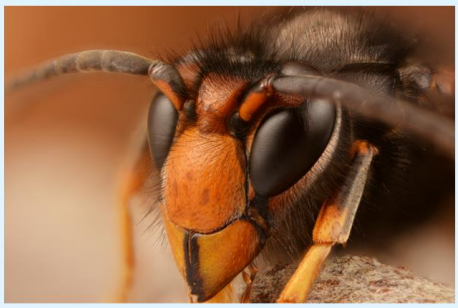
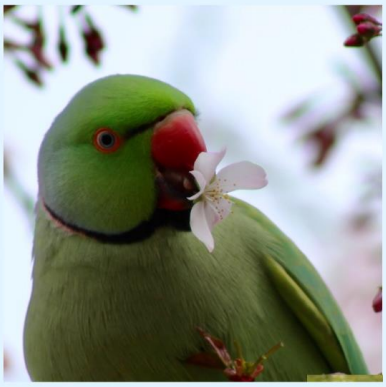


LES COÛTS ÉCONOMIQU€S DES INVASIONS BIOLOGIQUES EN FRANC€

SYNTHÈSE À L'INTENTION DES DÉCIDEURS



En collaboration avec

Auteurs : Manfrini Eléna [1], Leroy Boris [2], Diagne Christophe [1], Soubeyran Yohann [3,4], Sarat Emmanuelle [3], Courchamp Franck [1]

[1] Université Paris-Saclay, CNRS, AgroParisTech, Ecologie Systématique Evolution, Orsay
[2] Unité Biologie des Organismes et Ecosystèmes Aquatiques (BOREA UMR 7208), Muséum National d'Histoire Naturelle, Sorbonne Universités, Université de Caen Normandie, Université des Antilles, CNRS, IRD, Paris
[3] Comité français de l'UICN - [4] AMAP, Univ Montpellier, CIRAD, CNRS, INRAE, IRD, Montpellier

Citation suggérée : Manfrini Eléna, Leroy Boris, Diagne Christophe, Soubeyran Yohann, Sarat Emmanuelle, Courchamp Franck. 2021. Les coûts économiques des invasions biologiques en France. Synthèse à l'intention des décideurs. Paris, France. 32 pages.

Contact : franck.courchamp@cnrs.fr
Université Paris-Saclay, CNRS, Agro- ParisTech, Ecologie Systématique Evolution, Orsay, France

Les résultats présentés dans ce rapport sont issus du programme de recherche InvaCost coordonné par l'Université Paris-Saclay, le CNRS et le MNHN. Sa rédaction a bénéficié de la collaboration du Comité français de l'UICN.

Pour en savoir plus sur InvaCost : www.invacost.fr

Pour en savoir plus sur les actions du Comité français de l'UICN sur les espèces exotiques envahissantes :
http://especes-exotiques-envahissantes.fr/ https://especes-envahissantes-outremer.fr/

1: Frelon asiatique (*Vespa velutina*)
2: Ambroisie à feuilles d'armoise (*Ambrosia artemisiifolia*)
3: Rat noir (*Rattus rattus*)
4: Moustique-tigre (*Aedes albopictus*)

Photos de couverture

5: Perruche à collier (*Psittacula krameri*)
6: Vison d'Amérique (*Neovison vison*)
7: Grenouille-taureau (*Lithobates catesbeianus*)
8: Goujon asiatique (*Pseudorasbora parva*)

9: Écrevisse de Louisiane (*Procambarus clarkii*)
10: Longicorne Asiatique (*Anoplophora glabripennis*)
11: Escargot géant africain (*Lissachatina fulica*)
12: Rascasse volante (*Pterois volitans*)
13: Fourmi d'Argentine (*Linepithema humile*)
14: Jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*)

Sommaire

1. **Introduction** 4
   1.1 Espèces exotiques et invasions biologiques 4
   1.2 De l'importance de l'évaluation des coûts économiques des EEE 5
2. **Méthodologie de l'estimation des coûts** 7
   2.1 Concepts et définitions 7
   2.2 La base de données InvaCost 8
   2.3 Analyses d'InvaCost 10
3. **Coûts des invasions biologiques en France** 12
   3.1 Coût global 12
   3.2 Répartition selon les principales voies d'introduction des EEE 13
   3.3 Cartographie régionale des données des coûts économiques 14
   3.4 Coûts par secteurs et nature des coûts 15
   3.5 Situation de la France par rapport aux autres pays 16
   3.6 Espèces les plus coûteuses 17
   3.7 Espèces à surveiller 19
4. **Discussion et recommandations** 21
   4.1 Des coûts importants mais très sous-estimés 21
   4.2 Recommandations 23
      4.2.1 Recommandations générales 23
      4.2.2 Recommandations spécifiques aux coûts économiques des EEE 25
5. **Conclusion** 27
6. **Bibliographie** 28

1. Introduction

Au cours des cinq derniers siècles, la levée des barrières géographiques liée aux progrès des transports a entraîné l'introduction volontaire ou accidentelle d'un grand nombre d'espèces microbiennes, fongiques, végétales et animales dans tous les écosystèmes du monde[1]. La mondialisation de l'économie et le développement des flux de personnes et de marchandises, particulièrement exacerbés depuis le milieu du 20e siècle, ont considérablement augmenté ces déplacements et introductions d'espèces[2–4]. Le rythme d'introduction de ces espèces dites exotiques est en constante accélération[5,6]. Ce phénomène d'introduction, d'établissement et de prolifération de ces espèces ayant des impacts importants dans un nouvel environnement est appelé 'invasion biologique'.

1.1 Espèces exotiques et invasions biologiques

Sur le plan écologique, d'après la dernière évaluation de la plateforme intergouvernementale pour la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES), les invasions biologiques font partie des cinq principaux facteurs de changements globaux (avec la destruction des habitats, la surexploitation des ressources, la pollution et le changement climatique)[7]. D'après les chiffres de la Liste Rouge mondiale des espèces menacées de l'UICN (Union Internationale de Conservation de la Nature), elles menacent une grande partie des oiseaux, amphibiens, reptiles, mammifères terrestres et mollusques inscrits dans les catégories d'espèces menacées[8]. Elles constituent ainsi la troisième pression pesant sur les espèces menacées au niveau mondial (après la destruction des habitats et la surexploitation des espèces). Enfin, les espèces exotiques envahissantes (EEE) sont la deuxième cause d'extinctions documentées d'espèces[9]. En effet, plus de la moitié des extinctions sont liées aux effets des EEE et une extinction sur cinq leur serait directement imputée[10]. Les impacts écologiques des EEE sont donc particulièrement préoccupants pour la biodiversité, mais aussi pour les sociétés humaines du fait de l'importance des services écosystémiques associés à cette biodiversité. En outre, les EEE peuvent causer des impacts sanitaires pour les humains[11] et leurs animaux domestiques ou d'élevage[12,13]. Enfin, elles peuvent également induire des pertes et des dommages considérables sur différents secteurs d'activités (par exemple, agriculture, foresterie, infrastructures[14,15]) et par là même causer des coûts économiques importants[16].

La France apparaît comme l'un des pays européens possédant le plus grand nombre d'espèces introduites. Ceci est dû à son contexte socio-économique et géographique unique. En effet, la France métropolitaine a des frontières avec cinq autres pays européens, des côtes sur trois mers ou océans différents et accueille quatre zones biogéographiques (atlantique, continentale, méditerranéenne et alpine). L'Outre-mer français, composé de treize territoires, s'étend dans les trois grands océans de la planète, du subarctique à l'antarctique en passant par les tropiques. En outre, son statut de puissance internationale majeure a favorisé des relations privilégiées aussi bien avec de nombreux pays sur les cinq continents qu'avec les territoires ultramarins. Cette situation facilite un trafic national et international important en provenance de régions variées qui permet à la France d'être le 7ème importateur mondial de marchandises (Organisation Mondiale du Commerce, https://www.wto.org/) et d'avoir le 7ème produit intérieur brut le plus élevé au monde (https://www.worldbank.org). La France fait également partie des pays les plus visités au monde (pays le plus visité en 2018, Organisation Mondiale du Tourisme, https://www.unwto.org/). Or, les déplacements de marchandises et de personnes sont les vecteurs principaux de transport d'espèces exotiques[17,18]. Par conséquent, les invasions biologiques ne cessent d'augmenter, comme partout dans le monde[4]. Il existe un minimum de 2 750 espèces exotiques ayant été introduites en France[19]. Cette liste est composée à la fois d'espèces qui n'ont pas d'impact démontré (espèces exotiques, voir plus bas) et d'autres qui présentent déjà un impact environnemental, sanitaire et/ou économique (espèces exotiques envahissantes). L'Observatoire National de la Biodiversité (ONB) a estimé que sur les 40 dernières années un département métropolitain voit s'installer en moyenne tous les dix ans près de six EEE[20]. Les outre-mer sont quant à eux envahis par près de 60 EEE figurant sur la liste des espèces parmi les plus envahissantes au monde qui sont déjà présentes dans ces territoires[21].

Les cas d'invasions biologiques sont multiples : elles concernent tous les groupes taxonomiques (plantes, vertébrés, invertébrés, champignons et microorganismes) et tous les milieux (marins,

aquatiques d'eau douce, terrestres). Chaque EEE a des impacts qui lui sont propres. Par exemple, le Vison d'Amérique a un impact direct sur les écosystèmes. Cette espèce a été importée en France en 1926 pour sa fourrure[22]. Le développement des élevages après la seconde guerre mondiale avec de mauvaises gestions des structures a conduit à l'évasion de nombreux individus ; puis le déclin de ces élevages s'est accompagné d'abandons massifs d'animaux. Ces derniers entrent principalement en compétition avec le Vison d'Europe et ont également des impacts négatifs par prédation des populations d'amphibiens, de mammifères (ex, campagnol amphibie) et d'oiseaux aquatiques (ex, sterne de Dougall)[23,24]. Enfin, il est vecteur de nombreuses maladies, dont une transmissible au vison d'Europe et d'autres transmissibles à l'humain, comme la toxoplasmose[25] ou le coronavirus[26]. Le Moustique-tigre (*Aedes Albopictus*) a un impact direct sur la société. Cette espèce a été signalée pour la première fois au début du 20e siècle à la Réunion et en 1999 en France métropolitaine sur des sites de stockages de pneus usés[27]. Malgré les traitements pour lutter contre son établissement, il réussit à envahir en 2004 le littoral méditerranéen et la Corse par le trafic routier en provenance de l'Italie, pays déjà envahi à cette époque. Or, les femelles de ce moustique jouent un rôle important dans la transmission de nombreux agents pathogènes, ce qui entraîne une forte menace pour la santé publique[28]. Cette espèce est particulièrement efficace pour transmettre le chikungunya et la dengue dans le sud-est de la France[29]. De plus, elle peut également transmettre le virus de la fièvre jaune[30]. Le Miconia (*miconia calvescens*), arbre originaire d'Amérique du Sud fait partie des 100 espèces parmi les plus envahissantes au monde d'après l'UICN[31]. Dénommé le « cancer vert », il envahi de nombreuses îles du Pacifique à partir de terre contaminée et d'engins de chantier. Il est considéré comme la pire des EEE en Polynésie Française, car son couvert végétal très dense bloque la lumière et empêche les plantes locales de pousser. Son système racinaire tentaculaire provoque en outre des glissements de terrain. Elle couvre également plus de 80 000 hectares à Tahiti et menace d'extinction de nombreuses plantes endémiques[32]. Sa propagation dans d'autres îles est particulièrement crainte[33]. Ces quelques exemples illustrent la diversité et l'intensité des impacts associés aux invasions biologiques en France.

1.2 De l'importance de l'évaluation des coûts économiques des EEE

Publié en 2015, le règlement européen 1143/2014 « *relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes* », contraint la France à mettre en œuvre des plans d'actions et de gestion pour maîtriser les EEE et prévenir leurs introductions sur son territoire (métropolitain et régions ultrapériphériques en outre-mer). Malgré des avancées importantes et de nombreuses actions mises en œuvre à l'échelle nationale et des territoires (élaboration de stratégies, évolution du cadre réglementaire, opérations de gestion sur le terrain…), la prise de conscience du public, des porteurs d'enjeux et des décideurs des problématiques liés aux EEE reste encore insuffisante[34]. Le cadre règlementaire et sa mise en œuvre restent trop limités pour ralentir efficacement le flux des introductions d'espèces[35]. A titre d'exemple, seules 66 espèces sont inscrites en 2021 sur la liste des EEE préoccupantes pour l'union européenne, alors qu'on estime la présence de plusieurs milliers d'EEE en Europe (https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/invasive-alien-species-in-europe/invasive-alien-species-in-europe).

Plusieurs facteurs peuvent expliquer ce défaut de prise de conscience[34]. Notamment, les impacts écologiques des invasions biologiques sont plus complexes à appréhender et beaucoup moins intuitifs que ceux dus aux changements climatiques, à la déforestation ou à la pollution[36]. Leurs impacts sanitaires sont bien souvent sous-estimés et/ou méconnus dans de nombreuses régions[37]. Leurs impacts sociétaux sont hétérogènes et difficiles à évaluer de manière standardisée[38].

Dans ce contexte, les informations sur les conséquences économiques des EEE dans nos sociétés apparaissent essentielles non seulement pour attirer l'attention des pouvoirs publics, du grand public et du secteur privé, mais aussi pour identifier des approches de gestion efficaces, par exemple en évaluant l'applicabilité et l'efficience de méthodes de contrôle des EEE via des analyses coût-efficacité[16], comme recommandé dans les évaluations de l'IPBES[7].

De nombreux coûts économiques des EEE ont déjà été relevés mais leur complexité et leur hétérogénéité a jusqu'ici limité la production de synthèses. Seuls Kettunen et al.[39] ont synthétisé les coûts économiques des EEE en Europe relevant, entre autres, un coût de 6 milliards d'euros de dommages par an des plantes terrestres envahissantes dans l'agriculture européenne. En Amérique du Nord, les études pionnières[40] ont également suggéré un impact économique très important. En effet, un minimum de 37 millions d'euros a été dépensé et/ou perdu à cause des mammifères seulement[40]. En France, un rapport du CGDD (Commissariat général au développement durable) publié en 2015 a donné une première estimation nationale de 38 millions d'euros de coûts économiques annuels, basée sur l'extrapolation de questionnaires provenant d'un nombre restreint de collectivités et de gestionnaires[41].

Récemment, une nouvelle approche méthodologique a permis la première évaluation de l'impact économique des invasions biologiques à l'échelle mondiale. Il s'agit des analyses de la base de données InvaCost, la compilation la plus complète des coûts économiques documentés des invasions biologiques dans le monde[42,43].

En s'appuyant sur les résultats du programme de recherche InvaCost, ce rapport présente une nouvelle évaluation des coûts économiques des invasions biologiques en France. Il propose une analyse spécifique de ces coûts selon i) les différentes voies d'introductions des EEE, ii) les différentes régions françaises concernées, iii) les secteurs d'activités impactés et la nature des coûts (dommages ou gestion) iv) les différentes EEE impliquées. Les coûts en France sont également comparés avec ceux d'autres pays (limitrophes, européens et mondiaux). Enfin, des recommandations sont présentées, pour renforcer la prévention et l'anticipation des invasions biologiques sur nos territoires.

