



Perspectives in ecology and conservation

Avec le soutien de l'Instituto Tecnológico Vale

www.perspectecolconserv.com



Lettres de recherche

Les invasions biologiques sont aussi coûteuses que les aléas naturels

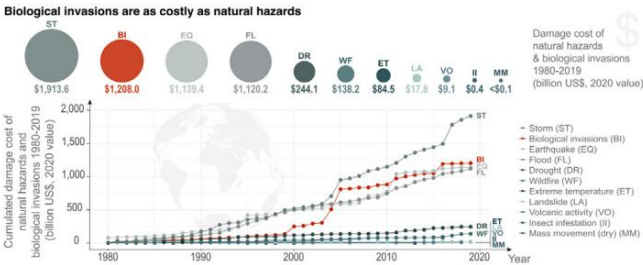
Anna J. Turbelina, , Ross N. Cuthbert b, Franz Essl c, Phillip J. Haubrock d,e,f , Anthony Ricciardi g, Franck Courchamp a

a Université Paris-Saclay, CNRS, AgroParisTech, Ecologie Systématique Evolution, 91190, Gif-sur-Yvette, France b Institute for Global Food Security, School of Biological Sciences, Queen's University Belfast, BT9 5DL Belfast, UK c BioInvasions, Global Change, Macroecology-Group, Department of Botany and Biodiversity Research, Université de Vienne, Rennweg 14, 1030 Vienne, Autriche d Senckenberg Research Institute and Natural History Museum Frankfurt, Department of River Ecology and Conservation, 63571 Gelnhausen, Germany e University of South Bohemia in České Budejovice, Faculté des pêches et de la protection des eaux, Centre de recherche de Bohême du Sud sur l'aquaculture et la biodiversité des hydrocénoses, Zátisí 728/II, 389 25 Vodňany, ~ Tchèque f CAMB, Center for Applied Mathematics and Bioinformatics, Gulf University for Science and Technology, Koweït g Redpath Museum and Bieler School of Environment, McGill University, Montréal, Québec H3A 0C4, Canada

points forts

- Les coûts des dommages causés par les invasions biologiques et les catastrophes naturelles sont d'une ampleur similaire. • Les coûts mondiaux de l'invasion biologique ont augmenté de 702 % entre 1980-1999 et 2000-2019.
- Les coûts d'invasion ont augmenté plus rapidement que les dommages causés par les catastrophes naturelles au fil du temps (1980-2019).

Résumé graphique



informations sur l'article

Historique des articles :
Reçu le 2 août 2022
Accepté le 17 mars 2023
Disponible en ligne xxx

Mots clés:

Espèces exotiques envahissantes
Catastrophes naturelles
Impact monétaire
Action de précaution
Politique

abstract

Les aléas naturels - tels que les tempêtes, les inondations et les incendies de forêt - peuvent être des phénomènes désastreux, tout comme les invasions biologiques, dont les impacts sont souvent irrévocables et insidieux. Pourtant, la sensibilisation aux invasions biologiques reste faible par rapport aux risques naturels, et les investissements pour gérer les invasions restent largement sous-financés et retardés. Ici, nous avons quantifié les coûts de l'invasion biologique par rapport aux risques naturels, afin de sensibiliser et d'influencer politiquement. En analysant les données sur les coûts des dommages causés par les invasions biologiques et les risques naturels sur la période 1980-2019, les pertes économiques dues aux invasions biologiques étaient d'une ampleur similaire à celle des risques naturels (par exemple, 1 208,0 milliards de dollars contre 1 913,6 milliards de dollars pour les tempêtes et 1 139,4 milliards de dollars pour les tremblements de terre). De manière alarmante, les coûts d'invasion ont augmenté plus rapidement que les risques naturels au fil du temps. Des invasions biologiques similaires ont un impact sur les aléas naturels et des taux de croissance des coûts plus rapides exigent une

reconnaissance, une coordination et une action proportionnées contre les invasions dans les politiques. © 2023
Publié par Elsevier BV au nom de Associac, ao~ Brasileira de Ciencia Ecológica Conservac, ao. Ceci est un article en libre accès sous licence CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Introduction

Les invasions biologiques sont une composante croissante du changement environnemental global (par exemple Pysek et al., 2020). Un sous-ensemble d'espèces exotiques - celles qui sont envahissantes - ont émergé comme un moteur majeur de la perte de biodiversité (par exemple, Bellard et al., 2016) et gen

Auteur correspondant.
Adresses e-mail : anna.turbelin@universite-paris-saclay.fr (AJ Turbelin),
franck.courchamp@universite-paris-saclay.fr (F. Courchamp).

<https://doi.org/10.1016/j.pecon.2023.03.002>
2530-0644/© 2023 Publié par Elsevier BV au nom de Associac, ao~ Brasileira de Ciencia Ecológica Conservac, ao. Ceci est un article en libre accès sous licence CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)



Fig. 1. Photos des impacts des aléas naturels et des espèces exotiques envahissantes. A) Incendie de forêt, Afrique du Sud, 2014 B) Inondation, Bingley, Royaume-Uni, 2015 C) Tremblement de terre, 2021 et D) Jacinthe d'eau envahissante obstruant les cours d'eau (*Eichhornia crassipes*) Jatiluhur, Purwakarta Regency, West Java, Indonésie, 2021. Photos par A) Anna Turbelin, B) Chris Gallagher sur Unsplash, C) Dave Goudreau sur Unsplash et D) Eka P. Amdela sur Unsplash.

coûts économiques massifs et croissants (Diagne et al., 2021).

Les espèces exotiques envahissantes (ci-après « espèces envahissantes ») sont définies comme des espèces présentes dans une région à la suite d'actions humaines ayant des effets néfastes sur les sociétés et l'environnement, telles que la réduction des rendements des cultures, la détérioration d'infrastructures critiques et la perturbation de la fourniture de services écosystémiques (Pysek et al., 2020) (voir Fig. 1). Les invasions biologiques exacerbent également les risques pour la santé humaine et causent des centaines, voire des milliers de décès humains chaque année, par l'émergence et la propagation de maladies, des morsures et piqûres mortelles ou des allergies compliquées (par exemple, Mazza et al., 2014 ; Vilà et al., 2021) . Si les micro-organismes pathogènes émergents devaient être considérés comme des espèces envahissantes (Nunez et al., 2020 ; Hulme et al., 2020 ; Hulme, 2020), alors le bilan annuel de mortalité humaine des invasions biologiques serait bien plus important (VIH seul, transmis par les singes en Afrique, a été responsable de 680 000 décès en 2020 dans le monde, <https://www.who.int/data/gho/data/themes/hiv-aids>).

