contrôle de qualité rigoureuses. La situation stratégique de Singapour, son climat favorable et son expertise lui ont permis de maintenir son statut d'exportateur mondial de premier plan de poissons d'ornement [ 247 ]. Le cadre législatif régissant l'industrie des poissons d'ornement à Singapour est complet et comprend diverses réglementations visant à garantir des pratiques durables et le bien-être de la vie aquatique.

Réglementées en vertu de la loi sur les animaux et les oiseaux ( <https://sso.agc.gov.sg/Act/ABA1965> ), de la loi sur la faune sauvage ( <https://sso.agc.gov.sg/Act/WA1965> ) et de la loi sur les espèces en voie de disparition (importation et exportation) ( <https://sso.agc.gov.sg/Act/ESIEA2006> ), ces lois sont conformes à la Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES), administrée par le National Parks Board (NParks : <https://www.nparks.gov.sg/>). NParks applique des réglementations supplémentaires adaptées à l'industrie des poissons d'ornement, notamment des exigences de licence pour les importateurs et les exportateurs et des directives pour la manipulation, l'hébergement et le transport des poissons d'ornement.

Les règles relatives aux poissons d'ornement (licences des importateurs, exportateurs et transbordeurs) imposent l'obtention d'une licence auprès de NParks, sous réserve de conditions telles que les normes de bien-être animal et les mesures de biosécurité. Ce cadre législatif garantit que l'industrie fonctionne de manière durable, protégeant le bien-être des poissons et l'écosystème local des risques environnementaux.

## 9.7 Indonésie

La pêche et l'aquaculture en Indonésie sont réglementées par la loi sur la pêche n° 31/2004, qui souligne le rôle crucial de l'utilisation durable des ressources aquatiques dans le développement de la pêche. La Direction générale du développement de l'aquaculture, sous l'égide du ministère des Affaires maritimes et de la Pêche, gère toutes les questions liées à l'aquaculture au niveau national avec autorité et expertise [ 248 ]. L'aquaculture contribue de manière significative à la sécurité alimentaire nationale, aux revenus et à l'emploi, ainsi qu'aux recettes en devises, et joue un rôle important dans la pêche indonésienne [ 249 ]. L'Indonésie (et l'Asie en général) ont fait des progrès significatifs en matière de réglementations législatives et d'actes liés à l'aquaculture. Le Centre de développement des pêches d'Asie du Sud-Est (SEAFDEC) a préparé les Directives régionales pour une pêche responsable en Asie du Sud-Est, qui s'appliquent à l'aquaculture dans les environnements marins, saumâtres et d'eau douce, afin de faciliter la mise en œuvre du Code de conduite de la FAO pour une pêche responsable [ 250 ].

Le règlement du ministre des Affaires maritimes et de la Pêche numéro 47/PERMEN-KP/2020 décrit clairement les réglementations régissant le mouvement des poissons à destination et en provenance d'Indonésie. Ce règlement affirme la supervision et le contrôle de la sécurité et de la qualité des aliments, de la sécurité et de la qualité des aliments pour animaux, des produits génétiquement modifiés, des ressources génétiques, des agents biologiques, des espèces envahissantes et des espèces de poissons protégées qui sont introduites, propagées d'une zone à une autre ou retirées du territoire de la République d'Indonésie. Le ministre des Affaires maritimes et de la Pêche a interdit l'entrée, l'élevage et la libération de certaines espèces de poissons nuisibles en Indonésie par le règlement 41/PERMEN-KP/2014. L'efficacité du règlement a été limitée. En vertu de ce règlement, 152 espèces de poissons ont été déclarées illégales en raison de leur nocivité. Cependant, il est important de noter qu'il existe encore de nombreuses espèces de poissons d'ornement à haut risque présentes dans les eaux indonésiennes, notamment : *Arapaima gigas* , *A . leptosome* , *Amatitlania nigrofasciata* , *Polypterus senegalus* , *Potamotrygon* spp. (par exemple, [ 13 , 149 , 251]).

