



RINSE

Targeting and Prioritisation for INS in the RINSE Project Area JUNE 2013

<p>"Investing in your future" Crossborder cooperation programme 2007-2013 Part-financed by the European Union (European Regional Development Fund)</p>	

Ciblage et hiérarchisation des EEE dans la région du projet RINSE

B. Gallardo, A. Zieritz et D.C. Aldridge

Juin 2013

CAMBRIDGE
CONSULTING ENVIRONNEMENTAL



Ciblage et hiérarchisation des EEE dans la région du projet RINSE

par

Belinda Gallardo, Alexandra Zieritz et David C. Aldridge



CAMBRIDGE
CONSULTING ENVIRONNEMENTAL

Juin 2013

Sommaire

RÉSUMÉ	8
1. INTRODUCTION	11
1.1 Approche et objectifs de l'étude.....	13
2. MÉTHODOLOGIE.....	15
2.1 Région d'étude	15
2.2 Registre des espèces EE.....	16
2.2.1 Registre général.....	16
2.2.2 Listes ciblées.....	22
2.2.3 Analyse des données.....	22
2.3 Analyse prospective des EEE.....	23
2.3.1 Hiérarchisation de la liste d'alerte.....	28
2.3.2 Hiérarchisation de la liste noire.....	29
2.4 Modélisation de la répartition des EEE.....	29
2.4.1 Collecte d'occurrence des espèces.....	31
2.4.2 Couches continentales.....	32
2.4.3 Couches marines.....	35
2.4.4 Approche de la modélisation.....	37
3. RÉSULTATS.....	39
3.1 Registre des espèces EE.....	39
3.1.1 Registre général.....	39
3.1.2 Listes ciblées.....	41
3.2 Les listes d'analyse prospective des EEE.....	46
3.2.1 La liste d'alerte des EEE.....	46
3.2.2 La liste noire des EEE.....	54
3.3 La modélisation de la répartition des EEE.....	57
3.3.1 Modélisation de la répartition potentielle des EEE d'alerte.....	57
3.3.1 Modélisation de la répartition potentielle des espèces de la liste noire.....	65
4. DISCUSSION.....	71
4.1 Registre des espèces exotiques.....	71
4.1.1 Répartition des espèces entre pays.....	71
4.1.2 Répartition des espèces à travers les embranchements et les environnements.....	73
4.1.3 Listes ciblées.....	74

4.1.4 Autres commentaires sur la qualité des bases de données disponibles.....	74
4.2 Analyse prospective des espèces exotiques envahissantes.....	75
4.2.1 La liste d'alerte des EEE.....	75
4.2.2 La liste noire des EEE.....	77
4.2.3 Limites de l'analyse prospective.....	79
4.3 Modélisation de la répartition.....	79
4.3.1 Démêler les facteurs environnementaux et socio-économiques des invasions biologiques.....	79
4.3.2 Identifier les envahisseurs actuels et futurs de la zone RINSE les plus inquiétants.....	82
4.3.3 Délimiter les zones RINSE les plus vulnérables aux invasions multiples.....	84
4.3.4 Considérations du modèle.....	85
5. CONCLUSIONS.....	87
6. RÉFÉRENCES.....	89
7. ANNEXES.....	96
REMERCIEMENTS.....	97

Liste des tableaux et figures

Tableau 1. Sources Internet et littéraires utilisées pour compiler les listes Registre et Concentration des EEE dans les pays et régions RINSE.....	17
Tableau 2. Classification et abréviations des types de statuts et répartition des espèces exotiques dans le registre EEE et listes ciblées.	20
Tableau 3. Les 14 sources de données principales, basées sur le Web et la littérature, utilisées pour la compilation du registre des espèces exotiques dans les pays RINSE.....	21
Tableau 4. Liste des fournisseurs de données des pires EEE consultées et critères utilisés pour la sélection des espèces.	25
Tableau 5. Lignes directrices fournies aux experts pour évaluer les EEE dans la Liste d'alerte (comprenant des pires espèces pas encore présentes dans les pays RINSE).	28
Tableau 6. Espèces modélisées à partir des listes d'alerte et noire des EEE. Total = 72 espèces (42 de la Liste d'alerte et 30 de la liste noire des EEE).	31
Tableau 7. Liste d'alerte des EEE non encore présentes dans les quatre pays RINSE avec des notes sur leur classification taxonomique, le nom français, l'origine et l'évaluation des risques.....	49
Tableau 8. Résumé des caractéristiques des 12 principales EEE de la liste d'alerte.....	52
Tableau 9. Résumé des caractéristiques des 12 principales EEE de la liste noire.	55
Figure 1. Approche du ciblage et de la hiérarchisation des espèces exotiques envahissantes (EEE) dans la région RINSE.....	13