Étonnamment, compte tenu de leurs énormes impacts environnementaux, sanitaires et socioéconomiques, la prise de conscience de la gravité des invasions biologiques reste faible (Courchamp et al., 2017). Les investissements dans la gestion des invasions ont été largement sous-financés et retardés, entraînant des impacts de plusieurs milliards de dollars qui auraient pu être évités (Cuthbert et al., 2022 ; Ahmed et al., 2022). La gestion des invasions biologiques s'est avérée rarement proactive et souvent retardée, la plupart des pays se concentrant sur des mesures post-invasion coûteuses qui réussissent rarement. Le sous-financement des invasions biologiques est également mis en évidence par l'absence totale d'investissements signalés dans la gestion dans de nombreux pays du monde (Cuthbert et al., 2022). Par conséquent, même si les dommages causés par les invasions biologiques se sont avérés élevés, les préoccupations sociétales ont été insuffisantes pour justifier un investissement de gestion adéquat par les décideurs.

Ce manque de sensibilisation et d'inquiétude est d'autant plus remarquable lorsque les risques naturels tels que les tremblements de terre, les inondations et les incendies de forêt ont reçu une attention et des investissements sociétaux substantiels pour l'atténuation ou l'adaptation. En effet, les invasions biologiques et natuégard, les invasions biologiques peuvent généralement être considérées comme une lente

Les risques réels sont des phénomènes comparables, avec des similitudes notables telles que leur dynamique d'occurrence et d'impact, et la difficulté de prédiction et de contrôle (Ricciardi et al., 2011). Bien que les pays investissent dans des plans de préparation et d'intervention d'urgence pour les risques naturels extrêmes (et généralement rares), des précautions similaires pour les espèces envahissantes ne sont pas appliquées de manière exhaustive par la plupart des pays, peut-être parce que les conséquences socio-économiques des risques naturels sont mieux comprises par le public que celles des invasions. Par conséquent, une comptabilité plus systématique est nécessaire pour hiérarchiser avec précision les invasions biologiques afin de protéger les biens humains et les vies humaines. En l'absence d'actions, même après la publication de coûts économiques substantiels pour les sociétés [atteignant désormais 2000 milliards de dollars (dollars américains) si l'on considère les dommages et les coûts de gestion entre 1970 et 2020] (Diagne et al., 2021), il y a une urgence croissante pour mettre en évidence les risques d'ignorer les invasions biologiques dans les politiques, les cadres juridiques et les processus décisionnels à l'échelle mondiale. La valeur monétaire est une mesure permettant une comparaison quantitative standardisée et compréhensible par un large public. Par conséquent, contextualiser la taille des coûts économiques des invasions biologiques par rapport à celle des risques naturels pourrait contribuer à accroître la prise de conscience et l'influence politique.

Les échelles spatiales et temporelles sur lesquelles les aléas naturels affectent l'environnement naturel couvrent de nombreux ordres de grandeur, allant du paysage aux grandes échelles (par exemple continentales), et des secondes aux millénaires. Certains aléas naturels, tels que les avalanches ou les inondations, peuvent créer des impacts importants en quelques secondes (y compris des décès humains directs), tandis que d'autres, comme la sécheresse, se manifestent plus progressivement. Les impacts des invasions sont également complexes et peuvent ne se manifester pleinement que des décennies après l'introduction, lorsque les envahisseurs sont déjà bien établis (Pysek et al., 2020 ; Spear et al., 2021). Le concept de dette d'invasion signifie que les envahisseurs qui ont actuellement un impact reflètent les héritages des activités socio-économiques d'il y a plusieurs décennies, alors que les impacts des étrangers récents arrivant des voies actuelles peuvent ne pas encore avoir été réalisés (Essl et al., 2011) . À cet

danger d'apparition, car ils émergent progressivement au fil du temps - mais leurs impacts sont cumulatifs et profonds, y compris l'extinction d'espèces, des coûts massifs et même des décès humains (Pysek et al., 2020; Diagne et al., 2021; Mazza et Tricarico, 2018). Ces différences de vitesse et de schéma de manifestation des dangers influencent la façon dont les humains les perçoivent et y réagissent. Malgré des impacts sociétaux et écologiques comparables (Ricciardi et al., 2011), les aléas aigus soudains ont tendance à attirer davantage l'attention que les aléas chroniques à émergence lente (Staube-Delgado, 2019). conscience du risque et entraver ration nale d'investir dans l'atténuation à long terme. De même, la conscience du risque peut être influencée par l'association des décès humains avec les aléas naturels et par notre tendance à surestimer les causes rares de décès, tout en sous-estimant simultanément les causes courantes (Lichtenstein et al., 1978). Bien que les aléas naturels et les invasions biologiques puissent causer les décès humains (Mazza et Tricarico, 2018), les décès causés par des invasions (par exemple, des vecteurs pathogènes/parasites invasifs ou des réactions allergiques) sont souvent moins directs et rarement attribués uniquement aux envahisseurs.

Ici, nous quantifions et comparons les coûts des invasions biologiques et des risques naturels à trois échelles : (i) mondiale, (ii) régionale et (iii) nationale (c'est-à-dire les États-Unis comme étude de cas). A toutes ces échelles, nos objectifs étaient de : (i) comparer les coûts totaux des invasions biologiques aux aléas naturels d'intérêt sociétal ; et (ii) examiner les tendances temporelles des coûts des invasions biologiques et des risques naturels pour comparer leurs taux de changement.

Matériels et méthodes

Collecte et filtrage des données sur les coûts des espèces envahissantes

Nous avons comparé les coûts d'invasion biologique aux aléas naturels à l'échelle mondiale, à l'échelle régionale et à une échelle nationale représentative avec une grande disponibilité de données (c'est-à-dire aux États-Unis). Pour quantifier les pertes économiques générées par les impacts des invasions biologiques, nous avons utilisé les données de la version 4.1 de la base de données InvaCost - la compilation de données la plus récente, la plus complète, la plus normalisée et la plus robuste et la description des estimations des coûts économiques associés aux espèces envahissantes dans le monde (<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12668570> Diagne et al., 2020) - téléchargé à l'aide de la fonction data() du package invacost R version 1.1-4 (R Core Team 2020) (Leroy et al., 2020). Nous avons filtré la base de données pour n'inclure que les coûts réellement encourus (classés comme observés dans le champ « Mise en œuvre ») et étiquetés comme hautement fiables (champ « Fiabilité de la méthode »). Étant donné que les évaluations des coûts des aléas naturels ne tiennent généralement compte que des coûts directs, omettant ainsi les coûts indirects, d'interruption d'activité, immatériels et d'atténuation des risques (Kreibich et al., 2014), nous avons décidé de n'inclure que les coûts des dommages ("Type de coût fusionné"). domaine — les pertes économiques résultant des impacts directs ou indirects des espèces envahissantes (Diagne et al., 2020) — et excluent explicitement la gestion post-invasion ou les coûts mixtes pour éviter de gonfler les coûts attribués aux invasions biologiques. Nous avons également limité les données aux coûts des dommages, car les dépenses ou les investissements de gestion reflètent un processus décisionnel humain qui peut entraîner des irrégularités de coûts (en raison, par exemple, des différences de politiques gouvernementales), alors que les coûts des dommages sont une mesure plus standardisée de l'impact économique réel et réalisé. L'ensemble de données filtré est disponible dans les données supplémentaires sur les matériaux S1.