Il convient de mentionner que « ikan hias » est le terme indonésien pour les poissons d'ornement, mais d'autres animaux aquatiques ornementaux sont également inclus (comme les écrevisses). Le ministre des Affaires maritimes et de la Pêche de la République d'Indonésie a publié un règlement sur la quarantaine des poissons en Indonésie par le biais du règlement ministériel n° 8 de 2022. Ce règlement décrit clairement les produits qui nécessitent des contrôles de quarantaine des poissons, ainsi que les mesures de contrôle de la qualité et de sécurité des produits de la pêche. La politique de la loi omnibus vise à unifier plusieurs lois (« undang-undang ») à la fois, y compris la simplification des réglementations [ 252 , 253 ]. De plus, tous les poissons expédiés aux acheteurs doivent subir un processus de quarantaine. Il est essentiel de s'assurer que l'Agence de quarantaine des poissons inspecte chaque aspect pendant le

processus d'inspection pour éviter tout préjudice potentiel aux acteurs économiques et aux acheteurs.

### 9.8 Inde

Dans le commerce indien des poissons d'ornement, des centaines d'espèces exotiques sont répandues, ce qui reflète l'importance croissante de ce secteur en raison de ses impacts sociaux et économiques [ 254 - 256 ]. Cependant, l'afflux non réglementé d'espèces aquatiques exotiques au-delà des frontières a attiré une attention considérable de la part des scientifiques et des décideurs politiques, soulignant la nécessité d'une réglementation et d'une gestion rigoureuses [ 257 - 259 ]. De plus, la présence d'espèces exotiques d'aquarium a été détectée dans des plans d'eau naturels à travers l'Inde, comme le guppy, le gourami, le platy et le poisson-chat suceur, ce qui indique des implications environnementales potentielles [ 260 , 261 ]. Le gouvernement indien a mis en œuvre une série d'initiatives pour promouvoir le développement de la pêche ornementale dans tout le pays. Le National Fisheries Development Board a joué un rôle déterminant en fournissant une aide financière pour divers aspects du développement de la pêche ornementale, notamment la création d'unités d'élevage de basse-cour, d'unités d'élevage à moyenne échelle, d'unités intégrées d'élevage et de reproduction, d'unités de fabrication d'aquariums et de marchés de poissons d'ornement. En outre, le Central Marine Fisheries Research Institute a été le fer de lance d'efforts tels que le développement d'une certification verte pour les poissons d'ornement marins, la normalisation des techniques d'élevage et de production de semences et la production d'aliments pour poissons d'ornement à l'aide d'extrudeuses commerciales. L'importation de poissons d'ornement en Inde fait l'objet d'une surveillance réglementaire importante et d'une préoccupation au sein de la communauté scientifique. Le Department of Animal Husbandry, Dairying, and Fisheries (DAHDF) du gouvernement indien a formulé des directives complètes pour réglementer cette pratique. Ces directives, visant à préserver la santé humaine, le bien-être animal et la conservation de l'environnement, imposent des réglementations strictes interdisant l'importation d'espèces appartenant à des catégories spécifiques. Ces catégories comprennent celles considérées comme dangereuses pour les humains ou les animaux, répertoriées dans le cadre d'accords internationaux de conservation, soumises à des interdictions nationales ou internationales ou reconnues comme envahissantes avec des impacts négatifs documentés. Des exceptions peuvent être accordées pour les espèces menacées d'élevage avec une certification appropriée, après une analyse des risques pour évaluer le caractère invasif potentiel. L'importation sans permis valide du DAHDF est strictement interdite afin de garantir le respect des normes réglementaires et la préservation de l'environnement. En outre, le DAHDF a élaboré un protocole sanitaire détaillé pour l'importation de poissons d'ornement en Inde. Ce protocole réglemente le processus d'importation afin d'atténuer les dangers potentiels et les risques environnementaux associés à l'importation de poissons d'ornement. Les catégories interdites englobent les espèces qui représentent une menace pour les humains ou les animaux, celles répertoriées dans le cadre d'accords internationaux de conservation, les espèces soumises à des interdictions d'importation, les espèces envahissantes avec des impacts documentés et les variétés génétiquement modifiées. Cependant, des exceptions peuvent être accordées pour les espèces menacées d'élevage avec une certification appropriée. Ces mesures visent à préserver les écosystèmes et à minimiser la prolifération des espèces nuisibles. En outre, le ministère a fourni une liste de 92 poissons d'ornement autorisés à l'importation en Inde, sous réserve du respect des protocoles sanitaires et des exigences procédurales, y compris l'obtention d'un certificat de non-objection (NOC) du DAHDF ainsi que du ministère de l'Agriculture et du Bien-être des agriculteurs [ 262 ].