Figure 2. Les pays RINSE considérés dans cette étude ont inclus la Grande-Bretagne, la France, la Belgique et les Pays-Bas.	15
Figure 3. La région d'étude RINSE autour de la Manche et de la partie méridionale de la mer du Nord	16
Figure 4. Capture d'écran de l'enquête basée sur le Web conçue pour hiérarchiser les espèces dans la Liste noire. Des experts en espèces envahissantes ont été invités à sélectionner jusqu'à 10 espèces qu'ils considèrent comme « les pires » en fonction de leurs impacts sur les écosystèmes.....	29
Figure 5. Les modèles de répartition des espèces (MRE) utilisent généralement une carte des occurrences et un ensemble de cartes environnementales pour calibrer les préférences des espèces.....	30
Figure 6. Couches continentales utilisées pour modéliser la répartition potentielle dans la région RINSE des EEE des listes d'alerte et noire.....	34
Figure 7. Couches marines considérées pour la modélisation de la répartition potentielle des EEE marines des listes d'alerte et noire dans la région RINSE. Extrait de Tyberghein et al. 2012.....	35
Figure 8. Couches marines utilisées pour modéliser la répartition potentielle des EEE d'alerte et noires dans la région RINSE.....	36
Figure 9. Carte mondiale des impacts humains sur les écosystèmes marins utilisée pour modéliser la répartition potentielle des EEE dans la région RINSE. Extrait de www.nceas.ucsb.edu/globalmarine . .	37
Figure 10. Abondance relative des espèces exotiques présentes à l'intérieur ou seulement à l'extérieur des quatre régions RINSE des quatre pays concernés.	39
Figure 11. Analyse typologique sur la similarité des inventaires d'espèces exotiques des pays RINSE et des régions RINSE, respectivement (basée sur les coefficients de similarité de Jaccard).	39
Figure 12. Nombre d'espèces exotiques par taxons supérieurs (embranchements animaux et divisions de plantes) présentes à l'intérieur et seulement à l'extérieur des quatre régions RINSE des quatre pays concernés.	40
Figure 13. Environnements habités par des espèces exotiques présentes dans les pays et les régions RINSE, respectivement.	41
Figure 14. Voies d'introduction des espèces exotiques d'angiospermes, de mollusques, d'Ostéichthyes, d'ansériformes et de mammifères dans les pays RINSE.	42
Figure 15. Raisons pour les introductions délibérées des espèces exotiques d'angiospermes, de mollusques, d'Ostéichthyes, d'ansériformes et de mammifères dans les pays RINSE.	42
Figure 16. Proportion des embranchements du groupe ciblé des différents continents d'origines pour les embranchements du groupe ciblé.	43
Figure 17. Année moyenne de premier enregistrement à l'état sauvage dans l'un des pays RINSE par embranchement et continent d'origine.	44
Figure 18. Proportion des embranchements du groupe ciblé appartenant à des différents types fonctionnels (alimentation) pour les embranchements du groupe ciblé.....	44
Figure 19. Nombre d'espèces colonisant apparemment les pays continentaux RINSE après la Grande-Bretagne (bleu) et la Grande-Bretagne après les pays continentaux RINSE (rouge) par périodes de 50 ans.	45