Des coûts de dommages observés hautement fiables pour les États-Unis provenant d'espèces envahissantes ont été obtenus en filtrant les données InvaCost 4.1 comme décrit ci-dessus et en conservant les entrées attribuées aux « États-Unis d'Amérique » dans le champ « Pays officiel ». Nous avons adapté le TDWG World Geographic Scheme for Recording Plant Distributions Standard (TDWG, 2001) pour reclasser le champ InvaCost « Région géographique » et obtenir la ventilation des coûts de dommages observés très fiables par

régions continentales. La liste des pays et des régions correspondantes est disponible dans les données matérielles supplémentaires S2.

Comme les coûts peuvent être enregistrés sous la forme d'une estimation sur une ou plusieurs années, pour obtenir des coûts annualisés, nous avons élargi la base de données à l'aide de la fonction expandYearlyCosts() du package R invacost version 1.1-4 (R Core Team 2020) (Leroy et al., 2020) (voir Turbelin, 2022).

Collecte et filtrage des données sur les coûts des aléas naturels

Les données sur les coûts mondiaux et régionaux des risques naturels sont disponibles auprès de la base de données internationale sur les catastrophes EM-DAT, CRED/ UCLouvain, Bruxelles, Belgique (www.emdat.be) — la base de données mondiale sur les catastrophes naturelles et technologiques, qui comprend des données géographiques, temporelles, humaines et économiques sur la survenue et les effets de plus de 21 000 catastrophes dans le monde au niveau des pays, de 1900 à aujourd'hui. Seuls les aléas naturels qui remplissent au moins un des critères définis sont signalés. Ces critères incluent : 10 personnes ou plus décédées ; 100 personnes ou plus touchées (par exemple, blessés, sans-abri); le pays où se produit l'événement déclare l'état d'urgence ou un appel à l'assistance internationale. Les données ont été téléchargées le 06 avril 2022 [query id x0lcUA], en utilisant les filtres suivants : Classification des catastrophes : naturelles ; Lieu : Asie, Afrique, Amériques, Europe, Océanie ; et de 1980 à 2019. Comme pour les données InvaCost, nous avons adapté le TDWG World Geographic Scheme for Recording Plant Distributions Standard (TDWG, 2001) pour reclasser le champ EM DAT « Continent » (Supplementary Material Data S3).

Les données sur les coûts des risques naturels pour les États-Unis ont été obtenues via Billion Dollar Weather and Climate Disasters des National Centers for Environmental Information (NCEI) de la NOAA (2022). Ces données ont été téléchargées le 06 avril 2022 (Données matériau supplémentaires S4).

Nous avons ajouté les États-Unis comme étude de cas nationale en raison de l'exhaustivité relative de ses données pour voir si nous obtenions des résultats similaires en utilisant une base de données nationale avec différents critères d'inclusion des événements. Les événements météorologiques et climatiques signalés dans l'ensemble de données NOAA NCEI sont ceux qui ont un coût direct (y compris les dommages physiques aux bâtiments résidentiels, commerciaux et gouvernementaux/municipaux, les actifs matériels dans un bâtiment, les pertes d'éléments temporels, les véhicules, les bateaux, les plates-formes énergétiques offshore, les infrastructures publiques et actifs agricoles) égaux ou supérieurs à 1 milliard de dollars américains - qui représentent plus de 80% des dommages causés par tous les événements météorologiques et climatiques enregistrés.

Normalisation des valeurs de coût en USD 2020

Pour comparer les coûts d'une année à l'autre et entre les bases de données, nous avons standardisé toutes les valeurs de coût en dollars américains (USD) 2020 en utilisant les données de l'indice des prix à la consommation (IPC) (2010 = 100), qui sont disponibles dans les données ouvertes de la Banque mondiale (<https://data.worldbank.org/indicator/FP.CPI.TOTL>). Ces données ont été téléchargées à l'aide du package R 'wbstats' (version 1.0.4) (Piburn, 2020) le 14 décembre 2022. Les valeurs de coût InvaCost sont exprimées en USD 2017 - la méthodologie utilisée pour convertir les coûts bruts en devises locales pour un année en USD 2017 est décrit dans Diagne et al. (2020). Nous avons utilisé la fonction adjustInflation() (Turbelin, 2022) pour ajuster les valeurs d'estimation des coûts en USD de 2017 aux valeurs en USD de 2020. La fonction extrait la valeur de l'IPC 2020 (118,6905016) du fichier Open Data de la Banque mondiale pour convertir les coûts en USD de 2017 en coûts en USD de 2020 à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Coût}(2020\text{USD}) = (1 + ((\text{IPC}2020 - \text{IPC}2017)/\text{IPC}2017)) \times \text{Coût} (2017\text{USD})$$

Les coûts des risques naturels de la base de données EM-DAT sont exprimés en milliers d'USD (i) dans la valeur de l'année d'occurrence et (ii) ajustés pour l'inflation à la valeur actuelle en USD — au moment de notre analyse, c'était USD 2020. Nous converti les coûts de milliers