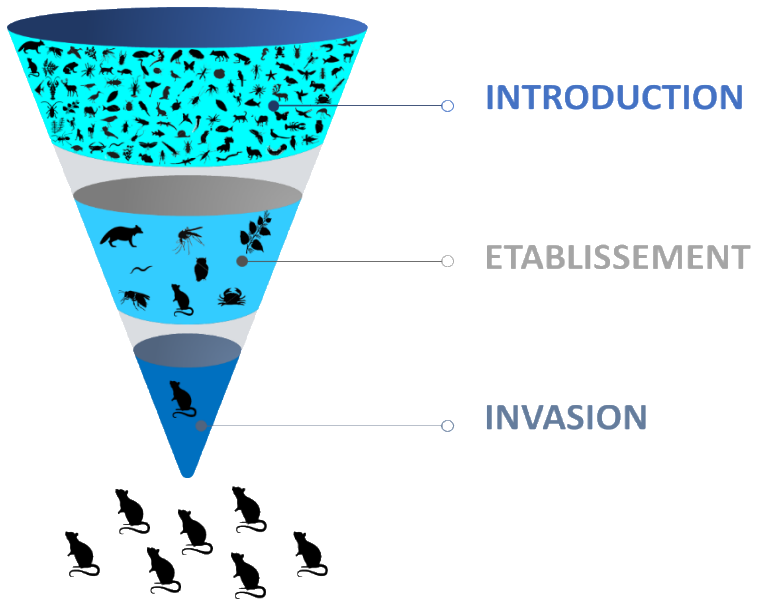


Figure 1 : Illustration de la règle des 10%. À chaque étape du processus d'invasion, seule une petite partie (10% en théorie) des individus passe à l'étape suivante, ce qui fait que seule une petite proportion des individus introduits deviennent finalement envahissants. La plupart des espèces exotiques ne sont pas problématiques. Mais le nombre important d'introductions fait que cette petite proportion correspond tout de même à de très nombreuses invasions.

2. Méthodologie de l'estimation des coûts

2.1 Concepts et définitions

Toutes les espèces introduites ne deviennent pas problématiques, loin s'en faut. Cependant, certaines d'entre elles induisent des dégâts et sont dites envahissantes. Selon la définition retenue au niveau mondial (voir ci-dessous), une EEE est une espèce introduite (volontairement ou fortuitement) par l'humain en dehors de son aire de répartition naturelle et dont l'implantation et la propagation incontrôlée menacent les écosystèmes, les habitats ou les espèces indigènes avec des conséquences écologiques, économiques et/ou sanitaires négatives[17,44]. Techniquement, il serait plus juste de parler de populations exotiques envahissantes, car l'espèce elle-même (qui est toujours native de quelque part) n'est pas l'unité problématique, seuls le sont le groupe d'individus ou la population qu'ils forment dans les habitats envahis. Cependant, le concept d'EEE est plus simple tant pratiquement que conceptuellement et est celui retenu par la science, et dans ce rapport.

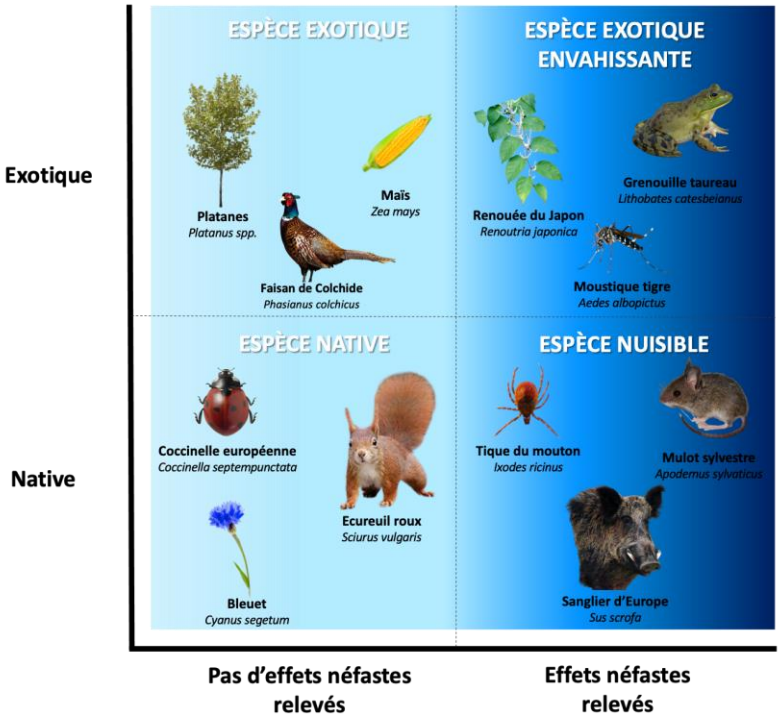


Figure 2: Relation entre les quatre concepts liés aux EEE. La combinaison des deux catégories, [native vs exotique] et [avec impact vs. sans impact], définit d'une part les espèces exotiques envahissantes, qui sont à la fois non-natives et avec un impact, et toutes les autres espèces. À noter que de nombreux synonymes existent: native ~ indigène; exotique envahissante ~ invasive; exotique ~ introduite; nuisible ~ susceptibles de causer des dégâts... Le dégradé de bleu illustre l'importance des effets néfastes sur les écosystèmes. Les espèces représentent des exemples.

Les espèces introduites dans un milieu dans lequel elles n'ont pas évolué n'arrivent en général pas à y survivre durablement, car elles n'y sont pas adaptées. La plupart de celles qui survivent ne parviennent ensuite pas à se reproduire et se répandre dans ce nouvel environnement. Il a été estimé qu'environ 10% d'entre elles seulement arrivent à passer chacune de ces deux étapes : on parle de la règle des 10% (Figure 1[45]). En théorie, sur 100 espèces introduites, 10 pourront donc s'établir et une seule deviendra envahissante. Au final, 1% d'invasion peut paraître peu, mais on parle de plusieurs milliers d'organismes exotiques introduits quotidiennement dans le monde, ce qui implique un nombre important d'EEE au final. Ces chiffres théoriques ont récemment été revus à la hausse par des études sur les plantes (il s'agirait plutôt de 25%) et de vertébrés (plutôt 50%)[46]. Quel que soit le pourcentage retenu, le message est double : (i) toutes les espèces exotiques ne sont pas problématiques, et (ii) du fait du nombre très important d'introductions, les invasions sont très nombreuses.

Ce rapport utilise les définitions ci-dessous, issues du Centre de ressources sur les espèces exotiques envahissantes de l'UICN France et OFB http://especes-exotiques-envahissantes.fr/definitions/ :

Espèce native, indigène : Espèce, sous-espèce ou un taxon inférieur présent naturellement à l'intérieur d'un territoire, y compris la zone qu'elle peut atteindre et occuper en utilisant ses propres moyens de déplacement.

Espèce susceptible de causer des dégâts : Espèce native du milieu dont la prolifération peut causer des dommages (ces espèces étaient jusqu'ici qualifiées d'espèces nuisibles).

Espèce exotique, introduite, allochtone : Espèce, sous-espèce ou un taxon inférieur introduit par les activités humaines hors de sa région naturelle ou n'importe quelle partie, gamète, graine, œuf ou propagule de cette espèce capable de survivre et de se reproduire par la suite.

Espèces exotiques envahissantes, invasives : Espèce introduite par l'homme en dehors de son aire de répartition naturelle (volontairement ou fortuitement) et dont l'implantation et la propagation menacent les écosystèmes, les habitats ou les espèces indigènes avec des conséquences écologiques et/ou économiques et/ou sanitaires négatives.

2.2 La base de données InvaCost

Fruit d'un programme de recherche dédié à l'évaluation des coûts économiques des EEE depuis 2014, la base de données InvaCost, alimentée par un réseau international d'économistes et d'écologues, constitue à ce jour la compilation la plus complète des coûts économiques documentés des invasions biologiques dans le monde[42,43] (http://www.invacost.fr). Une méthodologie systématique et normalisée a été développée pour collecter des informations à partir d'articles scientifiques évalués par des pairs, de rapports officiels et de la littérature grise publiés en anglais et dans 11 autres langues (telles que le français, l'espagnol, ou le chinois). Cette base de données, régulièrement mise à jour, comporte, au moment de la préparation de ce rapport, plus de 9823 coûts économiques concernant 705 EEE dans 125 pays (version 3.0). La version suivante (version 4.0) comportera plus de 13 000 coûts économiques concernant 970 EEE dans 176 pays, mais les coûts pour la France resteront sensiblement identiques. La base de données InvaCost, de même que les outils pour l'analyser, sont gratuitement accessibles (www.invacost.fr). Également, une "figure vivante" y donne en temps réel les coûts associés à la version la plus récente

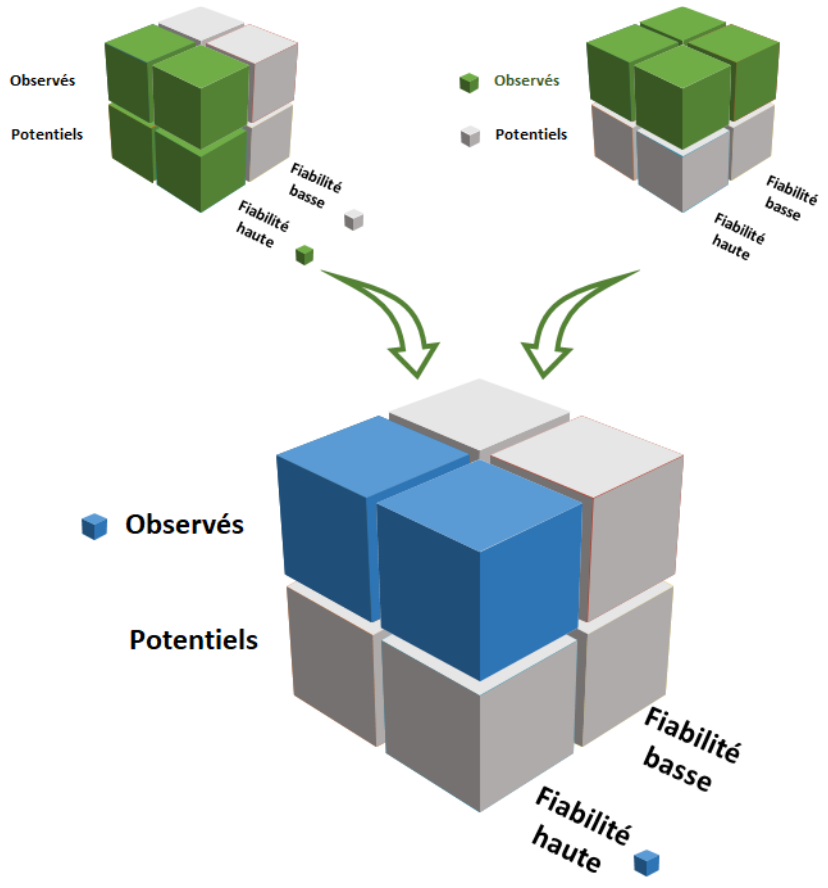


Figure 3 : Définitions des différents secteurs d'activités impactés par les EEE présents dans la base de données InvaCost

de la base de données (http://invacost.fr/).

Chaque coût est caractérisé par 64 descripteurs divisés en plusieurs catégories : économiques, écologiques, taxonomiques, géographiques et bibliographiques. Ces descripteurs permettent la standardisation et la comparaison des coûts selon les taxons, les régions, ou les secteurs d'activité, par exemple. Ces coûts recensés proviennent de plusieurs milliers de documents publiés et sont donc associés à des informations variées sur leur nature. Pour une même espèce, une diversité de coûts (dommages, gestion) et de secteurs d'activités impactés (agriculture, environnement, santé, organisations publiques ou privées, biens communs, foresterie, ressources aquatiques; voir Figure 3) peut ainsi être répertoriée.

Par ailleurs, deux descripteurs de la base évaluent la robustesse des coûts. D'une part, chacun des coûts enregistrés peut en effet être observé (donc réalisé) ou potentiel (donc prédit mais non réalisé). D'autre part, ils peuvent être caractérisés selon leur niveau de fiabilité méthodologique (haute ou basse) selon des critères préétablis[42]. Dans ce rapport, sauf précision explicite, les coûts considérés pour les analyses sont les coûts les plus robustes, soit ceux à la fois observés et à fiabilité haute (Figure 4).

Figure 4 : Principaux secteurs d'activités affectés par les coûts des invasions. Les coûts observés correspondent aux coûts réellement encourus tandis que ceux potentiels sont des estimations prévues au-delà de la plage d'observation spatiale et/ou temporelle d'origine à partir de diverses méthodes d'extrapolation. Les coûts à fiabilité haute représentent ceux figurant dans des publications évaluées par des pairs ou des rapports officiels, ou avec des méthodes documentées, reproductibles et / ou traçables contrairement aux coûts à fiabilité basse figurant dans des documents non officiels ou présentant des méthodes non reproductibles et / ou traçables. Les coûts de dommage correspondent aux pertes et dégâts causés par les invasions et les coûts de gestion correspondent aux dépenses pour lutter contre ces invasions et contre leurs impacts. Dans ce rapport, sauf précision explicite, les coûts considérés pour les analyses sont les coûts les plus robustes, soit ceux à la fois observés et à fiabilité haute, en bleu sur la figure. Les descripteurs et définitions utilisés dans InvaCost sont disponibles en ligne : https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12668570