Figure 20. Nombre moyen d'années passées pour la diffusion du premier au dernier pays RINSE (= « taux de colonisation »).....	45
Figure 21. Caractéristiques des EEE incluses dans la Liste d'alerte. A: composition taxonomique. B : Continent d'origine. C : rôle fonctionnel des espèces.	47
Figure 22. Note de risque moyenne totale attribuée par les experts aux quatre principaux groupes d'espèces d'alerte. Les notes de risque vont de 0-inconnue/non important à 5 risques environnemental et économique les plus élevés d'impact de l'invasion (voir plus d'informations sur les scores de risque dans le tableau 5).	48
Figure 23. Classification des espèces en quatre catégories de risque selon leur score de risque.....	48
Figure 24. Réponse des plantes terrestres de la liste d'alerte aux facteurs les plus importants de leur répartition mondiale. Les graphiques correspondent à <i>Rubus ellipticus</i> comme exemple représentatif.	57
Figure 25. Répartition prédite des 10 plantes de la liste d'alerte dans la région RINSE.	58
Figure 26. Réponse des animaux terrestres de la liste d'alerte aux facteurs les plus importants de leur répartition mondiale. Les graphiques correspondent à <i>Muntiacus muntjak</i> comme exemple représentatif.	59
Figure 27. Répartition prédite des 10 animaux terrestres de la liste d'alerte dans la région RINSE.....	60
Figure 28. Réponse des organismes aquatiques continentaux de la liste d'alerte aux facteurs les plus importants de leur répartition mondiale actuelle. Les graphiques correspondent à <i>Neogobius gymnotrachelus</i> comme exemple représentatif.	61
Figure 29. Répartition prédite de 10 espèces aquatiques continentales de la liste d'alerte dans la région RINSE.....	62
Figure 30. Réponse des organismes aquatiques de la liste d'alerte aux facteurs les plus importants de leur répartition mondiale. Les graphiques correspondent à <i>Seriola fasciata</i> comme exemple représentatif.	63
Figure 31. Répartition prédite de 12 espèces marines de la liste d'alerte dans la région RINSE.....	64
Figure 32. Carte de répartition montrant la probabilité cumulée de la présence de 42 espèces exotiques envahissantes incluses dans la Liste d'alerte des EEE.	65
Figure 33. Répartition prédite de 7 plantes terrestres de la liste noire dans la région RINSE.....	66
Figure 34. Répartition prédite de 9 animaux terrestres de la liste noire dans la région RINSE.	68
Figure 35. Répartition prédite de 7 espèces aquatiques continentales de la liste noire dans la région RINSE.	69
Figure 36. Répartition prédite de 7 organismes marins de la liste noire dans la région RINSE.....	70
Figure 37. Carte de répartition montrant la probabilité cumulative de la présence de 31 espèces exotiques envahissantes incluses dans la liste noire des EEE.....	71

DÉFINITION DES TERMES

Facteurs bioclimatiques : variables dérivées des valeurs mensuelles de températures et de précipitations représentant des tendances annuelles, une saisonnalité et des facteurs environnementaux extrêmes.

Modèles de répartition des espèces (MRE) : technique statistique concernant des données de répartition des espèces (apparition ou abondance sur des sites connus) avec des informations relatives à l'environnement et/ou des caractéristiques spatiales de ces sites. Le modèle peut être utilisé pour fournir des connaissances et/ou prédire la répartition des espèces à travers un paysage (Elith & Leathwick, 2009).

Niche environnementale : ensemble de conditions environnementales (biotiques et abiotiques) et ressources dont un organisme a besoin pour survivre et se reproduire.

Espèces exotiques envahissantes (EEE) : désigne des espèces non indigènes qui nuisent aux régions et aux habitats qu'elles envahissent d'un point de vue environnemental, économique et/ou écologique. Ce terme exclut donc les espèces non indigènes qui ne présentent pas de menace importante pour la conservation de la biodiversité.

Espèces exotiques (EE) : désigne des espèces introduites par l'action humaine en dehors de son aire de répartition naturelle actuelle ou historique. Ce terme comprend les espèces dont la principale voie d'introduction est liée à l'humain, bien qu'elles soient entrées dans les pays RINSE à travers une dissémination naturelle des pays voisins. Toutefois, le terme exclut les espèces qui se répandent sans intervention humaine directe, comme dans le cas de migration ou d'espèces en expansion en raison du changement climatique ou d'une modification de l'habitat, même si ces changements sont causés par les humains (Définition des termes CBD, www.cbd.int/invasive/terms.shtml).

Région RINSE : désigne la zone d'étude côtière délimitée par le projet des Deux mers en Grande-Bretagne, en France, en Belgique et aux Pays-Bas.

Pays RINSE : désigne les quatre pays de la zone des Deux mers : Grande-Bretagne, France, Belgique et Pays-Bas.

Région des Deux mers : région géographique comprenant la Manche et la partie méridionale de la mer du Nord.