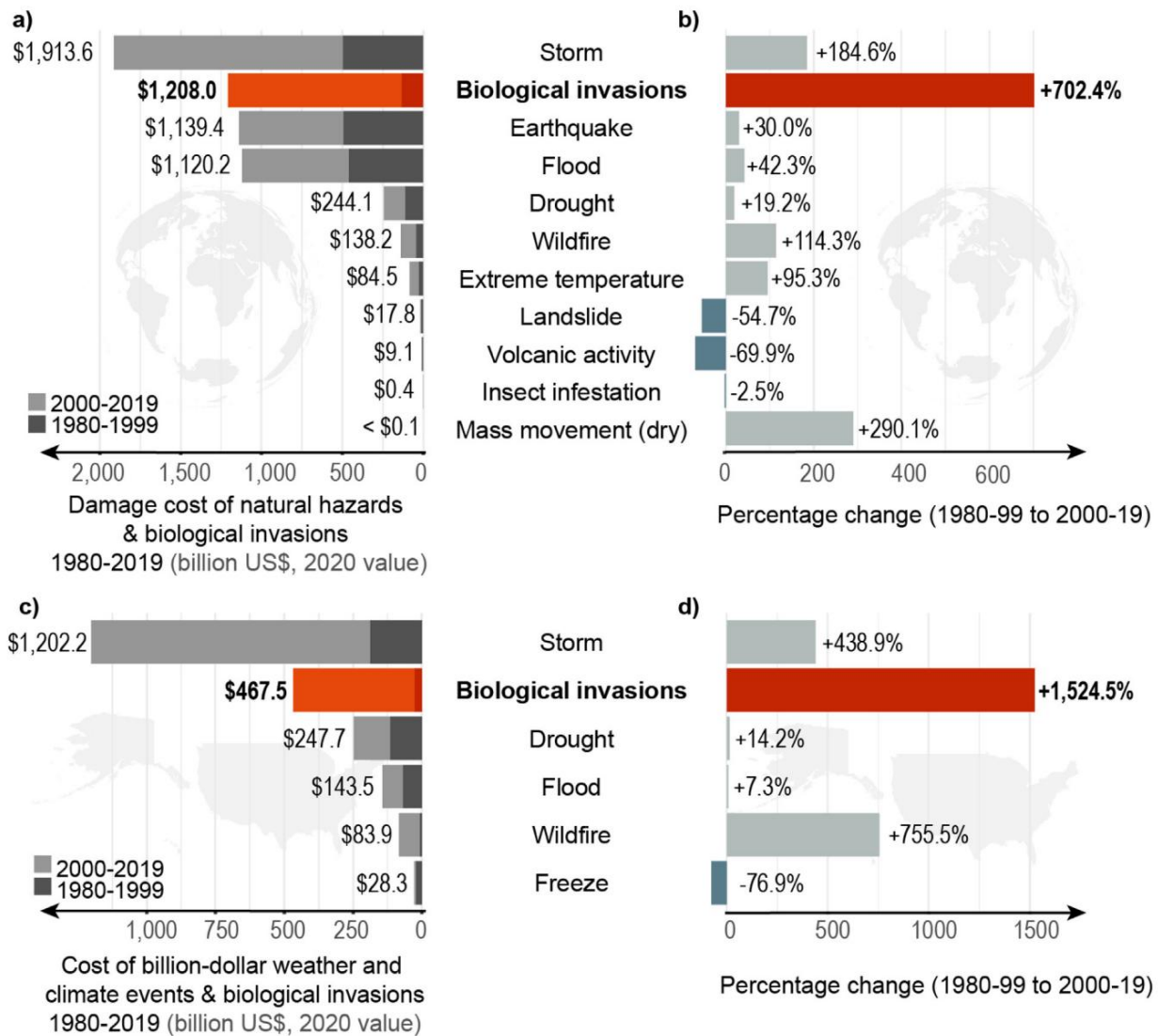


Fig. 2. Coût brut des dommages et variation en pourcentage des aléas naturels et des invasions biologiques pour la période 1980-2019 pour a), b) le monde et c), d) les États-Unis d'Amérique (USA). Les coûts des dommages causés par les catastrophes naturelles dans le monde, aux États-Unis et aux invasions biologiques proviennent de la base de données internationale sur les catastrophes EM-DAT (www.emdat.be), les National Centers for Environmental Information National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA NCEI; www.ncdc.noaa.gov), et InvaCost 4.1 (www.invacost.fr), respectivement. Les coûts des maladies émergentes ne sont pas inclus dans les invasions biologiques. Les coûts dans EM-DAT sont les valeurs de tous les dommages et pertes économiques directement ou indirectement liés à la catastrophe; seuls les aléas naturels qui remplissent au moins un des critères définis sont signalés (par exemple, 10 personnes ou plus décédées; 100 personnes ou plus touchées).

Les événements météorologiques et climatiques signalés dans l'ensemble de données NOAA NCEI sont ceux qui ont un coût direct (y compris les dommages physiques aux bâtiments résidentiels, commerciaux et gouvernementaux/municipaux, les actifs matériels dans un bâtiment, les pertes d'éléments temporels, les véhicules, les bateaux, les plates-formes énergétiques offshore, les infrastructures publiques et actifs agricoles) égal ou supérieur à 1 milliard USD. Seuls les coûts de dommages observés (champ « Mise en œuvre ») (champ « Type de coût fusionné ») classés comme hautement fiables dans InvaCost (champ « Fiabilité de la méthode ») sont inclus dans cette figure. Les coûts des dommages aux États-Unis ont été obtenus en conservant les entrées attribuées aux « États-Unis d'Amérique » dans le champ « Pays officiel » d'InvaCost 4.1.

d'USD à exprimer en USD en multipliant les valeurs par 1000. Comme la valeur actuelle ajustée pour l'inflation changera avec le temps, nous avons converti les valeurs non ajustées en utilisant la fonction `adjustInflation()` (Turbelin, 2022), qui utilise l'équation suivante :

$$\text{Coût}(2020\text{USD}) = (1 + ((\text{CPI}_{2020} - \text{CPI}_{\text{yr}})/\text{CPI}_{\text{yr}})) \times \text{Coût}$$

avec CPI_{yr} le CPI de l'année de l'événement. Nous avons suivi la même méthodologie pour convertir les coûts non corrigés de l'inflation des catastrophes météorologiques et climatiques d'un milliard de dollars américains fournis par le NCEI de la NOAA.

Analyses

Toutes les analyses ont été réalisées en R et les figures ont été formatées dans Adobe Illustrator. Le script R et les données sont disponibles dans Supplementary Materials et/ou sur GitHub (Turbelin, 2022). L'objectif de notre étude étant de comparer l'ampleur des pertes économiques mondiales

des invasions biologiques à celles des catastrophes naturelles, nous avons calculé les coûts globaux en additionnant toutes les estimations de coûts fournies dans l'ensemble de données élargi - voir Données matérielles supplémentaires S1. Les coûts totaux des risques naturels ont été obtenus en additionnant les coûts en USD 2020 de tous les événements enregistrés séparément pour les ensembles de données mondiaux et américains.

Le taux de variation (ROC) entre les périodes 1980-1999 et 2000-2019 a été calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{ROC} = ((\text{Coût}_{2000-2019} / \text{Coût}_{1980-1999}) - 1) \times 100$$

Résultats

Alors que les impacts des espèces envahissantes individuelles augmentent souvent progressivement, les impacts collectifs des invasions biologiques au fil du temps sont massifs (IPBES, 2019). Les coûts observés des dommages causés par les invasions biologiques entre 1980 et 2019 se sont élevés à 1 208,0 milliards de dollars dans le monde