### 9.9 Israël

L'importation de poissons d'ornement vivants en Israël est réglementée sous la responsabilité des services vétérinaires du ministère israélien de l'agriculture et a été mise à jour pour la dernière fois en novembre 2020. En bref, deux types de licences d'importation sont réglementées, en fonction des marchandises importées. La première licence concerne l'importation de poissons tropicaux d'ornement, où elle est limitée à une « liste blanche » d'espèces accessible au public, elle ne nécessite pas de pratiques de quarantaine pour l'organisme importé et est valable 36 mois. La seconde est dédiée à l'importation des espèces d'eau froide et de leurs hybrides *Cyprinus rubrofuscus* (nishikigoi), *Carassius auratus*, *Ctenopharyngodon idella* et *Tinca tinca*. Ce type de permis d'importation est valable 18 mois et nécessite une procédure de quarantaine. La quarantaine comprend une inspection vétérinaire surveillée et dure de 30 à 180 jours, selon l'espèce importée.

### 9.10 Afrique du Sud

L'Afrique du Sud importe des poissons d'ornement de 23 pays, dont environ 75 % des importations proviennent d'Asie, principalement du Sri Lanka (23 %), d'Indonésie (15 %), de Singapour (14 %) et de Thaïlande (12 %) (Département des Forêts, de la Pêche et de l'Environnement 2022). L'importation de poissons vivants est réglementée par la loi sur les maladies animales 35 de 1984, la loi sur les ressources marines vivantes 18 de 1998 (MLRA), la loi sur la santé animale 7 de 2002 et la loi nationale sur la gestion de l'environnement : biodiversité 10 de 2004 (NEMBA), les espèces interdites à l'importation étant répertoriées dans le Règlement sur les espèces exotiques et envahissantes (Règlement AIS) ; Liste 7 : Poissons d'eau douce interdits. Un permis d'importation vétérinaire de la Direction de la santé animale est requis pour l'importation de tous les animaux ou produits animaux en Afrique du Sud ou en transit par celle-ci conformément à la loi sur les maladies animales 35 de 1984 (Département de l'agriculture, des forêts et de la pêche 2015). Dans les

années 1990, le ministère de l'Agriculture a établi une liste d'espèces autorisées que les importateurs pouvaient facilement importer dans le pays, car ces espèces n'étaient pas considérées comme présentant un risque grave pour les écosystèmes aquatiques intérieurs de l'Afrique du Sud. Les importateurs de poissons d'ornement sont principalement des grossistes qui importent régulièrement du poisson (souvent chaque semaine) et qui approvisionnent les détaillants d'animaux de compagnie dans toute l'Afrique du Sud, bien que l'importation à des fins personnelles et/ou commerciales soit autorisée avec les permis appropriés (Impson ND, anciennement de CapeNature, comm. pers.). L'inspection des poissons d'ornement importés par les agents des douanes est obligatoire, mais l'identification des espèces peut être problématique en raison du grand nombre d'espèces importées et de la nécessité pour les inspecteurs d'avoir une expertise dans l'identification des poissons.

Le transport de poissons vivants au-delà des frontières provinciales nécessite des permis d'importation et d'exportation délivrés par les autorités de conservation des provinces respectives, comme indiqué dans l'ordonnance sur la conservation de la nature et de l'environnement du Cap, 19 de 1974, la loi sur la conservation de la nature du Ciskei 10 de 1987, l'ordonnance sur la conservation de la nature du KwaZulu-Natal 15 de 1974, l'ordonnance sur la conservation de la nature de l'État libre, 8 de 1969, la loi sur la gestion de l'environnement du Limpopo, 7 de 2003, et l'ordonnance sur la conservation de la nature du Transvaal, 12 de 1983. Bien que ces mesures soient en place, cette exigence est peu appliquée et, en général, il existe des mouvements non documentés de poissons d'ornement à travers l'Afrique du Sud.