RÉSUMÉ

- Le projet européen RINSE (Réduire l'impact des espèces exotiques envahissantes en Europe) enquête sur les meilleures stratégies pour la gestion des espèces exotiques envahissantes à travers la région du programme des Deux mers (c'est-à-dire la région comprenant la Manche et la partie méridionale de la mer du Nord).
- ☑ Le projet RINSE vise spécifiquement à développer des outils transfrontaliers pour améliorer la hiérarchisation et le ciblage des espèces exotiques envahissantes, de sorte que les ressources puissent être orientées vers les espèces et les sites les plus préoccupants.
- Dans le cadre de RINSE, l'objectif principal de ce projet est d'auditer l'état actuel des invasions biologiques dans la zone d'étude RINSE et de fournir une liste hiérarchisée des EEE qui peuvent constituer une menace à l'avenir pour les écosystèmes locaux. Cet objectif sera atteint dans une série de trois étapes interdépendantes :
 - Registre des espèces exotiques (EE) dans les quatre pays RINSE (Grande-Bretagne, France, Belgique et Pays-Bas) avec des informations sur leur classification taxonomique, leur répartition actuelle et l'environnement habité.
 - Analyse prospective des espèces exotiques envahissantes (EEE). Sélection des « pires » envahisseurs selon les organisations nationales et internationales. Les espèces seront divisées en deux groupes en fonction de leur présence (liste noire) ou leur absence (liste d'alerte) dans l'un des quatre pays RINSE. Des experts seront consultés pour classer les espèces dans chaque liste en fonction de leurs impacts réels ou potentiels dans la région.
 - Modélisation de la répartition des EEE. Des modèles de répartition des espèces (MRE) seront élaborés pour un nombre représentatif d'EEE sur liste noire et d'alerte, à l'aide d'une combinaison de variables indépendantes environnementales et socio-économiques.

Le registre des espèces exotiques

- Le registre RINSE a compilé des informations concernant à partir de 3454 espèces exotiques, représentant environ 30 % de toutes les espèces exotiques (EE) connues en Europe.
- La Grande-Bretagne est concernée par le plus grand nombre d'espèces exotiques signalées, suivie par la France, les Pays-Bas et enfin, la Belgique.
- Le plus grand nombre d'EE dans le registre appartient à l'embranchement des arthropodes, représentant environ trois fois plus que des EE comme les chordés, et quatre fois plus que les angiospermes.
- Plus des trois quarts des EE signalées dans les pays RINSE vivent dans des habitats terrestres.
- Presque tous les ansériformes (par ex. les oies, les canards et les cygnes), les mammifères, les poissons osseux et les plantes à fleurs ont été délibérément introduits dans les pays RINSE, et surtout pour des raisons ornementales ou des activités de loisirs comme la pêche.

Analyse prospective des espèces exotiques envahissantes

- La plupart des espèces identifiées comme les pires envahisseurs de la planète étaient déjà présents dans au moins un des pays RINSE (77 %) et ont donc été assignées à la liste noire des EEE. Les 23 % des espèces restantes ont formé la liste d'alerte des EEE, étant absentes de toutes les régions RINSE.
- Les 12 premières EEE de la liste d'alerte avec des scores de risque plus élevés selon les experts consultés incluent un mélange de producteurs primaires : imperata cylindrique (*Imperata cylindrica*), niaouli (*Melaleuca quinquenervia*) et kudzu (*Pueraria montana lobata*) ; herbivores : agrile du frêne (*Agrilus plannipennis*), castor canadien (*C. canadensis*) et escargots pomme (*P. canaliculata*) ; prédateurs : étoiles de mer japonaise (*Asterias amurensis*), gobie coureur (*Neogobius gymnotrachelus*), goujon

de l'amour (*Perccottus glenii*), méduse nomade (*Rhopilema nomadica*) et fourmi de feu rouge (*Solenopsis invicta*) ; et la palourde de l'amour se nourrissant par filtration (*Potamocorbula amurensis*).

- La plupart des EEE de la liste noire (56 %) étaient présentes dans les quatre pays RINSE, ce qui illustre le niveau élevé des échanges biologiques entre eux résultant de l'intensité des échanges, des transports et des voyages.
- Depuis les Pays-Bas, plusieurs espèces aquatiques continentales peuvent constituer une menace pour la Grande-Bretagne : Chattonella (*Chattonella verruculosa*), deux amphipodes ponto-caspiens (*Chelicorophium robustum* et *Dikerogammarus bispinosus*), écrevisses marmokrebs (*Procambarus fallax*) et gobie à nez tubulaire (*Proterorhinus marmoratus*). En Belgique, un amphibien (*Bufo marinus*) et deux insectes (*Latrodectus geometricus* et *L. hasselti*) peuvent affecter d'autres pays RINSE.
- Les 12 premières EEE de la liste noire soulevant le plus de préoccupations parmi les experts RINSE ont été dominées par les producteurs primaires tels que la crassule de Helm de Nouvelle-Zélande (*Crassula helmsii*), l'hydrocotyle à feuilles de renoncule (*Hydrocotyle ranunculoides*), l'algue tueuse (*Caulerpa taxifolia*), le codium fragile (*Codium fragile*), la renouée du Japon (*Fallopia japonica*) et la berce du Caucase (*Heracleum mantegazzianum*). D'autres types d'organismes dans la liste comprenait des prédateurs : coccinelle asiatique (*Harmonia axyridis*), vison d'Amérique (*Mustela vison*) ; herbivores : Bernache du Canada (*Branta canadensis*) et écureuil gris (*Sciurus carolinensis*) ; et crevette tueuse omnivore (*Dikerogammarus villosus*).