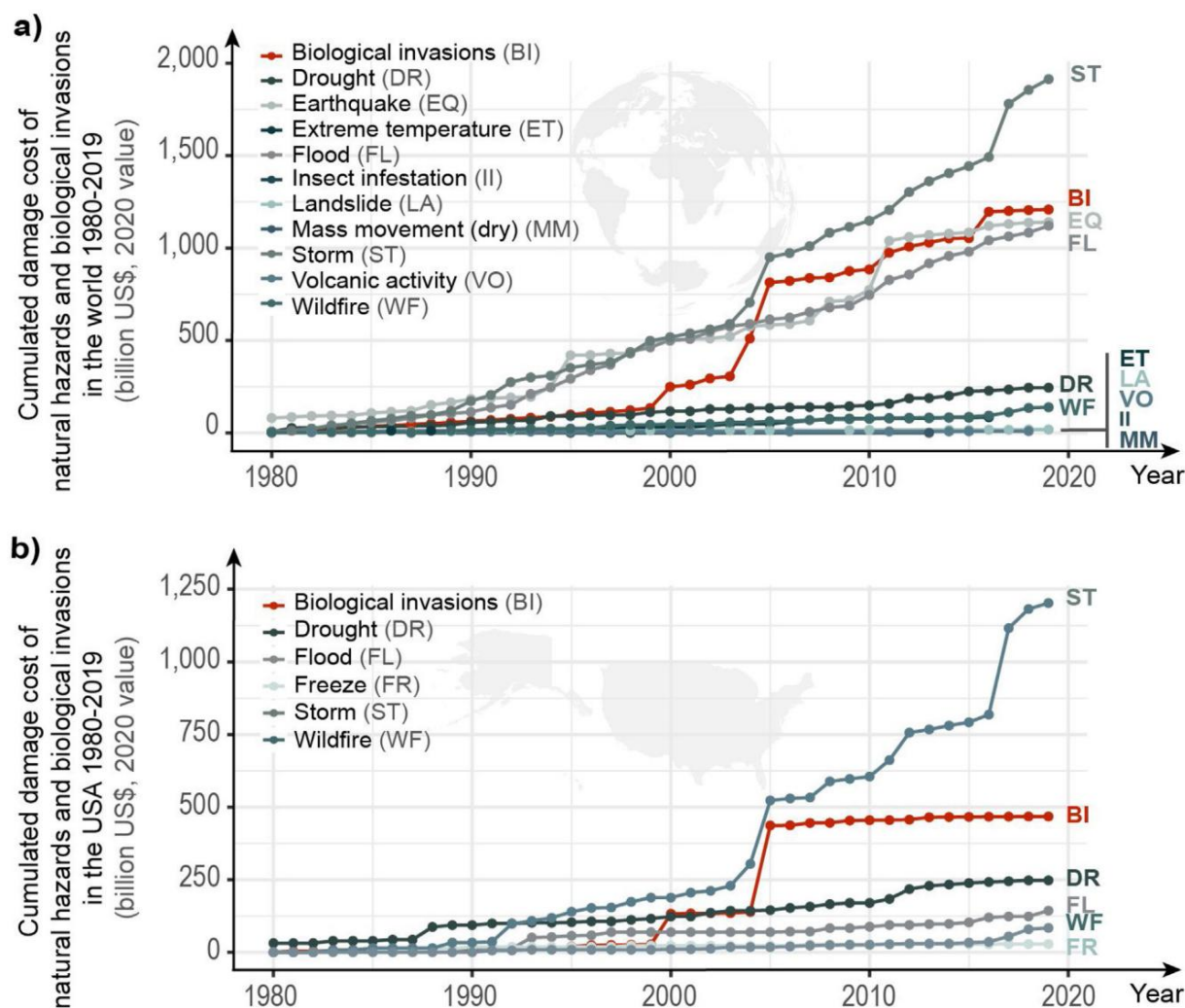


Fig. 3. Coût annuel cumulé des dommages causés par les catastrophes naturelles et les invasions biologiques pour la période 1980-2019 a) à l'échelle mondiale et b) aux États-Unis d'Amérique (USA). Les informations sur les données et les sources sont les mêmes que pour la Fig. 2.

(Fig. 2a), avec une augmentation de 702 % des pertes déclarées de 1980 à 1999 et 2000-2019 (Figs. 2b et 3). Par rapport aux pertes économiques et aux coûts des dommages causés par les catastrophes naturelles signalés dans EM-DAT (2022) au cours de la même période, les invasions biologiques étaient moins coûteuses que les tempêtes (1 913,6 milliards de dollars), mais ont dépassé les tremblements de terre (1 139,4 milliards de dollars), les inondations (1 120,2 milliards de dollars) et tous les autres dangers. De même, lorsque l'on compare les pertes économiques signalées dues aux invasions biologiques aux États-Unis d'Amérique (États-Unis) au coût des catastrophes signalées dans les National Centers for Environmental Information National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA NCEI, 2022) entre 1980 et 2019, les coûts des dommages causés par les invasions biologiques (467,5 milliards de dollars) étaient inférieurs aux coûts des tempêtes (1 202,2 milliards de dollars), mais dépassaient ceux des sécheresses (247,7 milliards de dollars), des inondations (143,5 milliards de dollars), des incendies de forêt (83,9 milliards de dollars) et des gelées (28,3 milliards de dollars) (Fig. 2c). Les coûts enregistrés dans le NOAA NCEI représentent plus de 80 % des dommages causés par tous les événements météorologiques et climatiques enregistrés. Néanmoins, si l'augmentation des coûts des événements catastrophiques fournissait jusqu'à 100% - les coûts d'invasion biologique restant les mêmes - alors les invasions biologiques se classeraient toujours au deuxième rang. Le pourcentage d'augmentation des coûts des dommages causés par les invasions biologiques aux États-Unis était néanmoins plus de deux fois supérieur à celui de tous les aléas naturels (Fig. 2d et 3). Le classement des invasions biologiques par rapport aux aléas naturels était cependant variable selon les régions continentales, allant de la plus coûteuse en Océanie et Pacifique, à la quatrième plus coûteuse en Europe et Asie tempérée (Figs. 4, S1 et S2).

Discussion

Nos résultats suggèrent que les coûts des dommages causés par les invasions biologiques et les risques naturels sont d'une ampleur similaire, chacun reflétant un fardeau énorme et croissant pour les sociétés. Il existe une incertitude inhérente associée à la position des coûts économiques des invasions biologiques par rapport à celle des risques naturels, à l'échelle mondiale, régionale ou au sein d'une nation donnée (exemple aux États-Unis). Les évaluations des coûts des risques naturels ne tiennent généralement compte que des coûts directs et ceux-ci restent sous-enregistrés (McGlade et al., 2019).

De plus, les données mondiales ou nationales sur les coûts des aléas naturels ne sont pas toujours disponibles pour tous les impacts, mais plutôt pour des aléas sélectionnés qui atteignent un certain seuil d'impact (voir la légende de la Fig. 2). De même, documenter le coût des invasions biologiques est complexe et fragmentaire. Par exemple, seulement 5 % environ des espèces envahissantes connues ont des coûts signalés dans la littérature et documentés dans InvaCost (par exemple, 713 des 13 867 envahisseurs signalés dans le monde) (Cuthbert et al., 2021). Même pour ces espèces, leurs coûts sont généralement très conservateurs en raison de lacunes généralisées dans les connaissances géographiques et sectorielles (Angulo et al., 2021). De plus, alors que l'on peut supposer que les coûts des risques naturels incluent certaines dépenses d'atténuation, notre comparaison ne porte que sur les coûts des dommages des invasions biologiques, excluant ainsi explicitement la gestion post-invasion ou les coûts mixtes (339 milliards de dollars supplémentaires entre 1980 et 2019). Par ailleurs, comme pour les aléas naturels, les coûts manquent le plus souvent de valorisation monétaire des