### 9.11 Australie

Le cadre législatif régissant le commerce de l'aquaculture ornementale en Australie peut impliquer trois niveaux de gouvernement. La législation environnementale du Commonwealth (c'est-à-dire fédérale), la loi de 1999 sur la protection de l'environnement et la conservation de la biodiversité (EPBC Act) réglemente les importations et les exportations d'espèces sauvages, y compris l'évaluation et l'approbation des espèces potentielles à importer et la liste blanche. Les gouvernements des huit États et territoires continentaux peuvent également réglementer les activités de l'industrie par le biais d'une série de lois sur la pêche et la biosécurité spécifiques à chaque État (y compris des listes noires d'espèces) : Millington et al. [ 263 ] ont identifié 12 exemples de législation étatique dans leur étude. Les gouvernements locaux (par exemple, les conseils municipaux, régionaux ou les villes) peuvent avoir des réglementations supplémentaires susceptibles d'influencer le commerce ou les opérations dans l'aquaculture ornementale. L'importation illégale d'espèces sauvages en Australie est bien documentée et les exemples connus incluent des espèces de poissons, la tortue *Trachemys scripta elegans* [ 264 ] et l'écrevisse d'eau douce *Procambarus clarkii* [ 265 ].

On ne sait pas si les espèces aquatiques importées illégalement interceptées à la frontière étaient destinées au commerce d'aquariums ornementaux, mais il semble que *P. clarkii* était activement commercialisée en Australie occidentale avant sa confiscation en 2021 [ 266 ]. De même, malgré les réglementations strictes et étendues du Commonwealth régissant les importations en Australie, les incursions et l'établissement de maladies aquatiques et de populations d'espèces exotiques dans la nature (y compris les poissons d'ornement) n'ont pas été rares (par exemple, 22 espèces de poissons ; [ 267 ]). De même, des défis existent en vertu de la législation des États. On sait que la déclaration des espèces de poissons, réellement commercialisées, est incomplète au sein de l'industrie australienne des poissons d'ornement [ 263 ]. Cela est en partie dû (et également exacerbé par) des problèmes de nomenclature qui empêchent l'identification précise des espèces, et donc une surveillance et une réglementation efficaces de l'industrie en vertu de la législation des États.

De même, une partie substantielle du commerce australien de poissons d'eau douce ornementaux serait basée sur ce qu'on appelle des espèces « sur liste grise » ; espèces qui n'ont pas été évaluées et inscrites sur la liste blanche (en vertu de la législation du Commonwealth), ni sur la liste noire en vertu de la législation de l'État. Les lacunes du cadre législatif australien sont bien documentées (par exemple, [ 263 , 267 ]) et diverses recommandations ont été formulées pour résoudre les problèmes précédemment identifiés dans l'industrie (par exemple, [ 268 ]). Des modifications appréciables de la législation et de la réglementation, ainsi qu'une réforme au sein de l'industrie sont nécessaires en Australie.

Considérant les aspects positifs bien connus de l'aquaculture ornementale dans une large perspective tels que la vulgarisation des organismes et des écosystèmes aquatiques, la conservation et l'élevage de taxons menacés, l'éducation du public, y compris des enfants, les avantages économiques et diverses découvertes scientifiques, y compris les descriptions de nouvelles espèces, nous appelons les décideurs à trouver d'autres solutions pour améliorer la situation et atténuer les risques associés qu'une interdiction totale qui peut paradoxalement avoir une issue négative.

## 10 Résumé

Nous avons documenté la chronologie du nombre d'espèces de poissons d'ornement d'eau douce nouvellement importées au fil du temps après la fin de la Première Guerre mondiale. L'influence importante des progrès dans le transport aérien de fret est évidente. La prospérité économique croissante dans la majorité des pays européens et tropicaux représente probablement un facteur secondaire majeur.