Modélisation de la répartition des espèces exotiques envahissantes

- Les modèles de répartition des espèces ont affiché des performances élevées pour toutes les EEE modélisées des listes d'alerte et noire, et ont permis d'observer l'influence partielle des facteurs environnementaux et socio-économiques sur la répartition mondiale actuelle de la pire EEE.
- L'importance de la permutation des variables environnementales se situait entre 70 et 82 % pour les espèces continentales (par ex. espèces terrestres plus d'eau douce), et a atteint 99 % pour les organismes marins.
- Les variables liées à la température ont constitué le facteur le plus important de la répartition des espèces continentales car elles affectent la taille du corps, la reproduction, la croissance, le rôle écologique et la survie des espèces, tout en déterminant le contexte d'établissement (par ex. l'habitat et les ressources disponibles, groupe d'espèces interagissantes).
- Dans le milieu marin, la température de l'eau a également été le principal moteur des invasions biologiques, suivi en importance par les nitrates et la concentration en chlorophylle-*a*, qui reflètent la disponibilité des ressources et peut également indiquer les perturbations humaines (eutrophisation).
- Plusieurs des EEE modélisées ont montré des répartitions clairement influencées par l'emplacement des voies de transport. Cela a compris des plantes envahissantes telles que la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*), le kudzu (*P. montana lobata*) et le gingembre Kahili (*Hedychium gardnerianum*).
- Les insectes ont été les plus touchés par l'indice d'influence de l'homme tel que, y compris l'aleurode *Bemisia argentifolii* (*Bemisia tabaci*), la mouche méditerranéenne des fruits (*Ceratitis capitata*), la fourmi d'Argentine (*Linophitema humile*) et la chenille processionnaire du chêne (*Thaumetopoea processionea*).
- La proximité des ports a été identifiée comme un facteur prédictif important pour les espèces aquatiques intérieures (par ex. *Aphanius dispar*, *Clarias batrachus*, *Gammarus fasciatus*, *Dreissena r. Bugensis*, *Myriophyllum heterophyllum*, *P. marmoratus*, *Anguillicola crassus*), qui sont involontairement transportées comme contaminants ou clandestins.
- Le sud-est de l'Angleterre et le nord de la Belgique ainsi que les Pays-Bas (zones urbaines adjacentes aux grands ports comme Londres, Portsmouth, Calais, Ostende, Zeebruges, Rotterdam et Anvers) sont exposés au risque le plus élevé d'invasions multiples. Le risque diminue progressivement vers l'extérieur, soit au nord et à l'ouest de la Grande-Bretagne, ainsi qu'au sud et à l'est du continent.