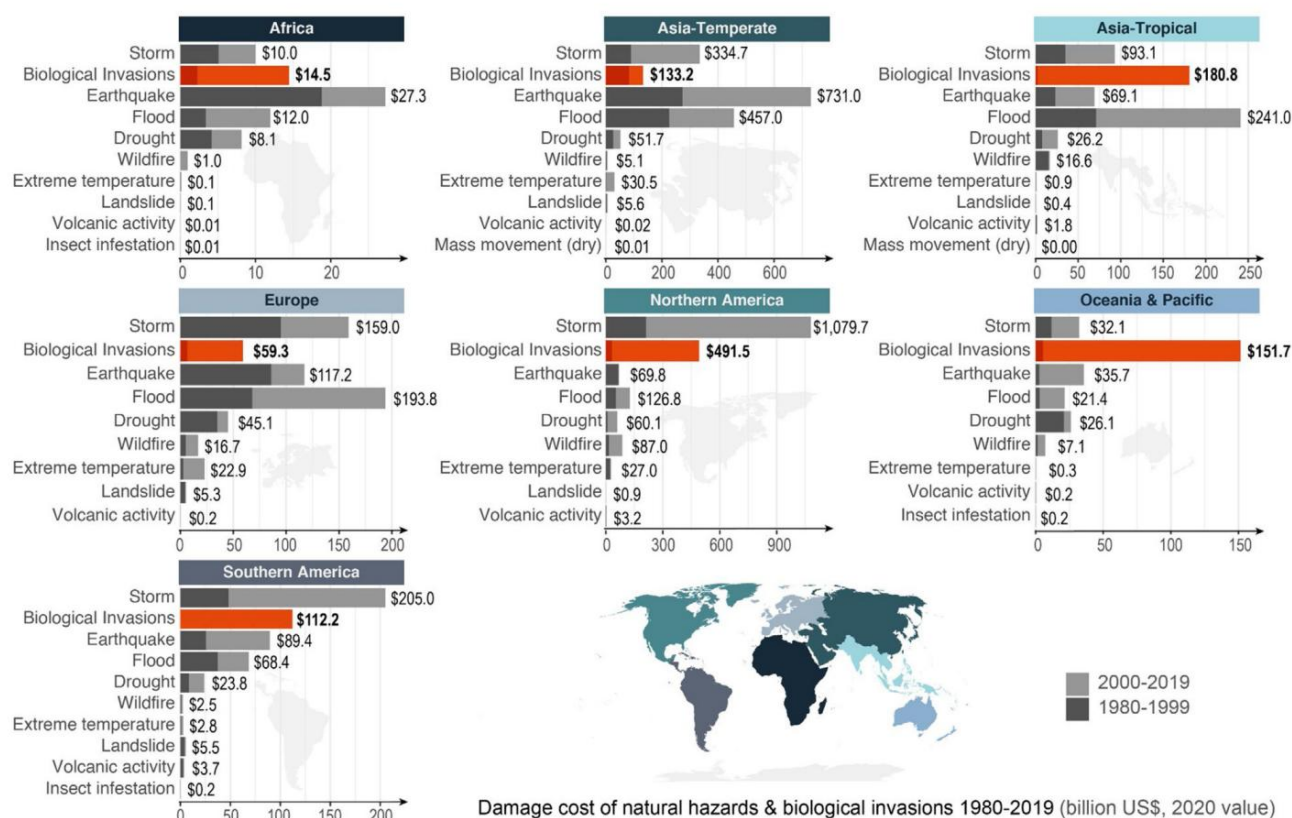


Fig. 4. Coût des dommages des aléas naturels et des invasions biologiques pour la période 1980-2019 par zone géographique. Les coûts des dommages causés par les catastrophes naturelles et les invasions biologiques proviennent de la base de données internationale sur les catastrophes EM-DAT (www.emdat.be) et InvaCost 4.1 (www.invacost.fr), respectivement. Toutes les autres informations sur les données et les sources sont les mêmes que pour la Fig. 2.

perles de valeur non marchande, impacts indirects ou impacts sur les services écosystémiques (Diagne et al., 2020). Par conséquent, les coûts économiques des invasions biologiques sont également gravement sous-estimés. Malgré une sous-estimation probable des coûts, les deux bases de données mondiales - InvaCost et EM DAT - peuvent être considérées comme une référence pour les coûts mondiaux et régionaux des invasions biologiques et des risques naturels, respectivement, en raison de leur approche systématique robuste dans la collecte d'informations sur les coûts et de leur nature « vivante », selon lequel les données sont examinées en permanence. Néanmoins, les coûts doivent être considérés comme des estimations minimales, et vus en termes d'ordre de grandeur plutôt que comme des valeurs précises.

Les invasions biologiques sont connues pour être un facteur majeur de perte de biodiversité et de perturbation des services écosystémiques (IPBES, 2019). Il est important de noter que les invasions biologiques peuvent interagir avec de multiples aléas naturels pour exacerber les impacts. En effet, les invasions biologiques peuvent aggraver les risques d'inondation, d'incendie et de sécheresse en modifiant la structure et la fonction de l'écosystème [par exemple en endommageant les berges des rivières (animaux fouisseurs), en intensifiant les régimes de feu (plantes ligneuses) et en étouffant les cours d'eau (plantes aquatiques, voir Fig. 1d) ; (Turbelin, 2020)]. Réciproquement, les aléas associés au changement climatique (par exemple, les incendies de forêt, les sécheresses, les inondations) peuvent favoriser les invasions biologiques en perturbant ou en transformant les paysages, modifiant ainsi les conditions environnementales et créant des niches vides qui sont facilement envahies (Diez et al., 2012). Bien que les aléas naturels et les invasions biologiques soient difficiles à prévoir et à contrôler, le déplacement des espèces par l'homme, contrairement à la survenance de nombreux aléas naturels, pourrait dans de nombreux cas être ralenti ou empêché. Alors que l'on peut s'attendre à ce que les dommages soient plus coûteux que les dépenses de gestion efficaces en raison de l'augmentation des impacts économiques, écologiques et sanitaires, les coûts de gestion des invasions biologiques sont restés inférieurs d'un à deux ordres de grandeur à leurs dommages (Cuthbert

et al., 2022). Pire encore, sur ces dépenses de gestion, une très petite part a été investie de manière proactive (3 %) dans des mesures telles que la prévention qui atténuent les futurs impacts des invasions (Cuthbert et al., 2022). Alors que les aléas naturels extrêmes (tremblements de terre, incendies de forêt, ouragans, etc.) ont une distribution fréquence-amplitude très asymétrique (comme les invasions biologiques ; Ricciardi et al., 2011), on s'attend à ce que les sociétés riches investissent dans la prévention de ces aléas. Événements rares, car leur survenance entraîne des coûts inacceptables. La même approche de précaution (investissement dans la réduction de la vulnérabilité, réponse rapide et évaluation des risques) devrait être appliquée aux invasions biologiques.