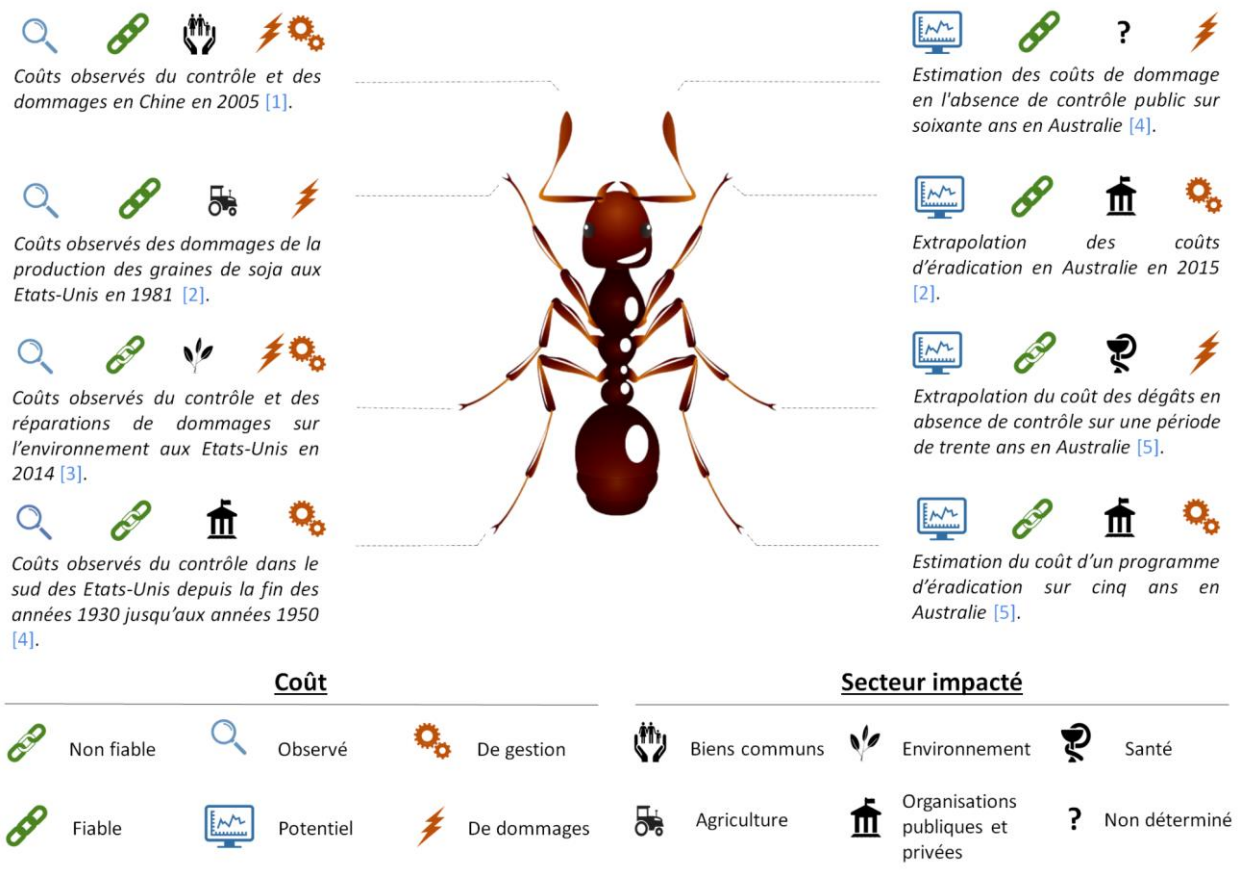


Figure 5 : Exemples de différents types de coûts. Une même espèce exotique envahissante, ici illustrée par la fourmi de feu (*Solenopsis invicta*), a pu générer des coûts de nature différente, sur différents secteurs d'activité, dans différentes régions, à différentes périodes de temps et estimés par différentes méthodes, ce qui rend la comparaison des coûts difficile. La standardisation effectuée par la base de données InvaCost au sein des 64 descripteurs permet les compilations et comparaisons de ces coûts initialement très hétérogènes. [1] Hu, 2008 ; [2] Williamson et al., 2010; [3] Avant 2014; [4] Generalitat Valenciana, 2012; [5] ABARE, 2001.

2.3 Analyses d'InvaCost

La base de données InvaCost a permis de conduire des synthèses sur divers sujets comme le coût économique mondial des EEE[16], le coût économique mondial des insectes[15], le coût économique des EEE aquatiques d'eau douce[47], le coût des 100 parmi les pires EEE au monde[48], ou encore le coût économique de différentes régions du monde (ex: Asie[49]; Afrique[50]; Europe[51]; Amérique du Nord[52]; Australie[53]; Amérique du Sud et Centrale[54]). Parmi ces articles scientifiques, une étude récente s'est focalisée sur la France[19], dont la méthodologie et les chiffres constituent le corps de ce rapport.

Les coûts économiques provenant de 64 descripteurs différents, chaque coût peut être une combinaison unique de type de coût, secteur impacté, couverture temporelle, aire géographique concernée, niveau de fiabilité, etc. La figure 5 illustre différents types de coûts liés à l'invasion d'une même espèce (la fourmi de feu, *Solenopsis invicta*), mettant en avant le fait qu'une même invasion peut causer différents niveaux de dépenses et pertes économiques.

Les analyses ont été effectuées sur la version 3.0 de la base de données, filtrée par le pays pour ne conserver que les coûts en France métropolitaine et ultramarine, puis seuls les coûts à fiabilité haute et réellement observés (et non extrapolés) ont été conservés(voir articles dédiés pour les détails méthodologiques[16,43]). Ce processus est schématisé Figure 6.

Figure 6 : Sélection des données utilisées dans ce rapport. La base de données InvaCost 3.0 est constituée de tous les articles scientifiques, livres, rapports officiels, etc comprenant des coûts économiques d'espèces exotiques envahissantes. L'ensemble de cette base a ensuite subi une succession de filtres (données de France, données les plus fiables, données observées), et de standardisation (ex toutes les données ont été rapportées à une année), avant d'être analysées. La standardisation a permis de passer de 1097 coûts à 1373 coûts annuels. Les détails méthodologiques sont fournis dans les publications dédiées (Diagne et al., 2020b, 2021a).

3. Coûts des invasions biologiques en France

3.1 Coût global

Pour la France, 1373 coûts concernant 98 espèces exotiques envahissantes sont répertoriés dans la base InvaCost 3.0. Les analyses ont porté plus particulièrement sur 27 espèces de vertébrés, 14 espèces d'invertébrés et 55 espèces de plantes. Ces espèces ont occasionné un coût total d'au moins 12,3 milliards d'euros entre 1993 et 2030 (car certains coûts sont extrapolés dans le futur, soit 10.2 milliards entre 1993 et 2018). En ne retenant que les coûts les plus robustes (c'est à dire à la fois observés et fiables), le coût total s'élève à un minimum de 1,14 milliards d'euros entre 1993 et 2018. Le coût annuel moyen de ces EEE est compris entre 44 et 395 millions d'euros selon les données retenues (robustes ou totales).

Selon Renault et al.[19], 2751 espèces exotiques sont présentes en France (mis à jour le 24 septembre 2020 dans GRIIS (Global Register of Introduced and Invasive Species[55,56]). Par conséquent, environ 97% des espèces exotiques actuellement recensées en France n'ont pas de coûts rapportés dans la littérature (Figure 7). Cela ne veut évidemment pas dire qu'elles n'occasionnent pas de coût économique, mais plutôt que ces coûts

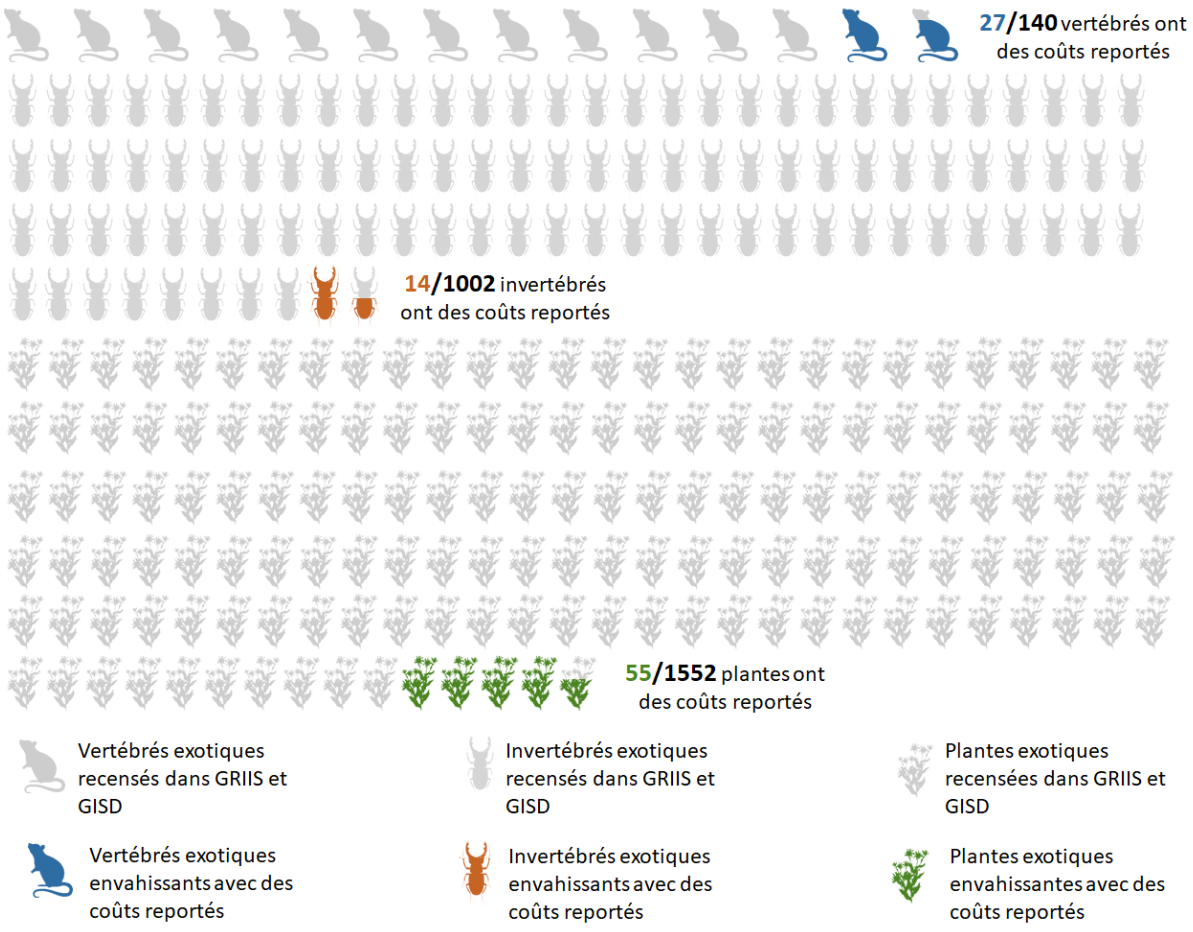


Figure 7 : Proportion d'espèces présentant des coûts reportés en France. Les données sont basées sur le nombre d'espèces recensées dans GRIIS et GISD. Elles illustrent le manque important de données de coûts économiques pour la plupart des espèces exotiques en France, que ce soit pour les plantes, les vertébrés ou les invertébrés. Chaque icône représente 10 espèces.

n'ont jamais été évalués et rapportés.

3.2 Répartition selon les principales voies d'introduction des EEE

L'introduction volontaire ou accidentelle d'une espèce commence par son transport intentionnel (e.g. pour la chasse, l'horticulture, la foresterie) ou accidentel (e.g. via les engins de transports, des semences contaminées) par les activités humaines en dehors de ses limites biogéographiques[57–59]. Les voies d'introduction jouent donc un rôle central dans le succès d'invasion des EEE. Il existe six voies d'introduction principales[60] : (1) libération : introduction intentionnelle en tant que produit destiné à être libéré ; (2) évasion : introduction intentionnelle en tant que marchandise mais évasion non intentionnelle ; (3) contaminant : introduction non intentionnelle avec un produit spécifique ; (4) transport accidentel : introduction involontaire attachée à un moyen de transport ; (5) corridor : introduction non intentionnelle via des infrastructures humaines reliant des régions auparavant non connectées ; (6) sans aide : introduction non intentionnelle par dispersion naturelle d'espèces exotiques à travers les frontières politiques. Plus précisément, ces six voies peuvent être divisées en 44 sous-catégories[18], couvrant toutes les voies possibles d'introduction.

A partir de la base de données de Turbelin et al.[18], la majorité des coûts observés en France entre 1998 et 2018 a principalement été causée à la suite de trois voies d'introduction : les contaminants (34%), les échappements ou évasions (32%) et les transports accidentels (29%) (Figure 8). Plus particulièrement, en ce qui concerne les coûts répertoriés, les évasions ont principalement lieu à travers le transport de cultures agricoles et dans les laboratoires de recherches. Les contaminants sont principalement introduits via le transport de plantes et de graines. Enfin, d'autres espèces arrivent accidentellement avec l'importation de machines, d'équipements ou encore d'emballages.

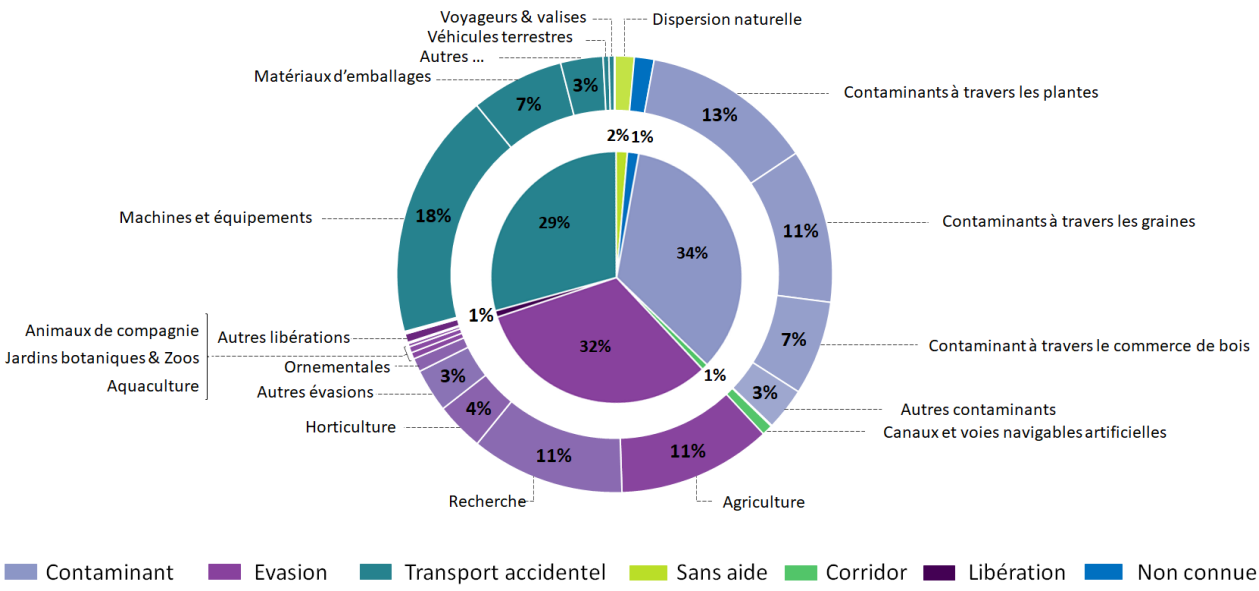


Figure 8 : Proportion des coûts cumulés selon les principales voies d'introduction en France entre 1998 et 2018. Le cercle interne représente la proportion des coûts cumulés des 7 voies d'introduction principales tandis que le cercle externe représente les 44 sous catégories de ces 7 voies principales. Les sous catégories qui représentent moins de 1% de la proportion ne présentent pas de pourcentage.

3.3 Cartographie régionale des données des coûts économiques

Les coûts économiques des EEE disponibles dans la base de données varient fortement entre les différentes régions françaises métropolitaines et ultramarines. En effet, ces coûts pour chaque région diffèrent en fonction du nombre d'EEE, de l'impact de ces espèces mais aussi de l'implication des différentes régions dans le recensement de ces coûts. La carte Figure 9 montre le nombre d'espèces recensées par régions et leurs coûts associés. Plus particulièrement, cette carte illustre l'implication des différentes collectivités territoriales et gestionnaires d'espaces dans le recensement des coûts induits par ces espèces. Les régions à faible coût reflètent donc vraisemblablement en partie un recensement moindre.