Recommandations

- Enrayer les voies d'introduction :
 - Le commerce des plantes ornementales/animaux est l'un des vecteurs les plus importants des espèces exotiques envahissantes dans la région RINSE et peut être contrôlé par une meilleure application des lois existantes et la coordination des pays voisins. Une attention toute particulière devrait être accordée au commerce sur Internet qui a facilité l'importation de plantes et d'animaux.
 - L'introduction involontaire comme les salissures de navires ou les contaminants de produits est la deuxième voie principale d'invasion. La prévention des EEE peut s'améliorer grâce à la poursuite du contrôle des eaux de ballast, à des inspections de navires et au contrôle des importations (en particulier les produits forestiers). Des programmes éducatifs de sensibilisation sont nécessaires pour sensibiliser le grand public et promouvoir la détection précoce des nouveaux arrivants.
- Renforcer la communication et la coopération transfrontalières dans l'échange, la liaison et l'intégration des bases de données des EEE et des stratégies de gestion.
- Espèces particulièrement préoccupantes :
 - Quatre des EEE de la liste d'alerte sont présentes dans des pays proches comme l'Allemagne et la Pologne : le gobie coureur (*N. gymnotrachelus*), le goujon de l'amour (*P. glenii*), le castor canadien (*C. canadensis*) et blady grass (*I. cylindrica*).
 - Parmi les plantes de la liste d'alerte, la framboise sauvage d'Asie (*Rubus ellipticus*), le faux poivrier (*Schinus terebinthifolius*) et le tamaris asiatique (*Tamarix ramosissima*) caractérisent un potentiel invasif et un score de pertinence élevés à travers la région RINSE.
 - En Grande-Bretagne, les espèces aquatiques continentales de la liste noire présentes aux Pays-Bas et en Belgique sont particulièrement préoccupantes : la Chattonella (*C. verruculosa*), deux amphipodes ponto-caspiens (*C. robustum* et *D. bispinosus*), l'écrevisse des marécages (*P. fallax*), le gobie à nez tubulaire (*P. marmoratus*) et le crapaud de canne (*B. marinus*).
 - Trois des animaux terrestres modélisés de la liste noire ont atteint des scores d'adéquation élevés à travers la région RINSE, tout en étant signalés comme étant parmi les pires envahisseurs existant dans la région : l'écureuil gris (*S. carolinensis*), le frelon asiatique (*Vespa velutina*) et la chenille processionnaire du chêne (*T. procesionea*)
 - Parmi les EEE aquatiques continentales affichant des scores d'adéquation élevés dans la région RINSE, les espèces à risque élevé incluent le gobie coureur (*N. gymnotrachelus*), le myriophylle (*M. heterophyllum*) et la moule quagga (*D. r. Bugensis*)
- L'importance de la température annuelle minimale dans nos modèles suggère que le réchauffement climatique pourrait accroître la répartition potentielle de certaines des espèces évaluées vers le nord en augmentant les valeurs hivernales minimales. L'interaction du changement climatique et des espèces exotiques envahissantes doit être considérée lors de l'élaboration des stratégies de gestion de l'environnement à long terme.
- Compte tenu de l'importance de l'indice de l'influence de l'homme dans nos modèles d'insectes, les études futures de répartition potentielle des insectes envahissants devraient envisager d'utiliser cet indicateur ou d'autres similaires de l'intensité des perturbations humaines pour améliorer leurs prédictions.
- Les listes d'alerte et noire des EEE ne sont pas fixes et nécessitent une mise à jour continue à travers une sélection plus large de listes publiées des EEE combinée avec une consultation d'expert.
- De même, les modèles de répartition doivent être mis à jour si les espèces étendent leur répartition vers de nouvelles zones. En outre, la modélisation de la répartition potentielle d'un ensemble plus vaste d'espèces de la liste d'alerte donnerait aux spécialistes de l'environnement un scénario plus complet pour éclairer les décisions.

1. INTRODUCTION

L'introduction et la propagation d'espèces exotiques entraînent des pertes écologiques et économiques importantes à travers le monde et sont rapidement devenues l'un des changements environnementaux mondiaux les plus alarmants. Illustrant la dimension du problème, le projet européen DASIE (Delivering Alien Species Inventories in Europe, www.europe-aliens.org) a révélé que plus de 12000 espèces exotiques se sont établies en Europe.

Cependant, toutes les espèces exotiques ne deviennent pas envahissantes. Selon la définition de l'UICN, également adoptée par la Convention sur la diversité biologique, les espèces exotiques envahissantes (EEE) sont *les espèces introduites hors de leur aire de répartition naturelle par l'homme, que ce soit directement ou indirectement, et portant préjudice aux services de la biodiversité ou de l'écosystème* (définition des termes CDB, www.cbd.int/invasive/terms.shtml). La règle des dizaines prévoit que seulement 10 % environ des espèces exotiques établies sont en mesure de développer des populations assez denses pour être considérées comme envahissantes (Williamson, 1996), bien que des taux d'invasion plus élevés aient été signalés ailleurs (par exemple > 50 % de taux de succès des introductions de vertébrés entre l'Europe et l'Amérique du Nord, Jeschke & Strayer, 2005). La règle des dizaines suggère donc que le nombre d'EEE en Europe dépasse actuellement 1200 espèces, avec des coûts estimés de 12,5 à 20 milliards d'€ par an (FA COST Action TD1209, www.cost.eu). En outre, avec le développement continu de la variété des envahisseurs existants, associé à l'établissement de nouvelles espèces, ces coûts sont appelés à augmenter (Gallardo & Aldridge, 2012). Les EEE sont donc une préoccupation croissante pour les gestionnaires et acteurs de l'environnement non seulement en raison de leurs différents impacts sur les services de la biodiversité et de l'écosystème, mais aussi des coûts associés à leur éradication, nécessitant des politiques de gestion efficaces (Oreska & Aldridge, 2011).