Les impacts des invasions sont souvent irrévocables et insidieux, ce qui fait de cet aspect du changement global une grave préoccupation pour l'humanité qui devrait être davantage ciblée dans les programmes politiques. Peut-être plus encore que pour les risques naturels, les invasions biologiques nécessitent une collaboration transfrontalière, y compris la nécessité de cadres juridiques internationaux plus solides pour limiter l'introduction et la propagation de nouvelles espèces envahissantes. Alors que la variabilité régionale dans la déclaration des coûts et l'incidence des invasions biologiques est bien connue (Diagne et al., 2021), les coûts des invasions biologiques sont restés comparables aux risques naturels dans toutes les régions du monde en termes d'ordre de grandeur. De plus, dans toutes les régions, à la seule exception de l'Asie tempérée, les coûts des invasions biologiques ont augmenté à un rythme beaucoup plus rapide que ceux des risques naturels. Cela souligne encore le besoin urgent d'actions coordonnées au niveau international pour résoudre le problème de l'invasion biologique. Les décideurs doivent donner la priorité aux investissements proactifs tels que la prévention et les éradications rapides pour éviter des mesures de contrôle et des dommages retardés et à long terme (Cuthbert et al., 2022). Au siècle dernier, les invasions biologiques et leurs impacts ont fortement augmenté dans le monde (Fig. 3), et ne montrent toujours aucun signe de saturation (Seebens et al., 2017), alors que le climat et la planète

AJ Turbelin, RNCuthbert, F. Essl et al.

Perspectives en écologie et conservation xxx (xxxx) xxx-xxx

les changements d'affectation des sols font craindre une nouvelle accélération (Bellard et al., 2013, 2018 ; Chytry et al., 2012). Les impacts monétaires des invasions biologiques ayant déjà augmenté à un rythme plus élevé que d'autres aléas majeurs au cours des 40 dernières années, il est plausible que - sans mesures adéquates mises en œuvre - les espèces envahissantes resteront comparables aux aléas naturels les plus percutants dans les décennies à venir. Nos résultats soutiennent l'idée que la prévention des invasions biologiques mérite des investissements de précaution similaires à ceux appliqués aux risques naturels extrêmes (Ricciardi et al., 2011).

Financement

Ce travail a été soutenu par la Chaire AXA Research Fund de Biologie des Invasions de l'Université Paris Saclay (AJT), l'appel BiodiverSA Belmont-Forum 2018 sur les scénarios de biodiversité (FC, FE), l'Agence Nationale de la Recherche [ANR-14-CE02-0021] (FC), BNP Paribas Foundation Climate Initiative (FC), Leverhulme Trust [ECF-2021-001] (RNC) et le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (AR).

Déclaration d'accessibilité des données

Les données utilisées pour cette étude sont disponibles gratuitement sur github et en ligne.

Intérêts concurrents

Les auteurs déclarent n'avoir aucun intérêt concurrent.

Déclaration de contribution de la paternité du CRediT

Anna J. Turbelin : Conceptualisation, Méthodologie, Enquête, Visualisation, Rédaction – ébauche originale, Rédaction – révision et édition. Ross N. Cuthbert : Conceptualisation, Méthodologie, Enquête, Visualisation, Rédaction – ébauche originale, Rédaction – révision et édition. Franz Essl : Conceptualisation, écriture - révision et édition. Phillip J. Haubrock : Conceptualisation, écriture - révision et édition. Anthony Ricciardi : Conceptualisation, Rédaction – révision & édition. Franck Courchamp : Conceptualisation, Méthodologie, Visualisation, Rédaction – brouillon original, Rédaction – révision & édition.

Déclaration d'intérêts concurrents

Les auteurs ne rapportent aucune déclaration d'intérêt.

Remerciements

Nous remercions Christophe Diagne pour ses précieux commentaires. Nous remercions également l'éditeur, Jean Paul Metzger, l'éditeur associé et les deux relecteurs anonymes pour leur aide précieuse. commentaires.

Les références

Ahmed, DA, Hudgins, EJ, Cuthbert, RN, Kourantidou, M., Diagne, C., Haubrock, PJ, Leung, B., Liu, C., Leroy, B., Petrovskii, S., Beidas, A. , 2022. *Gérer les invasions biologiques : le coût de l'inaction. Biol. Invasions*, 1–20.

Angulo, E., Diagne, C., Ballesteros-Mejia, L., Adamiy, T., Ahmed, DA, Akulov, E., Banerjee, AK, Capinha, C., Dia, CA, Dobigny, G., Duboscq -Carra, TB, 2021. Les langues non anglaises enrichissent les connaissances scientifiques : l'exemple des coûts économiques des invasions biologiques. *Sci. Environ.* 775, 14441, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144441>.

Bellard, C., Thuiller, W., Leroy, B., Genovesi, P., Bakkenes, M., Courchamp, F., 2013. Le changement climatique favorisera -t-il de futures invasions ? *Changement Global Biol.* 19 (12), 3740–3748.

Bellard, C., Cassey, P., Blackburn, TM, 2016. Les espèces exotiques en tant que moteur de extinctions. *Biol. Lett.* 12 (2), 20150623.

Bellard, C., Jeschke, JM, Leroy, B., Mace, GM, 2018. *Aperçus des études de modélisation sur la façon dont le changement climatique affecte la géographie des espèces exotiques envahissantes . Écol. Évol.* 8 (11), 5688–5709.

Chytry, M., Wild, J., Pysek, P., Jarosík, ˇ V., Dendoncker, N., Reginster, I., Pino, J., Maskell, LC, Vilà, M., Pergl, J., Kühn, I., 2012. *Projection des tendances des invasions végétales en Europe selon différents scénarios de changement futur d'affectation des terres . Écol. mondial . Biogéogr.* 21 (1), 75–87.

Courchamp, F., Fournier, A., Bellard, C., Bertelsmeier, C., Bonnaud, E., Jeschke, JM, Russell, JC, 2017. *Biologie de l'invasion : problèmes spécifiques et solutions possibles . Tendances Écol. Évol.* 32 (1), 13–22.

Cuthbert, RN, Pattison, Z., Taylor, NG, Verbrugge, L., Diagne, C., Ahmed, DA, Leroy, B., Angulo, E., Briski, E., Capinha, C., Catford, JA, 2021. *Coûts économiques mondiaux des espèces aquatiques exotiques envahissantes . Sci. Environ .* 775, 145238.

Cuthbert, RN, Diagne, C., Hudgins, EJ, Turbelin, A., Ahmed, DA, Albert, C., Bodey, TW, Briski, E., Essl, F., Haubrock, PJ, Gozlan, RE, 2022 *Les coûts des invasions biologiques révèlent une gestion proactive insuffisante dans le monde. Sci. Environ .* 819, 153404.