Selon les coûts recensés, les régions les moins envahies et moins impactées économiquement (< 10 espèces et < 5 millions d'euros) sont les régions les plus septentrionales (Grand Est, Ile de France, Hauts de France et Normandie). La région Auvergne-Rhône-Alpes et La Réunion sont les régions avec les coûts cumulés les plus élevés (respectivement 212 millions et 121 millions d'euros) et le plus grand nombre d'espèces coûteuses (entre 10 et 15 espèces). La Bretagne, Pays de la Loire, Nouvelle Aquitaine et la Nouvelle Calédonie ont plus de 15 EEE avec des coûts compris entre 5 et 100 millions d'euros. Enfin, le coût recensé pour la région Provence Alpes côte d'Azur apparaît relativement faible (4.5 millions d'euros) malgré la présence de plus de 25 EEE.

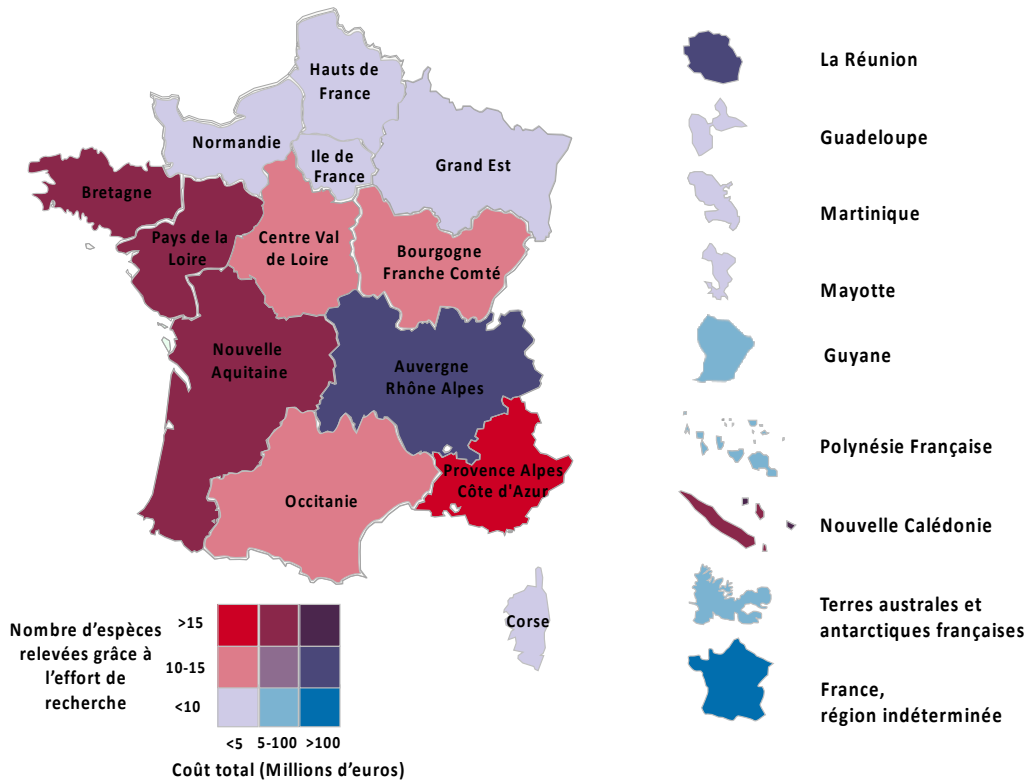


Figure 9 : Carte en deux dimensions du coût des EEE dans chaque région. Les couleurs représentent la combinaison du nombre d'EEE et du coût économique total (en millions d'euros) reporté dans chaque région (de France métropolitaine sur la gauche et des Outre-mer sur la droite) entre 1993 et 2018. Le nombre d'espèces pour lesquelles le coût de la région impactée n'était pas précisé a été regroupé dans "France, région indéterminée".

3.4 Coûts par secteurs et nature des coûts

L'analyse des coûts économiques à travers les secteurs d'activités a révélé que trois d'entre eux ont principalement été touchés par les EEE : la santé (288 millions d'euros), l'agriculture (229 millions d'euros), les organisations publiques et privées (204 millions d'euros). La catégorie mixte (i.e., qui regroupe plusieurs secteurs dans les études ou lorsque les secteurs n'ont pas été précisés) représente la proportion plus importante des coûts avec 379 millions d'euros. Certaines catégories de secteurs sont davantage affectées par certains groupes taxonomiques particuliers. En effet, les plantes ont les coûts les plus importants dans 3 secteurs : agriculture, organisations publiques ou privées et santé. Les invertébrés, plus particulièrement les arthropodes semi-aquatiques, ont souvent des impacts sur une multitude de secteurs. Les organisations publiques et privées sont impactées par une forte diversité de taxons (invertébrés, vertébrés, champignons, plantes, virus …).

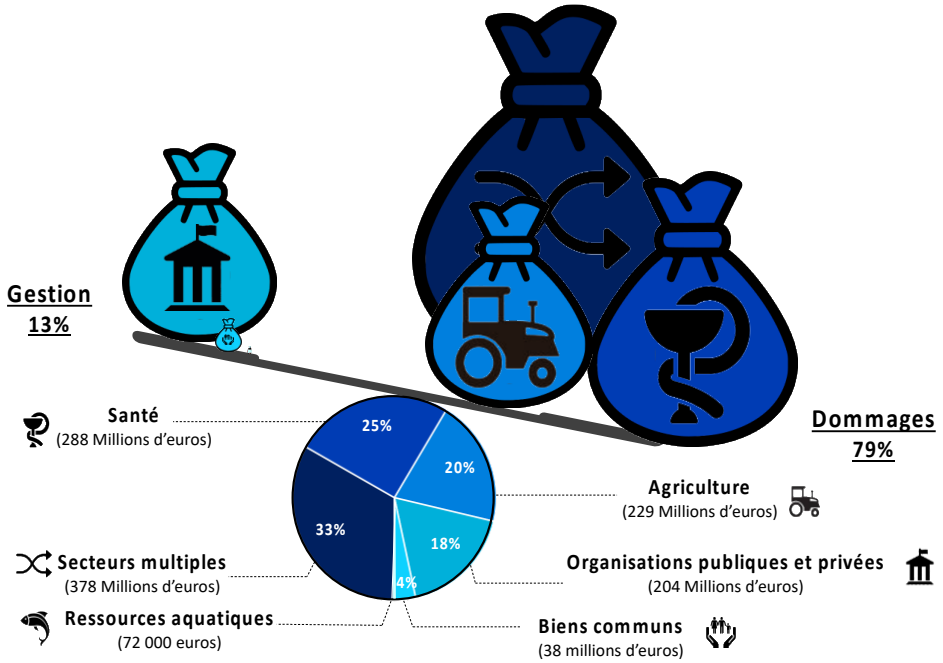


Figure 10 : Proportion des coûts de gestions et de dommages entre les différents secteurs d'activités. Les coûts de nature mixte (comprenant ceux de gestion et de dommages) et ceux qui n'étaient pas indiqués dans la littérature ne sont pas représentés dans cette figure. Ces derniers représentaient 8% et moins de 1% respectivement.

La très grande majorité des coûts économiques (79%, Figure 10) engendrés par les EEE en France sont des coûts de dommages et de pertes. Les seules exceptions sont les coûts des ressources aquatiques, des organisations publiques ou privées et des biens communs dont les coûts de gestion sont plus élevés que ceux de dommages. Cependant, leurs coûts totaux sont faibles comparé aux autres secteurs d'activités.

3.5 Situation de la France par rapport aux autres pays

Sur la base des coûts observés uniquement sur la période 1993-2018, la France, avec près de 1.14 milliards d'euros de coûts économiques se plaçait derrière le Royaume-Uni où le coût des EEE avoisinait les 5 milliards d'euros (Figure 11). L'Italie et l'Allemagne se trouvaient en 3ème et 4ème position avec un nombre de coûts enregistrés plus faibles. En revanche, malgré un nombre important de données (3012 données), l'Espagne se trouvait en dernière position des coûts reportés dans la littérature, avec un total de 205 millions d'euros. Pour la majorité des pays (France, Royaume-Uni, Allemagne et l'Italie), les coûts relevés dans la littérature montrent des dépenses principalement dues aux dommages que les EEE occasionnent (plus de 60% pour le

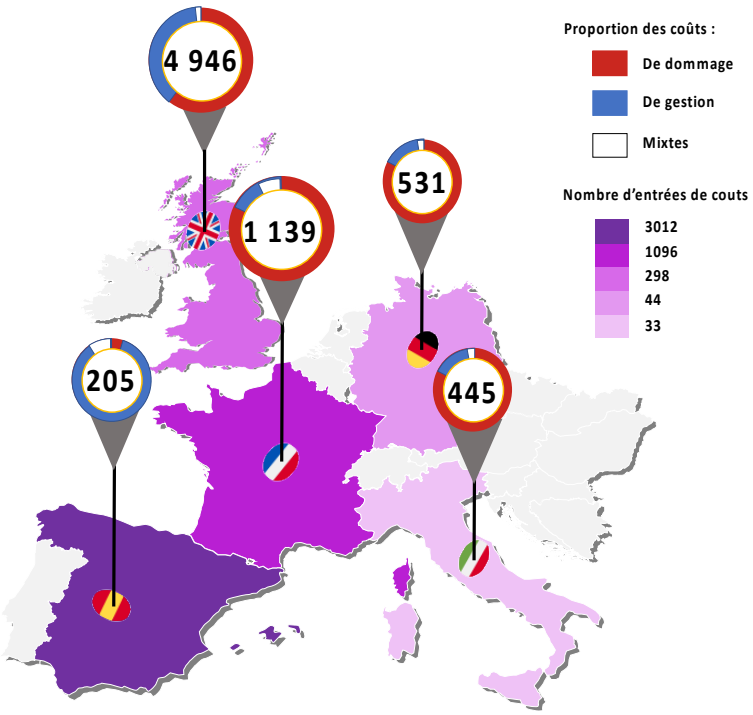


Figure 11 : Coûts occasionnés par les EEE en France et dans quelques pays voisins (Espagne, Royaume-Uni, Allemagne, Italie). La couleur des pays indique le nombre de données disponibles dans la base de données InvaCost . Les panneaux sur chaque pays indiquent le coût total en millions d'Euros, entre 1993 et 2018, et les secteurs de couleur autours de ces nombres indiquent la proportion de ces coûts en fonction de leur nature (dommage, gestion et mixtes).

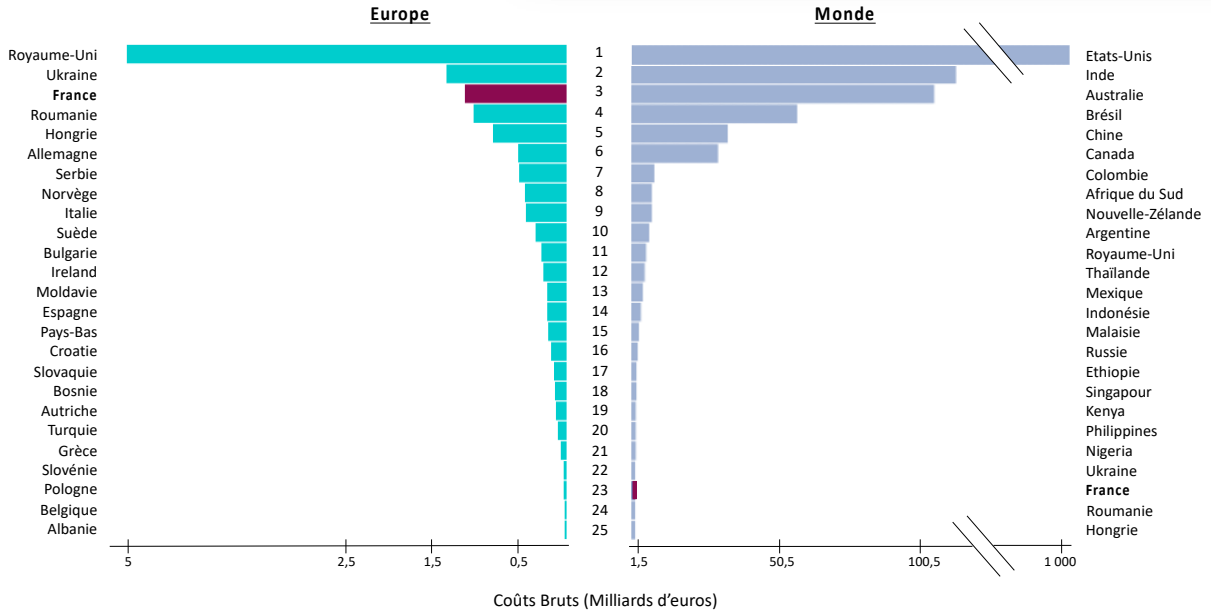


Figure 12 : Place de la France en Europe et dans le Monde pour les coûts des invasions biologiques. La barre pourpre sur les deux histogrammes indique que la France a subi le 3e plus grand coût cumulé entre 1993 et 2018 en Europe et le 23e dans le monde.

Royaume-Uni et 80% pour les autres) entre 1993 et 2018. En revanche, en Espagne, les coûts observés répertoriés durant cette période sont principalement des coûts dépensés dans la gestion des EEE (plus de 80%), ce qui s'explique par un effort de recherche spécifique auprès des gestionnaires dans ce pays pour obtenir ces données de coûts. Par conséquent, la France est le dernier de ces pays en termes d'investissement de gestion pour contrer les EEE, ce qui explique des coûts de dommages très importants. Au niveau mondial, le coût économique des EEE entre 1993 et 2018 s'élève à plus de 1 600 milliards d'euros. En considérant les coûts cumulés de chaque pays pendant cette période, la France est le 3ème pays le plus impacté en Europe et le 23ème au niveau mondial sur un total de 37 et 111 pays, respectivement (Figure 12). La France se place ainsi parmi les pays où le coût des invasions biologiques est le plus important.

3.6 Espèces les plus coûteuses

L'analyse des coûts économiques des 98 espèces pour lesquelles des données sont disponibles a révélé que les plantes et les invertébrés exotiques envahissants représentent la plupart des coûts cumulés signalés en France. En effet, les plantes représentaient un coût de 665 millions d'euros, les invertébrés de 416 millions d'euros tandis que les vertébrés coûtaient seulement 28 millions d'euros.

Pour les plantes, la grande majorité des coûts sont attribués à 18 espèces sur la période 1993-2018. Il s'agit de l'Erable negundo (*Acer negundo*), de l'Ambroisie à feuilles d'armoise (*Ambrosia artemisiifolia*) et de l'Ambroisie à épis lisse (*A. polystachya*), du Séneçon en arbre (*Baccharis halimifolia*), de la Crassule de Helms (*Crassula helmsii*), de l'Olivier de Bohème (*Elaeagnus angustifolia*), des deux espèces de Jussies (*Ludwigia* sp.), du Myriophylle aquatique (*Myriophyllum aquaticum*), du Cholla à fleurs roses (*Opuntia rosea*), du Cerisier tardif (*Prunus serotina*), des Renouées asiatiques (*Reynoutria* sp.), du Robinier faux acacia (*Robinia pseudoacacia*), du Rhododendron pontique (*Rhododendron ponticum*) et de la Lézardelle penchée (*Saururus cernuus*) pour la métropole. Pour les outre-mer, il s'agit de l'*Acacia mangium*, de la Vigne marronne (*Rubus alceifolius*), du Sainfoin du Bengale (*Flemingia strobilifera*) et du Miconia (*Miconia calvescens*).