Une analyse prospective des futures introductions d'espèces dégage des avantages économiques et écologiques nets (Keller *et al.*, 2007 ; Springborn *et al.*, 2011). Par conséquent, l'intérêt relatif au développement d'outils d'évaluation des risques s'est accru afin de permettre une régulation éclairée des espèces potentiellement nuisibles avant leur introduction (Gordon *et al.*, 2012). Une analyse prospective des espèces envahissantes implique idéalement une évaluation systématique de la probabilité et des conséquences de l'introduction, de l'établissement, de la propagation et de l'impact d'une EEE utilisant les meilleures données scientifiques disponibles et impliquant souvent la consultation d'experts (définition des termes CDB, www.cbd.int/invasive/terms.shtml). Une analyse prospective est essentielle pour améliorer l'efficacité des mesures préventives afin de stopper l'introduction des espèces les plus préoccupantes, ainsi que de concentrer les efforts dans la lutte

contre les espèces déjà présentes.

Toutefois, l'introduction d'une espèce exotique ne signifie pas nécessairement que l'espèce s'établira. Les propagules introduites par les activités de loisirs et de commerce sont soumises aux conditions environnementales du système envahi, y compris aux conditions climatiques locales, à l'occupation des sols, à la chimie de l'eau et au courant, au type de substrat et de végétation. Une correspondance plus étroite entre la répartition actuelle de l'espèce et l'habitat à envahir impliquera une plus grande probabilité d'invasion réussie. On doit donc s'attendre à ce que la probabilité d'invasion soit due conjointement à des facteurs liés à la pression des propagules (par ex. activités humaines telles que le transport, le commerce et le tourisme) et à l'adéquation de l'environnement (climat, géomorphologie, végétation), qui doivent être intégrés tous deux dans l'évaluation des risques (Gallardo & Aldridge, 2013a).

Les modèles de répartition des espèces (MRE) constituent un outil statistique pour localiser les zones à l'échelle continentale ou régionale qui sont les plus similaires par rapport à la variété actuelle d'une espèce envahissante, et sont donc plus sensibles à une colonisation réussie dans le cas d'une introduction (Guisan & Thuillier, 2005). Lorsqu'ils sont appliqués à de multiples envahisseurs potentiels en combinaison, les MRE peuvent être particulièrement puissants pour permettre une hiérarchisation éclairée des ressources limitées et guider les décisions de suivi, de gestion et de contrôle (Gallardo & Aldridge, 2012).

Le programme Interreg des Deux Mers est une initiative financée par l'Europe favorisant la coopération transfrontalière entre les régions côtières de quatre pays - Grande-Bretagne, France, Belgique et Pays-Bas - comprenant la Manche et la partie méridionale de la mer du Nord (plus d'informations sur www.interreg4a-2mers.eu). La région des Deux-Mers jouit d'une longue histoire d'échanges commerciaux et de voyages, et comprend des ports commerciaux importants tels que Southampton, Felixstowe, Le Havre, Anvers et Rotterdam. En revanche, ces activités intensives à travers les frontières nationales ont conduit à l'introduction de nombreuses espèces exotiques animales, végétales et autres dans cette région, à la fois en provenance.

Le vaste dossier de ces espèces exotiques dans ce domaine est en partie reflété dans les bases de données nationales accessibles gratuitement en ligne. La base de données du Secrétariat britannique des espèces exotiques envahissantes (GBNNS) (www.nonnativespecies.org) comprend, par exemple, plus de 3000 espèces. En revanche, le registre néerlandais de la biodiversité (www.nederlandsesoorten.nl) répertorie 925 EEE, et seules 101 EEE sont mises en évidence par le système d'information belge Harmonia (ias.biodiversity.be). Aucune initiative similaire n'existe en France.

Ces différences extrêmes dans ce dossier entre pays voisins illustrent le manque flagrant de

coopération internationale dans ce domaine, ce qui entrave le développement et la mise en œuvre de pratiques de gestion transfrontalières durables pour les EEE. Il est donc essentiel que nous renforçons la communication et la coopération transfrontalières dans le partage, la liaison et l'intégration des bases de données des EEE. Une coopération permettrait de s'assurer que les connaissances sur les EE acquises dans un pays éclairent des décisions sur les choix de gestion et de contrôle des EEE dans d'autres pays, et donnent l'alerte sur des espèces susceptibles de se propager d'un pays à l'autre, incitant à établir des plans d'action de prévention.