Diagne, C., Leroy, B., Gozlan, R., Vaissière, A.-C., Roiz, D., Nunninger, L., Assailly, C., Jaric, I., Courchamp, F., 2020. *INVACOST : une base de données publique des coûts économiques mondiaux des invasions biologiques . Nat. Sci. Données* 7 (1), 277.

Diagne, C., Leroy, B., Vaissière, AC, et al., 2021. Coûts économiques élevés et croissants de invasions biologiques dans le monde. *Nature* 592, 571–576, <http://dx.doi.org/10.1038/s41586-021-03405-6>.

Diez, JM, D'Antonio, CM, Dukes, JS, Grosholz, ED, Olden, JD, Sorte, CJ, Blumenthal, DM, Bradley, BA, Early, R., Ibáñez, ˇ I., Jones, SJ, 2012 *Les événements climatiques extrêmes faciliteront -ils les invasions biologiques ?* *Devant. Écol. Environ.* 10 (5), 249–257.

EM-DAT, www.emdat.be, 2022.

Essl, F., Dullinger, S., Rabitsch, W., Hulme, PE, Hülber, K., Jarosík, ˇ V., KleinbauerJM, Kühn, I., Nentwig, W., Vilà, M., 2011 *L'héritage socio-économique donne une dette d'invasion . Proc. Natl. Acad. Sci.* 108 (1), 203–207.

Hulme, P., 2020. Une biosécurité : un concept unifié pour intégrer la santé humaine, animale, végétale et environnementale. *Urgence Haut. Vie Sci.* 4, 539–549, <http://dx.doi.org/10.1042/ETLS20200067>.

Hulme, PE, Baker, R., Freckleton, R., Hails, RS, Hartley, M., Harwood, J., Marion, G., Smith, GC, Williamson, M., 2020. Le cadre épidémiologique des invasions biologiques (EFBI) : une fondation interdisciplinaire pour l'évaluation des menaces de biosécurité. *NeoBiota* 62, 161–192, <http://dx.doi.org/10.3897/neobiota.62.52463>.

IPBES, 2019. Dans : Brondizio, ES, Settle, J., Díaz, S., Ngo, HT (Eds.), *Rapport d'évaluation mondial sur la biodiversité et les services écosystémiques de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques. Secrétariat de l'IPBES, Bonn, Allemagne*, <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.3831673>, 1148 p.

Kreibich, H., Van Den Bergh, JC, Bouwer, LM, Bubeck, P., Ciavola, P., Green, C., Hallegatte, S., Logar, I., Meyer, V., Schwarze, R., Thieken, AH, 2014. *Coût des risques naturels . Nat. Clim. Modifier* 4 (5), 303–306.

Leroy, B., Kramer, A., Vaisire, A.-C., Diagne, C., 2020. *invacost : base de données invacost avec des méthodes d'analyse des coûts d'invasion . Package R version 0.3–4*.

Lichtenstein, S., Slovic, P., Fischhoff, B., Layman, M., Combs, B., 1978. *Fréquence jugée des événements mortels. J. Exp. Psychol. : Hum. Apprendre. Mém.* 4 (6), 551.

Mazza, G., Tricarico, E., Genovesi, P., Gherardi, F., 2014. Les envahisseurs biologiques sont des menaces pour la santé humaine : un aperçu. *Ethol. Écol. Évol.* 26 (2–3), 112–129, <http://dx.doi.org/10.1080/03949370.2013.863225>.

Mazza, G., Tricarico, E. (Eds.), 2018. *Espèces envahissantes et santé humaine*, vol. dix. CABI, <http://dx.doi.org/10.1079/9781786390981.0000>.

McGlade, J., Bankoff, G., Abrahams, J., Cooper-Knock, SJ, Cotecchia, F., Desanker, P., Erian, W., Gencer, E., Gibson, L., Girgin, S., Hirsch, F., 2019. *Rapport d'évaluation mondial sur la réduction des risques de catastrophe 2019*.

Centres nationaux d'information sur l'environnement de la NOAA (NCEI), <https://www.ncdc.noaa.gov/billions/>, 2022, <http://dx.doi.org/10.25921/stkw-7w73>.

SARS- MA, Pauchard, A., Ricciardi, A., 2020. La science d'invasion et le Nunez global, écart de CoV-2. *Tendances Écol. Évol.* 35 (8), 642–645, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2020.05.004>.

Piburn, J., 2020. *wbstats : Accès programmatique à l'API de la Banque mondiale. Chêne Ridge Laboratoire national, Oak Ridge, Tennessee*, <http://dx.doi.org/10.11578/dc.20171025.1827>.

Pysek, P., Hulme, PE, Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, TM, Carlton, JT, Dawson, W., Essl, F., Foxcroft, LC, Genovesi, P., Jeschke, JM, 2020. *Avertissement des scientifiques sur les espèces exotiques envahissantes . Biol. Rév.* 95 (6), 1511–1534.

Ricciardi, A., Palmer, ME, Yan, ND, 2011. *Faut-il gérer les invasions biologiques que des catastrophes naturelles ?* *BioScience* 61, 312–317.

Équipe de base R. 2020. R : Un langage et un environnement pour le calcul statistique. R Foundation for Statistical Computing, Vienne, Autriche. URL <https://www.R-project.org/>.

Seebens, H., Blackburn, TM, Dyer, EE, Genovesi, P., Hulme, PE, Jeschke, JM, Pagad, S., Pysek, P., Winter, M., Arianooutsou, M., Bacher, S. , 2017. *Pas de saturation dans l'accumulation d'espèces exotiques dans le monde. Nat. Commun.* 8 (1), 1–9.

Spear, MJ, Walsh, JR, Ricciardi, A., Zanden, M., 2021. *L'écologie de l'invasion de populations dormantes : prévalence, persistance et changements brusques . BioScience* 71 (4), 357–369.

Stauep-Delgado, R., 2019. *Progrès, traditions et orientations futures de la recherche sur les catastrophes à évolution lente . Catastrophe Préc. Gérer. : Int. J.* 28 (5), 623–635.

AJ Turbelin, RNCuthbert, F. Essl et al.

Perspectives en écologie et conservation xxx (xxxx) xxx–xxx

Turbelin, A., 2020. [Cartographie des modèles d'invasion d'espèces et des interactions avec les risques naturels](#) (thèse de doctorat). King's College de Londres.

Turbelin, A., 2022. [agitea/invacost NH : BI NH costs v1.0 \(BI NH v1.0\)](#). Zénodo, <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.7478558>.

Vilà, M., Dunn, AM, Essl, F., Gómez-Díaz, E., Hulme, PE, Jeschke, JM, Nunez, MA, Ostfeld, RS, Pauchard, A., Ricciardi, A., Gallardo, B ., 2021. [Visualisation émergente](#)

[épidémies infectieuses humaines à travers le prisme de la biologie de l'invasion](#) . BioScience 71 (7), 722–740.

Données ouvertes de la Banque mondiale. 2022. <https://data.worldbank.org/indicator/FP.CPI.TOTL>. (Consulté le 6 avril 2022).