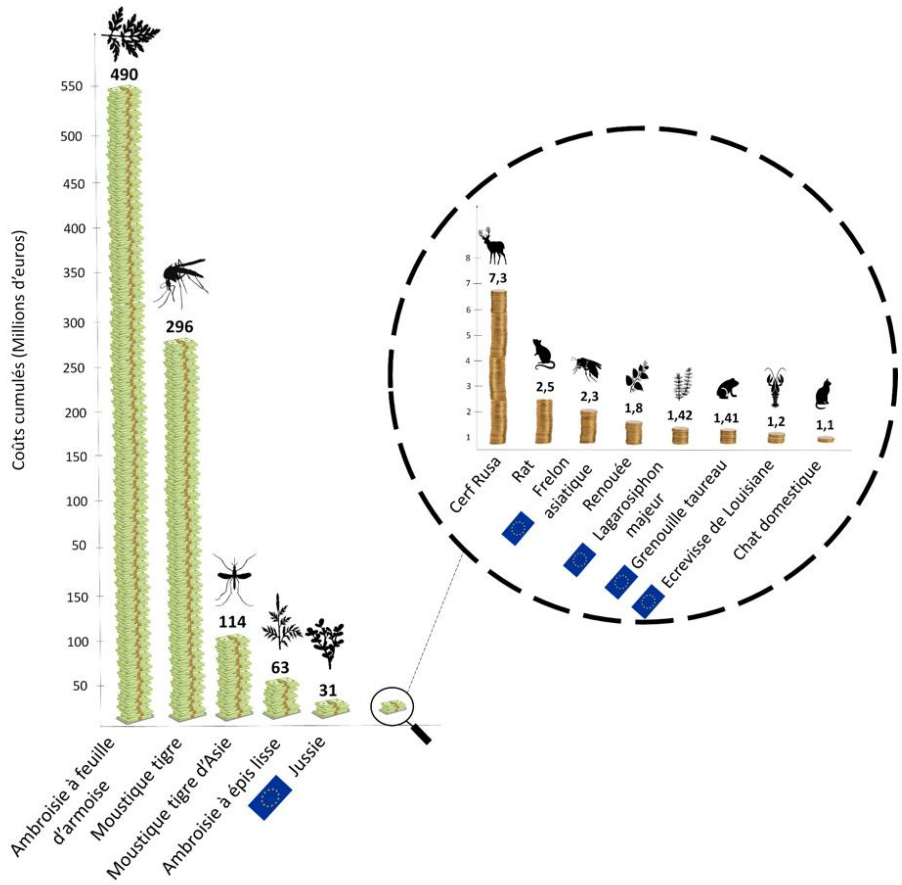


Figure 13 : Classement des espèces dont le coût total est supérieur à 1 million d'euros entre 1993 et 2018. Les coûts présentés ici ont été obtenus en sélectionnant les données les plus robustes. Ils comprennent les coûts de dommages et de gestion. Le drapeau Européen situé à côté d'une espèce signifie que cette dernière est présente dans la liste des EEE préoccupantes pour l'Union européenne.

Concernant les invertébrés, la plupart des coûts sont attribués aux insectes et principalement à huit espèces : le moustique *Aedes aegypti*, le Moustique tigre (*Aedes albopictus*), le Frelon asiatique (*Vespa velutina*), et plus spécifiquement pour les outre-mer, la Fourmi folle jaune (*Anoplolepis gracilipes*), l'Abeille européenne (*Apis mellifera*), l'Hispine du cocotier (*Brontispa longissima*), la Mouche des fruits de Queensland (*Bactrocera tryoni*) et la Petite fourmi électrique (*Wasmannia auropunctata*).

Parmi ces espèces, treize coûtaient plus d'un million d'euros (Figure 13). Ces dernières comprennent quatre invertébrés (le moustique *Aedes aegypti*, le Moustique tigre, le Frelon asiatique et l'Écrevisse de Louisiane (*Procambarus clarkii*)), quatre vertébrés (le chat domestique (*Felis catus*), la Grenouille taureau (*Lithobates catesbeianus*), les rats (*Rattus sp.*) et le Cerf rusa (*Rusa timorensis*)) et cinq plantes (le Lagarosiphon majeur (*Lagarosiphon major*), les deux espèces de jussies exotiques, les deux espèces d'ambroisie et les renouées asiatiques). Ces espèces proviennent de tous les continents, à l'exception de l'Europe et de l'Océanie (Figure 14). Une fois arrivées en France, certaines espèces se sont échappées (ex : l'Écrevisse de Louisiane, la Grenouille taureau, les Jussies), d'autres ont été volontairement introduites (le Cerf rusa et le chat). Enfin, le Frelon asiatique et le Moustique tigre ont été introduits accidentellement à travers l'import de marchandises (Figure 14).

L'Ambroisie à feuilles d'armoise représente à elle seule 43% des coûts totaux et est suivie par le moustique *Aedes aegypti* avec 26% et le moustique tigre, qui en représente 10%. Ces trois espèces représentent presque 80% des coûts estimés au niveau national. Or, près de la moitié de ces espèces ne sont pour l'instant pas répertoriées dans la liste des EEE préoccupantes pour l'Union européenne (Figure 11). De plus, les coûts de ces espèces se portent sur de multiples secteurs à la fois, en particulier l'agriculture et la santé. Enfin, 89% des coûts enregistrés pour ces espèces sont dus aux dommages qu'elles occasionnent, avec donc très peu de dépenses d'investissement pour contrer les invasions biologiques.

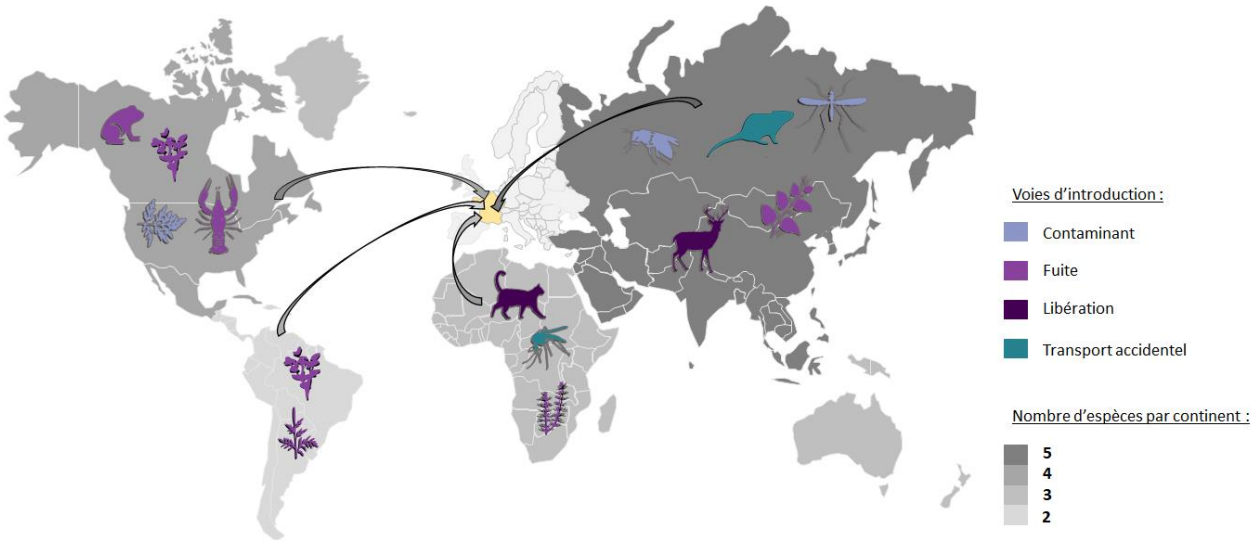


Figure 14 : Aires d'origines et voies d'introduction des espèces les plus coûteuses en France (> 1 million d'euros). Les icônes représentent (de gauche à droite puis de bas en haut) : En Amérique du Nord, la Grenouille taureau, la Jussie, l'Ambroisie à feuille d'armoise et l'Écrevisse de Louisiane ; En Amérique du Sud, la Jussie et l'Ambroisie à épis lisses ; en Afrique, le chat, le moustique Aedes aegypti et le Lagarosiphon majeur ; En Asie, le Frelon asiatique, les Rats, le Moustique tigre, le Cerf rusa et les Renouées asiatiques. Les nuances de gris des continents indiquent le nombre d'EEE qui en proviennent, et la couleur des icônes indique la nature des voies principales d'introduction de ces dernières.

3.7 Espèces à surveiller

Ici nous présentons quelques exemples d'EEE déjà envahissantes dans d'autres pays et présentant des coûts importants déjà observés, et qui pourraient causer de véritables dégâts si elles parvenaient à s'établir en France. Il est important de noter qu'il ne s'agit ni d'une liste exhaustive, ni d'une évaluation précise des EEE présentant un risque d'invasion avec impact économique majeur en France. Par exemple, certaines espèces exotiques déjà présentes ou commercialisées en France sont susceptibles d'occasionner des coûts majeurs, mais ne sont pas évaluées ici par manque de données. L'évaluation exhaustive des espèces exotiques à risque nécessiterait un programme de recherche dédié.

La figure 15 montre les EEE les plus coûteuses (coûts totaux) recensées dans la base InvaCost qui ne sont pas encore arrivées en France mais qui pourraient occasionner des coûts importants si elles parvenaient à s'y établir. La Noctuelle de la tomate, originaire d'Asie, est l'espèce la plus coûteuse avec 87,4 milliards d'euros dépensés entre 1993 et 2018. Ses larves arrivent via les transports agricoles. Une fois installées, elles s'attaquent aux cultures de tomates et de maïs. La plupart des EEE affectent plusieurs secteurs d'activités. C'est le cas de la Fourmi de feu, de l'Argile du frêne, du Termite de Formose ou du Serpent arboricole brun.

En particulier, le termite peut impacter 4 secteurs d'activités : la foresterie (impacte les arbres), l'environnement (espèce compétitrice), les organisations publiques ou privées (ex, impacte les infrastructures) et les biens communs (ex, impacte les maisons). Certaines espèces déjà présentes dans certaines régions de France (comme l'arbre Niaouli) devraient être surveillées afin qu'elles n'étendent pas leur invasion à d'autres régions.

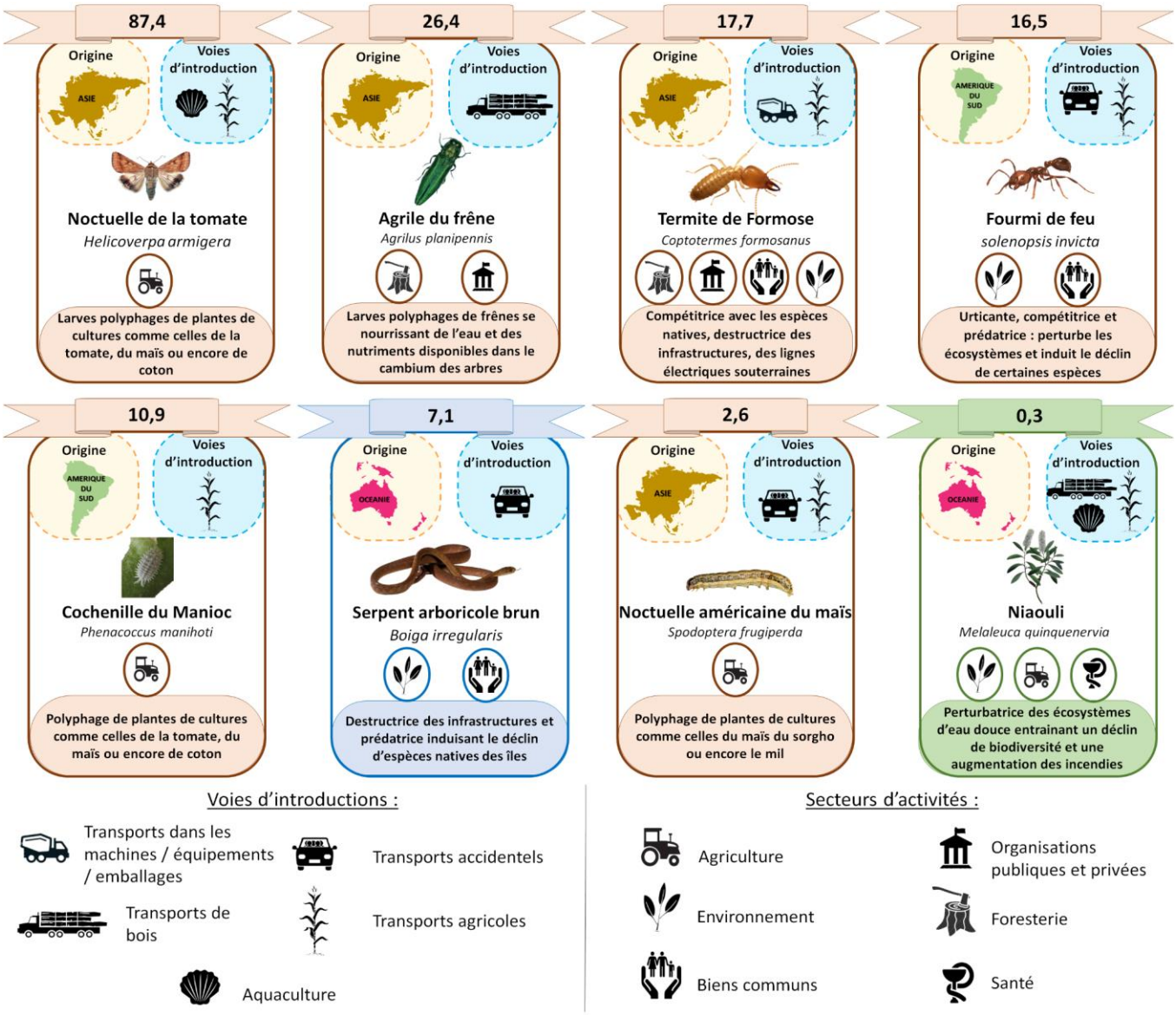


Figure 15 : Espèces non introduites à surveiller en priorité. Illustration de 8 espèces ayant un coût économique important (en milliards d'euros) dans le monde mais n'étant pas encore présentes en France, et qu'il serait par conséquent important de surveiller afin de prévenir une invasion éventuelle, qui pourrait être très coûteuse. Chaque carte indique l'espèce au centre, la région d'origine et la voie d'introduction principale en haut, le ou les secteurs d'activité typiquement impactés en dessous, et une courte description en bas. Les icônes des voies d'introductions et des secteurs d'activité sont reprises sous les 8 cartes. Le Niaouli est déjà envahissant en Guyane mais est présenté à titre d'exemple d'espèces pouvant envahir d'autres régions de France.