Les groupes de poissons les plus courants contribuant au nombre total de poissons d'ornement dans le commerce sont les killis (Cyprinodontiformes), les poissons-chats blindés (familles Loricariidae et Callichthyidae) et les cichlidés lacustres endémiques d'Afrique de l'Est (Cichlidae des lacs Malawi et Tanganyika). Ces groupes contribuent à environ 68 % du stock d'espèces de poissons d'ornement d'eau douce, soit au total quelque 4 400 espèces et de nouvelles espèces potentielles. L'impact de l'ère de la mondialisation affectant le volume et la vitesse du transport international peut être qualifié de révolution du commerce mondial et est pertinent pour l'aquaculture ornementale et son industrie connexe.

Nos résultats soutiennent cette hypothèse en mettant en évidence la chronologie des taxons de poissons d'eau douce et d'eau saumâtre importés. Les pratiques et technologies modernes ont réduit les risques de mortalité des poissons pendant le transport, permettant ainsi de transporter rapidement des espèces supplémentaires autrefois perçues comme « problématiques » du collecteur/producteur au client final.

Ces informations peuvent être importantes pour les décideurs, les négociants, les producteurs, les défenseurs de l'environnement et les autres parties prenantes. Il est recommandé d'explorer plus avant les possibilités de favoriser l'innovation et la diversification au sein de l'industrie, ainsi que d'assurer une surveillance structurée continue du marché et du commerce des animaux de compagnie.

Une attention particulière devrait être accordée aux marchés intérieurs qui sont souvent négligés ou ignorés à cet égard et à l'élaboration de stratégies visant à promouvoir des pratiques responsables en matière d'aquariophilie ornementale.

### **Contributions des auteurs**

**Jindřich Novák** : conceptualisation, investigation, méthodologie, rédaction – ébauche originale, conservation des données, ressources, acquisition de financement, analyse formelle, supervision. **Dieter Hohl** : rédaction – révision et édition, ressources. **Martin Stuchlík** : méthodologie, analyse formelle, investigation, logiciel. **Jaroslav Hofmann** : rédaction – révision et édition, ressources. **Michael F. Tlustý** : rédaction – révision et édition, validation, ressources. **André Lincoln Barroso Magalhães** : ressources, rédaction – révision et édition. **Alberto Maceda-Veiga** : rédaction – révision et édition, ressources. **Surya Genta Akmal** : ressources, rédaction – révision et édition. **Gen Hua Yue** : ressources, rédaction – révision et édition. **Pradeep Kumkar** : rédaction – révision et édition, ressources. **Sean M. Marr** : rédaction – révision et édition, ressources. **Joseph R. Sara** : rédaction – révision et édition, ressources. **Nir Stern** : rédaction – révision et édition, administration de projet. **Andrew L. Rhyne** : rédaction – révision et édition, ressources. **James M. Furse** : rédaction – révision et édition, ressources, méthodologie. **Lukáš Kalous** : rédaction – révision et édition, validation. **Jiří Patoka** : conceptualisation, enquête, rédaction – ébauche originale, rédaction – révision et édition, visualisation, méthodologie, administration de projet, supervision, analyse formelle, conservation des données, logiciel, acquisition de financement.

### **Remerciements**

JP et LK ont été soutenus par l'Agence technologique de la République tchèque dans le cadre du projet « DivLand » (SS02030018). AM-V. a été soutenu par la Fundació Barcelona Zoo. Cet article fait partie du portefeuille d'activités du Centre indonésien de recherche sur les bioinvasions. Toute opinion, constatation, conclusion ou recommandation exprimée dans ce document est celle de l'auteur(e) et le DSI-NRF de l'Université de Limpopo (UL) n'accepte aucune responsabilité à cet égard. Le soutien à cette étude a été fourni au JMF par le Coastal and Marine Research Centre et le Cities Research Institute de l'Université Griffith. Nous remercions deux évaluateurs anonymes pour leurs critiques constructives. Publication en libre accès facilitée par Ceska Zemedelska Univerzita v Praze, dans le cadre de l'accord Wiley - CzechELib.