4. Discussion et recommandations

4.1 Des coûts importants mais très sous-estimés

Les coûts reportés dans ce rapport ne représentent qu'une faible proportion des coûts réels des invasions biologiques en France : la partie infime des coûts qui a déjà fait l'objet d'une quantification publiée et récoltée dans InvaCost (Figure 16). Bien que ces coûts soient importants, il ne s'agit pourtant que de la partie émergée de l'iceberg, pour cinq raisons principales.

Premièrement, les coûts reportés sont ceux déjà estimés dans la littérature scientifique et représentent donc une faible proportion du nombre de coûts existants. D'une part, il existe une quantité inconnue, sûrement importante de coûts déjà estimés, mais non identifiés dans la littérature et donc non pris en compte ici. De plus, de nombreuses invasions ne sont pas étudiées : nos chiffres montrent notamment que près de 90% des espèces exotiques recensées en France par GRIIS et GISD (Global Invasive Species Database) ne présentent pas de coûts dans la base de données Invacost. Les espèces pour lesquelles des coûts existent n'ont certainement pas été étudiées exhaustivement, que ce soit au niveau géographique (souvent une seule région avec un coût alors que plusieurs sont envahies) ou au niveau des secteurs d'activité impactés. Le fait qu'il n'existe pas de coûts dans la littérature ne veut évidemment pas dire que ces coûts n'existent pas, et certains peuvent être très importants.

Deuxièmement, nous n'avons analysé qu'une partie des coûts répertoriés, car nos études de coûts économiques ont été réalisées de manière très conservatrice, c'est-à-dire en prenant en compte uniquement les données les

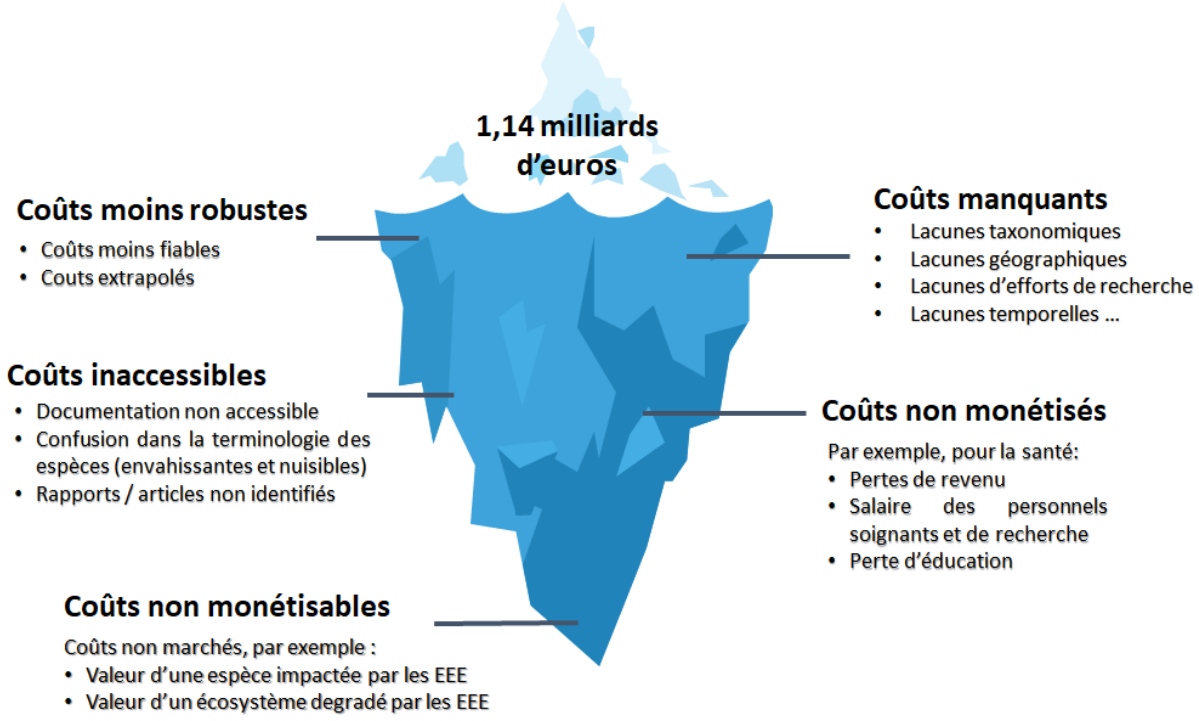


Figure 16 : les cinq différentes catégories de sous-estimation des coûts. Chacune de ces catégories est illustrée par quelques exemples. L'estimation des coûts cumulés en prenant également en compte les données moins robustes porte le coût cumulé de 1,14 milliards à 10,2 milliards d'euros pendant la même période. Il est impossible d'estimer les coûts inaccessibles, manquants, non monétisés ou non monétisables, mais il est certain que les coûts estimés ici sont une très grande sous estimation des coûts réels, la proverbiale pointe émergée de l'iceberg.

plus robustes : fiables et observées (Figure 3). En effet, de nombreuses données ou leur méthode d'obtention n'étaient pas assez détaillées pour être reproductibles et nous avons fait le choix, à l'instar des auteurs des études mondiales[42] et française[19] consacrées, de ne pas les comprendre dans nos analyses. La différence de facteur dix des coûts entre les données potentielles (10.2 milliards) et les données gardées ici (1.2 milliards) montre que les coûts réels sont bien largement supérieurs aux coûts mis en avant dans ce rapport.

Troisièmement, la quantification monétaire des dommages causés par les invasions peut s'avérer compliquée lorsque l'impact est principalement environnemental ou sanitaire. Il est par exemple difficile de connaître le coût de la perte de pollinisation (service écosystémique) due à l'invasion du Frelon asiatique ou celui de la perte de production due à des arrêts de travail suite à des allergies ou maladies véhiculées par des EEE. Certains impacts sont quant à eux philosophiquement difficilement monétisables. Par exemple, il est difficile de connaître le coût d'une espèce menacée, ou celui d'un écosystème envahi par une EEE.

Quatrièmement, la disparité des efforts de recherche à plusieurs échelles induit un déséquilibre et masque la réalité des coûts. A l'échelle nationale, les priorités de recherche peuvent influencer les efforts d'acquisition de connaissances (certains groupes étant sous-étudiés : invertébrés, faune du sol, champignons...) et par conséquent la valeur totale des coûts. En l'occurrence, les coûts des différents secteurs d'activités mais aussi les groupes taxonomiques étudiés sont fortement conditionnés par ces priorités. La base de données InvaCost montre que les études de coûts en France semblent avoir principalement été centrées sur les plantes et les insectes, ces derniers impactant les secteurs de l'agriculture et de la santé. Chez les insectes, les coûts sont principalement associés aux moustiques tigres (Aedes spp.), en raison de leurs agents pathogènes et des maladies associées (la dengue, le zika et le chikungunya). L'expansion de ces derniers en raison du changement climatique[61] pourrait fortement augmenter la valeur de leurs coûts associés puisqu'ils peuvent impacter d'autres secteurs comme les activités de loisirs (e.g. dans les plans d'eau) et de tourisme. Chez les plantes, les coûts documentés sont principalement liés aux ambroisies. En effet, les pollens produits par ces différentes espèces, et plus particulièrement par l'ambroisie à feuille d'armoise, provoquent des allergies[62]. En l'occurrence, les populations de la région Auvergne-Rhône-Alpes sont particulièrement menacées par les pollens produits par la plante avec une sensibilité des habitants à ces derniers de plus en plus forte (de 5% en 1980 à environ 13% en 2014 ; ORS Rhône-Alpes 2017). De plus, les ambroisies induisent également des pertes de rendements en envahissant les cultures. Cependant, il existe bien d'autres EEE très coûteuses que les moustiques et les ambroisies, mais les études de coûts se sont historiquement focalisées sur ces espèces, sous-estimant ainsi l'importance des autres espèces. Rappelons que des coûts ont été publiés sur moins de 10% des EEE en France, ce qui illustre bien la sous-estimation actuelle des coûts globaux. De même, il existe des biais géographiques, avec des régions mieux renseignées que d'autres. L'implication dans la gestion des EEE n'a pas la même importance en fonction des régions. Les régions qui se préoccupent plus des EEE présentent à la fois des coûts supérieurs mais également plus de données chiffrées disponibles, et en conséquence affichent des valeurs de coûts plus élevées. Une partie de la différence des coûts entre les différentes régions vient donc d'un manque d'information dans certaines d'entre elles, et non pas de coûts moindres. Si toutes les régions faisaient un effort de recensement de leurs coûts et dépenses de la même qualité que les régions les plus vigilantes sur ce thème, le coût global estimé en France serait moins sous-estimé.

Cinquièmement, il existe un décalage de plusieurs décennies entre l'introduction d'une EEE et l'apparition des premiers impacts[63], ainsi qu'un décalage de plusieurs années entre l'apparition d'un coût, son enregistrement et sa publication[64]. L'augmentation globale du nombre de coûts relève d'une augmentation du nombre d'invasions d'une part, et dans une moindre mesure de celle de la prise de conscience des impacts des invasions biologiques (ex. à l'initiative du rapport européen publié par Kettunen et coll.[39] et de l'objectif 9 d'Aichi pour la biodiversité la période 2011-2020 (https://www.cbd.int/sp/targets/rationale/target-9/)). Il est donc clair que les coûts répertoriés aujourd'hui ne représentent qu'une fraction des coûts répertoriables, et que ceux-ci seront complétés dans les années et décennies à venir.

A noter que dans de rares cas, certaines EEE apportent aussi des bénéfices écologiques ou économiques. Par exemple, dans les écosystèmes aquatiques, on note que certaines EEE ont un intérêt récréatif, comme le Cygne tuberculé (*Cygnus olor*) dans la baie de Chesapeake[65] ou la Perruche à collier dans les zones urbaines européennes[66][67]. Certaines EEE peuvent avoir une valeur commerciale comme certaines espèces de moules, de crabes et d'écrevisses ou de poissons dans la baie de San Francisco[68]. Dans de nombreux pays, certains arbres comme les eucalyptus ou les pins sont plantés pour la production de bois et de résine et pour leur rôle de brise-vent[69–71]; plusieurs espèces de Prosopis ont été introduites en Afrique du Sud pour leur capacité à produire du fourrage et de l'ombre pour le bétail ainsi que du bois de chauffage[66]. En milieu d'eau douce enfin, plusieurs espèces de poissons exotiques envahissants ont une valeur touristique et commerciale, notamment pour la pêche sportive en Amérique du Nord[72]. Ces bénéfices restent cependant bien inférieurs aux coûts, de plusieurs ordres de grandeur[68].

4.2 Recommandations

L'ensemble des résultats de ce rapport permet d'avancer un certain nombre de recommandations, sur plusieurs plans distincts, allant d'une meilleure compréhension des invasions et de leurs coûts à une meilleure sensibilisation et à la mise en place d'une réelle politique de prévention et de gestion des invasions biologiques. Ces recommandations sont résumées dans la Figure 17.

4.2.1 Recommandations générales

4.2.1.1 La recherche concertée comme premier rempart

Accroître les efforts de recherches sur les invasions biologiques est crucial pour mieux connaître, évaluer et anticiper leurs impacts. La variété de ces impacts couplée à la complexité de mise en œuvre des recommandations de recherche nécessite des approches interdisciplinaires et intersectorielles - encore trop rares - impliquant des écologues, économistes, analystes, sociologues et porteurs d'enjeux (ex. gestionnaires de la biodiversité). Cette vision concertée de la recherche est indispensable pour appréhender ces impacts sous toutes leurs dimensions, développer des scénarios pour mieux anticiper et se préparer, mais aussi comprendre les mécanismes de perception et réponses des acteurs et décideurs concernés.

Par ailleurs, il est indispensable de soutenir et renforcer les programmes de détection précoce et de suivi des espèces exotiques, pour enclencher une réponse rapide et efficiente dès les premiers signaux d'impacts négatifs (voir plus bas). Quelques programmes existent déjà mais sont clairement insuffisants par rapport à l'ampleur du phénomène. De plus, les programmes existants manquent cruellement de ressources pour couvrir le rythme des introductions actuelles ou nous adapter aux espèces déjà introduites. Ils restent pour le moment limités à certaines espèces et à un réseau restreint d'acteurs. Enfin, les programmes de surveillance détection précoce (par la science participative notam-

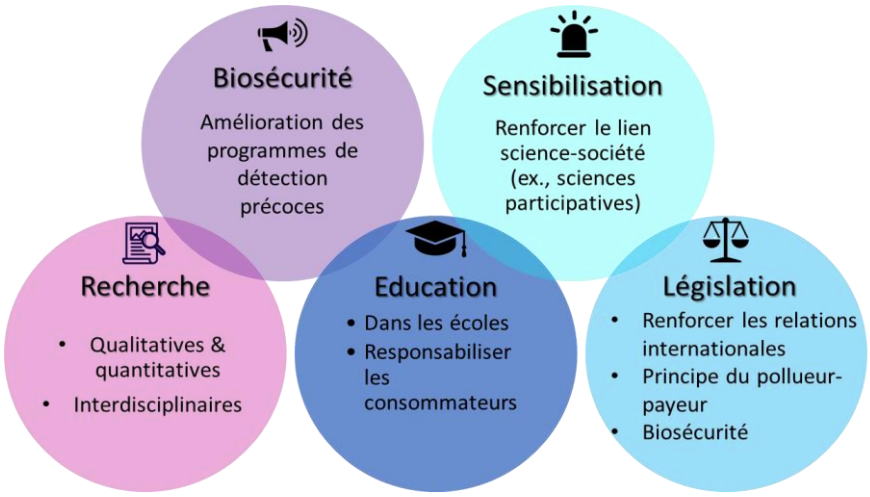


Figure 17 : Principales recommandations, pour réduire les invasions biologiques, leurs impacts écologiques et sanitaires et leurs coûts économiques. Les cinq catégories ne sont pas placées dans un ordre particulier.

ment) et réponse rapide sur les invasions biologiques développés par l'Union européenne tels que le réseau européen d'information sur les espèces exotiques (EASIN) ne sont pas suffisamment utilisés/exploités par les pays membres, dont la France.

4.2.1.2 La prévention à l'échelle individuelle par l'éducation

Accroître la prise de conscience du grand public et des acteurs privés et publics sur les invasions biologiques est essentiel. Il s'agit d'une des causes principales de perte de biodiversité et elles génèrent des coûts sanitaires et économiques considérables, pourtant restent méconnues en France. Il est nécessaire de persévérer dans la diffusion de la science vers toutes les composantes de nos sociétés. Tout d'abord, les changements globaux sont enseignés depuis 2015 au collège, mais partiellement, en se limitant essentiellement au changement climatique qui n'est que l'un des cinq facteurs de changement global. Enseigner les autres facteurs, tels que les invasions biologiques apparaît donc nécessaire, d'autant plus qu'il existe des connexions étroites, voire synergiques, entre tous ces facteurs.

Ensuite, il est crucial de sensibiliser les acteurs publics et privés, qu'ils soient responsables volontairement ou involontairement de la translocation d'organismes vivants à l'échelle internationale/régionale (ex. activités liées au commerce ou à l'élevage), et/ou victimes de leurs effets (ex. agriculteurs). Enfin, il est évidemment fondamental de sensibiliser le grand public via les divers canaux médiatiques. Responsabiliser les consommateurs par l'information sur l'origine et les risques des organismes qu'ils achètent, par exemple dans le commerce de plantes ornementales ou d'animaux exotiques de compagnie (poissons, oiseaux, écureuils, etc), serait un excellent moyen de réduire les risques d'introduction incontrôlée dans la nature.

Dans ce contexte, renforcer les ponts entre science et société est donc un élément clé. Ces ponts passent entre autres par (i) la formalisation de réseaux intersectoriels dédiés à la recherche et la gestion des invasions biologiques, (ii) la réalisation d'ateliers de discussions et formations ponctuelles et continues ou encore (iii) le développement de programmes de sciences participatives qui représentent un atout majeur de par leur triple rôle pédagogique (ex. sensibilisation de masse sur la problématique des invasions), scientifique (ex. acquisition de grands corpus de données socio-écologiques) et de gestion (ex. implication des citoyens dans la prévention). De telles connexions renforcées auraient nécessairement des applications sociétales directes et implémentables. Une illustration est la genèse et la diffusion la plus large possibles (aux professionnels de l'agriculture et des douanes, par exemple) de listes d'espèces exotiques à surveiller car étant actuellement problématiques ou suspectées d'être introduites sur le territoire. Si la nécessité de ces approches fait de plus en plus consensus dans la communauté scientifique, la question des ressources mobilisées par les décideurs revient encore ici comme le facteur déterminant. Par exemple, on peut noter que le budget annuel consacré aux EEE par le Ministère de la transition écologique en France n'est que de 1 million d'euros, à comparer avec les coûts de ces invasions détaillés dans ce rapport. Nous soulignons donc ici l'impérativité de l'implication de nos décideurs pour arriver à une gestion concertée et efficiente de ces invasions biologiques.

4.2.1.3 Une réponse législative proportionnelle aux impacts

Malgré l'augmentation des règlements et cadres nationaux et internationaux pour lutter contre les invasions biologiques, l'ampleur de leurs dégâts ne cesse de s'intensifier, ce qui suggère que ces législations demeurent insuffisantes. Nous discutons ici des principales réponses légales qui peuvent être envisagées pour contrer efficacement les invasions biologiques. Premièrement, il faut d'une part renforcer les listes noires d'EEE réglementées (négatives) en les mettant à jour rapidement une fois les impacts avérés, et d'autre part envisager de changer de paradigme légal vers des listes blanches (ou positives). C'est-à-dire que l'introduction délibérée de nouvelles espèces exotiques doit être préalablement autorisée sur la base d'une évaluation des risques d'invasion, évaluation scientifique qui devrait être à la charge de l'importateur. Ce processus, appelé le déplacement du fardeau de la preuve (des scientifiques vers les acteurs des invasions) est indispensable. Dans ce cadre, il est urgent de créer une liste d'EEE en France (métropolitaine et d'Outre-mer), validée scientifiquement et communiquée largement.

Deuxièmement, il s'agirait d'imposer la responsabilité des invasions aux acteurs susceptibles de les causer, en les soumettant à des

obligations de dispositions de mesures préventives (biosécurité), de surveillance, et si besoin de restauration des milieux impactés. De fait, la responsabilité des auteurs des introductions - résultant d'un manquement volontaire à l'étape précédente - doit être engagée pénalement à des fins de dissuasion. En effet, les données disponibles suggèrent que les victimes des répercussions des invasions ne sont généralement pas les responsables des introductions. Les coûts des invasions sont en effet principalement dus à des actions individuelles (industries, personnes), mais sont subis et payés par l'ensemble des citoyens, directement ou indirectement, par la répercussion des coûts des dégâts et des pertes ou par le coût des mesures de gestion. Il s'agit donc là de l'extension logique du principe pollueur-payeur.

Troisièmement, il est essentiel de réaliser que la biosécurité, qui consiste en l'interception des espèces exotiques avant leur introduction, est l'outil le plus efficace et le plus économique pour lutter contre les impacts des invasions biologiques. Certains pays sévèrement touchés par les invasions comme la Nouvelle-Zélande, l'Australie ou les États-Unis ont mis en place des protocoles de biosécurité très efficaces, aussi bien vis-à-vis du tourisme que du commerce international. Ces mesures de biosécurité nécessitent des personnels experts conséquents, par exemple pour la mise en œuvre des protocoles de surveillance, quarantaine et désinfection ; cependant, ils présentent une assurance et un bénéfice net très important par rapport aux coûts de dégâts et gestion des invasions, qui sont excessivement plus élevés.

En France, ce cadre légal et ces mesures de biosécurité apparaissent encore déficients. Les systèmes insulaires étant encore plus fragiles face aux invasions que les systèmes continentaux, des mesures de biosécurité renforcées devraient être particulièrement mises en place dans les territoires d'Outre-mer insulaires français, y compris pour les déplacements entre territoires ultra-marins.

4.2.2 Recommandations spécifiques aux coûts économiques des EEE

Au-delà de ces recommandations générales sur les invasions biologiques, qui confortent et complètent celles produites dans d'autres documents[73–76], cette synthèse met en lumière des besoins propres aux coûts économiques engendrés par les invasions biologiques. Ils sont au nombre de trois :

4.2.2.1 Un besoin de plus et de meilleures données de coûts

En tout premier lieu, cette synthèse souligne l'absence importante de données de coûts des invasions, dans l'absolu et par rapport à d'autres pays[16]. Ces données en France sont encore rares, parcellaires et difficilement accessibles lorsqu'elles existent, ce qui se traduit par une sous-estimation importante du coût réel occasionné par ces invasions. De plus, une proportion importante des données existantes ne fournit pas toutes les précisions nécessaires (méthode d'estimation des coûts, secteur d'activité touché ou EEE concernée entre autres) ce qui limite leur utilisation. La présentation des coûts tels qu'ils devraient être rapportés, avec les différents descripteurs nécessaires, est détaillée dans Diagne et al.[16]. Cet effort d'acquisition de données économiques va au-delà de la seule communauté des chercheurs et implique l'ensemble des acteurs et secteurs concernés : gestionnaires d'espaces naturels, services de l'État et des collectivités, acteurs économiques, associations, etc. Notamment, les gestionnaires, les organisations publiques et privées et les associations impliquées dans la gestion des EEE pourraient mieux compiler et valoriser les données dont ils disposent, et celles à venir, sur les coûts économiques de leurs actions. La base de données développée par InvaCost est un outil public auquel chacun peut contribuer en transmettant de nouvelles données (à update@invacost.fr, ou sur www.invacost.fr).

4.2.2.2 Investir dans la gestion proactive

Un investissement économique adéquat pourrait permettre d'économiser des dizaines ou des centaines de fois ces dépenses de gestion en limitant les coûts de pertes et de dégâts, qui sont bien plus importants. Les études empiriques comme théoriques montrent clairement d'une part que les sommes de gestion sont bien moins importantes que celles des pertes et dégâts, et d'autre part qu'au sein de la gestion, plus les actions sont initiées tôt, plus elles sont efficaces (et donc moins coûteuses). La surveillance, la détection précoce et la réaction rapide sont la deuxième ligne de défense après la prévention qui vise à limiter les importations et les introductions d'EEE par la réglementation, la sensibilisation

et le contrôle des voies d'introduction. Un système de surveillance efficace et efficient permettant la détection précoce d'une espèce exotique potentiellement envahissante peut faire basculer la situation d'une stratégie défensive, qui elle nécessite un investissement financier important sur le long terme, coûts dix à cents fois plus importants des dégâts et des pertes. Ces considérations sont illustrées par la courbe d'invasion, Figure 18. Enfin, la gestion des invasions biologiques se fait généralement espèce par espèce alors qu'elle devrait plutôt être intégrée aux politiques et programmes de développement l'introduction d'EEE, limiter leur diffusion et atténuer leurs impacts. Malgré des progrès réalisés, certaines actions pourtant prioritaires ne sont toujours pas mises en œuvre, comme la hiérarchisation des voies d'introductions et leur contrôle, ou la mise en place d'un réseau de surveillance structuré à

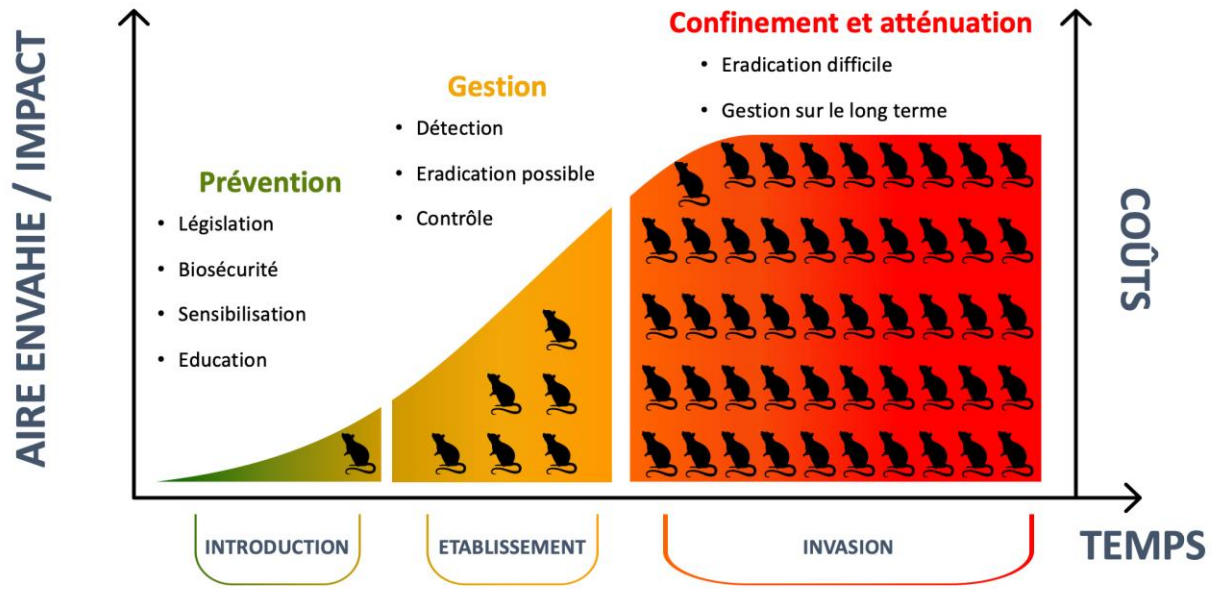


Figure 18 : Courbe d'invasion, illustrant que l'aire envahie par les EEE, mais aussi leurs impacts, suivent une progression logistique : lente au début, puis s'accélérant exponentiellement jusqu'à un plateau. La phase initiale, associée à l'introduction, a des impacts négligeables, sur une surface négligeable, et est propice aux actions de gestion préventive. La phase suivante, d'établissement et de dissémination nécessite des efforts de gestion réactive croissants. Finalement, une fois l'invasion installée, les seules actions possibles de gestion sont très coûteuses et peu efficaces, et les impacts sont maximums. En conséquence, les coûts économiques à la fois de gestion et d'impacts suivent cette même progression, démontrant la nécessité de réagir le plus rapidement possible après une invasion.

vers une stratégie plus offensive susceptible de résoudre la situation rapidement en limitant d'une part les impacts et d'autre part les coûts de gestion. De fait, les actions proactives (biosécurité, surveillance, détection et intervention rapide) nécessitent de créer un budget, former des personnels et mettre en place une infrastructure afin d'éviter les coûts bien supérieurs de la gestion réactive, et les durable, d'aménagement du territoire, de gestion des transports et du milieu marin[73].

4.2.2.3 Accélérer la mise en œuvre du règlement européen et de la stratégie nationale

Le règlement européen sur les EEE oblige les États membres, dont la France, à mettre en œuvre différentes actions pour prévenir l'échelle national. Pourtant, une gestion proactive efficace implique une bonne connaissance et une bonne maîtrise des voies d'introductions principales des EEE dans les territoires d'Outre-mer et métropolitains. L'introduction de nombreuses espèces à travers les marchandises (Figure 8) reflète ainsi un manque de contrôle de ces espèces dès leur arrivée dans le pays[77], alors que cela pourrait être réalisé dans la plupart des cas par

des mesures simples de quarantaine ou de désinfection des matériels et des cargaisons[78]. Chaque pays ou territoire de l'Union européenne peut aussi être une source de nouvelles EEE pour d'autres régions ou pays partenaires commerciaux : les mesures de biosécurité sont donc également nécessaires au départ et non seulement à l'arrivée. La nature insulaire de la plupart des territoires d'Outre-mer, avec un nombre de points d'entrées limitées (ports et aéroports), permet a priori des contrôles d'entrées des EEE plus simples et efficaces. Ces mesures de biosécurité devraient y être priorisées pour prévenir la disparition d'espèces endémiques vivant uniquement sur ces territoires, où la biodiversité est plus riche[79].

Serpent arboricole brun
Boiga irregularis

5. Conclusion

Ce rapport met en évidence des coûts alarmants principalement liés aux dommages des EEE, le manque d'investissement pour la gestion de ces invasions, et des lacunes dans les données et connaissances sur ces impacts économiques. La recherche en science des invasions montre sans ambiguïté la nécessité de surveiller et prévenir les nouvelles invasions, d'améliorer considérablement la sensibilisation du/communication avec le public, mais aussi de fournir aux gestionnaires des informations et moyens complémentaires pour mieux prioriser et gérer les espèces déjà envahissantes en France.

Malheureusement, l'expansion géographique d'EEE en France s'accélère, en raison d'un commerce international croissant, de la dégradation des milieux naturels et du réchauffement climatique rapide qui permettent à ces espèces de conquérir de nouveaux territoires[6,80]. L'augmentation prédite des invasions biologiques[81] entraînera une exacerbation des coûts économiques[16].

Ces coûts économiques ne représentent que la face cachée d'un iceberg dont le montant total est aujourd'hui inquantifiable tant la diversité et l'ampleur des coûts économiques liés aux invasions sont importantes.

Il reste que, pour autant élevés qu'ils soient, ces impacts économiques ne représentent qu'une facette des conséquences néfastes des invasions biologiques sur les écosystèmes, les menaces sur la biodiversité étant la raison principale d'inquiétude. Nos sociétés ont néanmoins les clés pour lutter contre ce fardeau : n'oublions pas que le problème n'incombe pas aux espèces déplacées, mais plutôt à nos activités qui causent ces déplacements, sur lesquelles nous avons de nombreux leviers d'action.

6. Bibliographie

1. Mooney, H. A. & Cleland, E. E. The evolutionary impact of invasive species. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **98**, 5446–5451 (2001).

2. Chapman, D., Purse, B. V., Roy, H. E. & Bullock, J. M. Global trade networks determine the distribution of invasive non-native species. *Glob. Ecol. Biogeogr.* **26**, 907–917 (2017).

3. Hulme, P. E. Trade, transport and trouble: Managing invasive species pathways in an era of globalization. *J. Appl. Ecol.* **46**, 10–18 (2009).

4. Essl, F. *et al.* Drivers of future alien species impacts: An expert-based assessment. *Glob. Chang. Biol.* **26**, 4880–4893 (2020).

5. Seebens, H. *et al.* No saturation in the accumulation of alien species worldwide. *Nat. Commun.* **8**, 1–9 (2017).

6. Seebens, H. Invasion Ecology: Expanding Trade and the Dispersal of Alien Species. *Curr. Biol.* **29**, R120–R122 (2019).

7. IPBES. *Le rapport de l'évaluation mondiale de la IPBES*. (2019).

8. Vié, Jean-Christophe, Hilton Taylor, Craig, Stuart, S. *Wildlife in a changing world. Wildlife in a changing world* (2008). doi:10.2305/iucn.ch.2009.17.en.

9. UICN. La Liste rouge de l'UICN des espèces menacées. www.iucnredlist.org (2014).

10. Clavero, M. & Garcia-Berthou., E. Invasive species are a leading cause of animal extinctions. Trends in Ecology and Evolution. *Trends Ecol. Evol.* **19**, 17071 (2005).

11. Ogden, N. H. *et al.* Emerging infectious diseases and biological invasions: A call for a One Health collaboration in science and management. *R. Soc. Open Sci.* **6**, (2019).

12. Young, H. S., Parker, I. M., Gilbert, G. S., Sofia Guerra, A. & Nunn, C. L. Introduced Species, Disease Ecology, and Biodiversity–Disease Relationships. *Trends Ecol. Evol.* **32**, 41–54 (2017).

13. Chalkowski, K., Lepczyk, C. A. & Zohdy, S. Parasite Ecology of Invasive Species: Conceptual Framework and New Hypotheses. *Trends Parasitol.* **34**, 655–663 (2018).

14. Paini, D. R. *et al.* Global threat to agriculture from invasive species. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **113**, 7575–7579 (2016).

15. Bradshaw, C. J. A. *et al.* Massive yet grossly underestimated global costs of invasive insects. *Nat. Commun.* **7**, (2016).

16. Diagne, C. *et al.* High and rising economic costs of biological invasions worldwide. *Nature* doi:592, 571–576 (2021).

17. Pergl, J. *et al.* Troubling travellers: Are ecologically harmful alien species associated with particular introduction pathways? *NeoBiota* **32**, 1–20 (2017).

18. Turbelin, A. J., *et al.*. Species on the move : Stowaways and contaminants cause the greatest economic impacts. *Biol. Invasions*. En révision.

19. Renault, D. *et al.* Biological invasions in France: Alarming costs and even more alarming knowledge gaps. *NeoBiota* **67**, 191–224 (2021).

20. Touroult, J., Witté, I. & Thévenot, J. Construction d'un indicateur d'évolution de la distribution des espèces exotiques envahissantes en France métropolitaine. *Rapp. SPN 2016 - 90* 1–20 (2016).

21. Nature France. Nombre d'espèces en outremer parmi les plus envahissantes au monde. https://naturefrance.fr/indicateurs/nombre-despeces-en-outremer-parmi-les-plus-envahissantes-au-monde (2016).

22. Léger, F. Le Vison d'Amérique : Mustela vison Schreber, 1777. *Évolution holocène la faune Vertébrés Fr. invasions disparitions* 284–286 (2003).

23. MaCdonald, D. W. & Harrington, L. A. The american mink: The triumph and tragedy of adaptation out of context. *New Zeal. J. Zool.* **30**, 421–441 (2003).

24. Schüttler, E., Klenke, R., McGehee, S., Rozzi, R. & Jax, K. Vulnerability of ground-nesting waterbirds to predation by invasive

American mink in the Cape Horn Biosphere Reserve, Chile. *Biol. Conserv.* **142**, 1450–1460 (2009).

25. Barrai, J., Richomme, C. & Moinet, M. The accidental release of exotic species from breeding colonies and zoological collections. *OIE Rev. Sci. Tech.* **29**, 113–122 (2010).

26. Anses. AVIS Relatif au rôle épidémiologique éven-tuel de certaines espèces animales dans le maintien et la propagation du virus SARS–CoV–2. *Autosaisine* **nº2020–SA**–, (2020).

27. Delaunay, P. *et al.* Aedes albopictus en France métropolitaine. *Ann. Dermatol. Venereol.* **139**, 396–401 (2012).

28. Schaffner, F., Medlock, J. M. & Van Bortel, W. Public health significance of invasive mosquitoes in Europe. *Clin. Microbiol. Infect.* **19**, 685–692 (2013).

29. Vega-Rua, A. *et al.* High Efficiency of Temperate Aedes albopictus to Transmit Chikungunya and Dengue Viruses in the Southeast of France. *PLoS One* **8**, 1–8 (2013).

30. Amraoui, F. *et al.* Experimental Adaptation of the Yellow Fever Virus to the Mosquito Aedes albopictus and Potential risk of urban epidemics in Brazil, South America. *Sci. Rep.* **8**, 4–11 (2018).

31. Lowe, S., Browne, M., S, B. & De Poorter, M. 100 of the world's worst invasive alien species: a selection from the global invasive species database. **12**, (2000).

32. Meyer, J.-Y. & Florence, J. Tahiti's native flora endangered by the invasion of Miconia calvescens DC. (Melastomataceae). *J. Biogeogr.* **23: 775-78**, (1996).

33. González-Muñoz, N., Bellard, C., Leclerc, C., Meyer, J. Y. & Courchamp, F. Assessing current and future risks of invasion by the "green cancer" Miconia calvescens. *Biol. Invasions* **17**, 3337–3350 (2015).

34. Courchamp, F. *et al.* Invasion Biology: Specific Problems and Possible Solutions. *Trends Ecol. Evol.* **32**, 13–22 (2017).

35. Piria, M. *et al.* Tackling invasive alien species in Europe II: Threats and opportunities until 2020. *Manag. Biol. Invasions* **8**, 273–286 (2017).

36. Simberloff, D. *et al.* Impacts of biological invasions: What's what and the way forward. *Trends Ecol. Evol.* **28**, 58–66 (2013).

37. Mazza, G., Tricarico, E., Genovesi, P. & Gherardi, F. Biological invaders are threats to human health: An overview. *Ethol. Ecol. Evol.* **26**, 112–129 (2014).

38. Bacher, S. *et al.* Socio-economic impact classification of alien taxa (SEICAT). *Methods Ecol. Evol.* **9**, 159–168 (2018).

39. Kettunen, M. *et al.* Technical support to EU strategy on invasive species (IAS) - Assessment of the impacts of IAS in Europe and the EU (final module report for the European Commission). *Inst. Eur. Environ. Policy* 44 (2008).

40. Pimentel, D., Zuniga, R. & Morrison, D. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecol. Econ.* **52**, 273–288 (2005).

41. Wittmann, A. & Flores-Ferrer, A. Analyse économique des espèces exotiques envahissantes en France Première enquête nationale (2009-2013). *Études Doc.* **130**, 1–132 (2015).

42. Diagne, C. *et al.* InvaCost, a public database of the economic costs of biological invasions worldwide. *Sci. Data* **7**, 1–12 (2020).

43. Diagne C, Leroy B, Gozlan RE, Vaissière A-C, Assailly C, Nuninger L, Roiz D, Jourdain F, Jaric I, C. F. InvaCost: References and description of economic cost estimates associated with biological invasions worldwide. *Figshare Dataset* (2020).

44. Genovesi, P. & Shine, C. *European Strategy on Invasive Alien Species. Nature and environment* vol. 161 (2004).

45. Williamson, M. & Fitter, A. The varying success of invaders. *Ecology* (1996) 77(6), 1661-1666.

46. Jeschke, J. M. *et al.* Defining the impact of non-native species. *Conserv. Biol.* **28**, 1188–1194 (2014).

47. Cuthbert, R. N. *et al.* Global economic costs of aquatic invasive alien species. *Sci. Total Environ.* **775**, (2021).

48. Cuthbert, R. N., Diagne, C., Haubrock, P. J., Turbelin, A. J. & Courchamp, F. Are the "100 of the world's worst" invasive species also the costliest? *Biol. Invasions* **7**, (2021).

49. Liu, C. *et al.* Economic costs of biological invasions in Asia. *NeoBiota* **67**, 53–78 (2021).

50. Diagne, C. *et al.* The economic costs of biological invasions in Africa: a growing but neglected threat? *NeoBiota* **67**, 11–51 (2021).

51. Haubrock, P. J. *et al.* Economic costs of invasive alien species across Europe. *NeoBiota* **67**, 153–190 (2021).

52. Crystal-Ornelas, R. *et al.* Economic costs of biological invasions within North America. *NeoBiota* **67**, 485–510 (2021).

53. Bradshaw, C. J. A. *et al.* Detailed assessment of the reported economic costs of invasive species in Australia. *NeoBiota* **67**, 511–550 (2021).

54. Heringer, G. *et al.* The economic costs of biological invasions in Central and South America: a first regional assessment. *NeoBiota* **67**, 401–426 (2021).

55. Pagad, S., Genovesi, P., Carnevali, L., Schigel, D. & McGeoch, M. A. Data Descriptor: Introducing the Global Register of Introduced and Invasive Species. *Sci. Data* **5**, 1–12 (2018).

56. Thevenot J, Albert A, Collas M, De Massary J, Dupont P, Masse C, Moutou F, Poulet N, Roques A, Souty-Grosset C, Vincent B, Wong L J, P. S. Global Register of Introduced and Invasive Species - France. *Invasive Species Spec. Gr. ISSG.* (2020).

57. Blackburn, T. M. *et al.* A proposed unified framework for biological invasions. *Trends Ecol. Evol.* **26**, 333–339 (2011).

58. Lehan, N. E., Murphy, J. R., Thorburn, L. P. & Bradley, B. A. Accidental introductions are an important source of invasive plants in the continental United States. *Am. J. Bot.* **100**, 1287–1293 (2013).

59. Essl, F. *et al.* Crossing Frontiers in Tackling Pathways of Biological Invasions. *Bioscience* **65**, 769–782 (2015).

60. Hulme, P. E. *et al.* Grasping at the routes of biological invasions: A framework for integrating pathways into policy. *J. Appl. Ecol.* **45**, 403–414 (2008).

61. Masters, G. & Norgrove, L. Climate change and Invasive alien species - CABI Position Paper. *Cabi* 0–31 (2009).

62. Chen, K. W., Marusciac, L., Tamas, P. T., Valenta, R. & Panaitescu, C. Ragweed Pollen Allergy: Burden, Characteristics, and Management of an Imported Allergen Source in Europe. *Int. Arch. Allergy Immunol.* **176**, 163–180 (2018).

63. Essl, F. *et al.* Socioeconomic legacy yields an invasion debt. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **108(1)**, **20**, (2011).

64. Leroy, Boris, Kramer Andrew M., Vaissière, Anne-Charlotte, Courchamp, Franck, Diagne, C. Analysing global economic costs of invasive alien species with the invacost R package. *Orphanet J. Rare Dis.* **21**, 1–9 (2020).

65. Barbier, E. B. & Shogren, J. F. Growth with endogenous risk of biological invasion. *Econ. Inq.* **42**, 587–601 (2004).

66. Wise, R. M., van Wilgen, B. W. & Le Maitre, D. C. Costs, benefits and management options for an invasive alien tree species: The case of mesquite in the Northern Cape, South Africa. *J. Arid Environ.* **84**, 80–90 (2012).

67. Jarić, I. *et al.* Crypticity in Biological Invasions. *Trends Ecol. Evol.* **34**, 291–302 (2019).

68. Kourantidou, M, Haubrock, P. J. *et al.* Invasive species as assets and liabilities: Trends, stakeholder perceptions and management. *Biol. Invasions*. En révision.

69. Woodford, D. J. *et al.* Confronting the wicked problem of managing biological invasions. *NeoBiota* **31**, 63–86 (2016).

70. Wyatt, S. Benefits and Costs of the Wilding Pine Management Programme Phase 2. 79 (2018).

71. Cronk, C. B. & Fuller., J. L. *Plant invaders: the threat to natural ecosys-tems.* (1995).

72. Phillip J.Haubrock et al. Knowledge gaps in economic costs of invasive alien fish worldwide. (2021). Science of The Total Environment. Available online 28 August 2021, 149875.

73. Soubeyran, Y. Espèces exotiques envahissantes dans les collectivités françaises d'outre-mer. Etat des lieux et recommandations. *Collect. Planète Nature. Com. français l'UICN, Paris, Fr.* (2008).

74. Comité français de l'UICN. *Espèces Exotiques Envahissantes Marines: Risques et défis pour les écosystèmes marins et littoraux des collectivités françaises d' outre-mer - État des lieux et recommandations*. (2019).

75. Muller, S. Stratégie nationale relative aux espèces exotiques envahissantes. *Ministère l'Environnement l'Energie la mer* 44 (2017).

76. Sarat, E. La biosécurité, indispensable levier pour prévenir les invasions biologiques des eaux continentales et marines. *Com. français l'UICN, Off. français la biodiversité Anim. Plant Heal. Agency. 6 pp.* (2020).

77. Faulkner, K. T., Robertson, M. P. & Wilson, J. R. U. Stronger regional biosecurity is essential to prevent hundreds of harmful biological invasions. *Glob. Chang. Biol.* **26**, 2449–2462 (2020).

78. Broome, K. DigitalCommons @ University of Nebraska - Lincoln ISLAND BIOSECURITY AS A PEST MANAGEMENT TACTIC IN NEW ZEALAND ISLAND BIOSECURITY AS A PEST MANAGEMENT TACTIC IN NEW ZEALAND. (2007).

79. Bellard, C., Cassey, P. & Blackburn, T. M. Alien species as a driver of recent extinctions. *Biol. Lett.* **12**, (2016).

80. Bacher, S. *et al.* Construction d'un indicateur d'évolution de la distribution des espèces exotiques envahissantes en France métropolitaine. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **92**, 1–73 (2017).

81. Seebens, H. *et al.* Global trade will accelerate plant invasions in emerging economies under climate change. *Glob. Chang. Biol.* **21**, 4128–4140 (2015).

De 1,1 à 10,2 milliards d'euros en 25 ans ! Voilà l'estimation des coûts économiques des invasions biologiques en France. En s'appuyant sur les résultats du programme de recherche InvaCost, ce rapport présente une nouvelle évaluation des coûts économiques des espèces exotiques envahissantes (EEE) en France. Il propose une analyse spécifique de ces coûts selon i) les différentes voies d'introductions des EEE, ii) les différentes régions françaises concernées, iii) les secteurs d'activités impactés et les types de coûts et iv) les différentes espèces impliquées. Les coûts en France sont également comparés avec ceux d'autres pays. Enfin, des recommandations sont présentées pour renforcer la prévention et l'anticipation des invasions biologiques.

Le projet **Invacost** est mené par le **CNRS**, le **MNHN** et l'**Université Paris-Saclay**. C'est un programme de recherche dédié à l'évaluation des coûts économiques des EEE et qui mobilise un réseau international d'économistes et d'écologues. Il constitue la compilation la plus complète des coûts économiques documentés des invasions biologiques dans le monde. Toutes les informations sont disponibles sur http://invacost.fr/