Il existe des exemples où la coopération internationale a considérablement amélioré la prévention de la propagation des EEE. Il s'agit notamment du Réseau interaméricain des espèces envahissantes (IABIN-13N, <http://i3n.iabin.net/>) qui prend en charge la détection et la gestion des EEE dans les Amériques, et du Comité trilatéral de conservation et de gestion de la faune et des écosystèmes (www.trilat.org), qui traite des défis environnementaux communs au Canada, aux États-Unis et au Mexique. Pourtant à ce jour, dans le programme des Deux Mers, peu d'efforts ont été faits dans ce sens.

Pour aider à résoudre ce problème, le projet européen RINSE (Réduire l'impact des espèces exotiques envahissantes en Europe) cherche les meilleures stratégies pour gérer les EEE à travers la région du Programme des Deux Mers. Le projet vise plus particulièrement à développer des outils transfrontaliers pour améliorer la hiérarchisation et cibler les EEE, de sorte que les ressources puissent être orientées vers les espèces et les sites les plus préoccupants.

1.1 Approche et objectifs de l'étude

L'objectif principal de ce projet est de vérifier l'état actuel des invasions biologiques dans la région des Deux Mers et de fournir une liste hiérarchisée des EEE qui peuvent constituer une menace à l'avenir pour les écosystèmes locaux. Cet objectif sera atteint par une série de trois étapes liées entre elles, comprenant d'abord un registre de toutes les espèces exotiques (EE) actuelles connues dans la région, suivi d'une analyse prospective des espèces exotiques envahissantes (EEE) particulièrement préoccupantes et enfin, de la modélisation de plusieurs EEE à risque élevé (Figure 1).

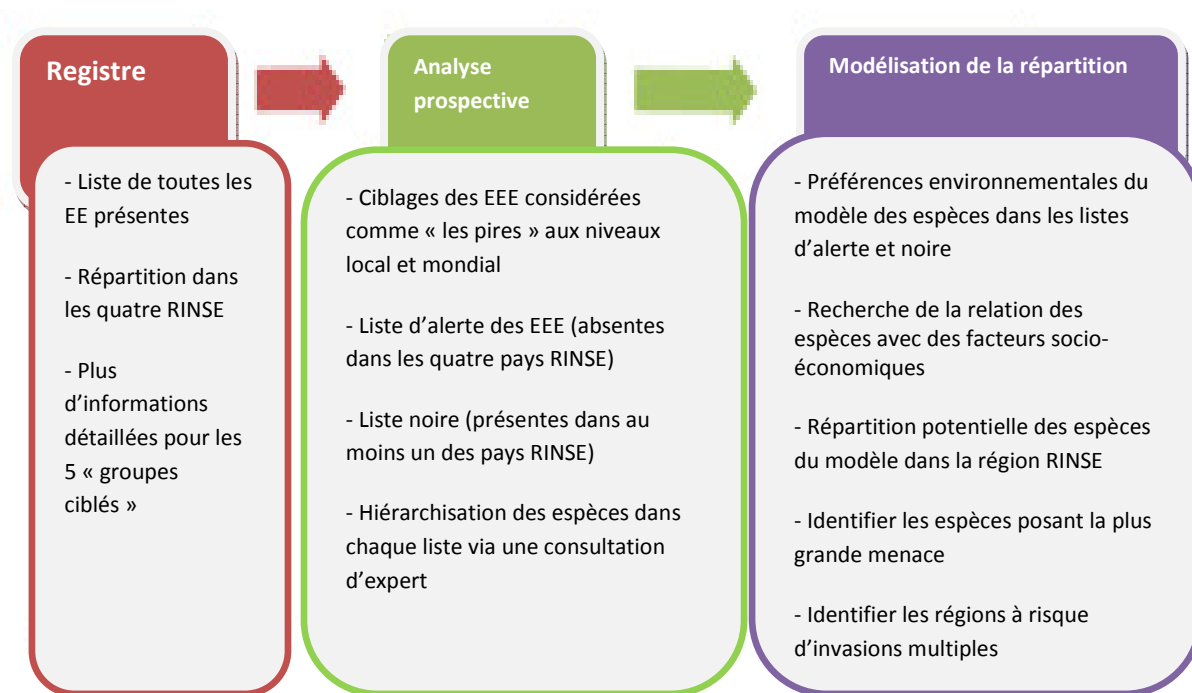


Figure 1. Approche du ciblage et de la hiérarchisation des espèces exotiques envahissantes (EEE) dans la région RINSE.

Le projet est conçu de manière à ce que chaque étape soit alimentée par les résultats de la précédente, offrant une vue intégrée sur les invasions biologiques actuelles et futures dans la région. Les principaux objectifs de chaque étape sont répertoriés comme suit :

Registre des EE. Tout d'abord, nous avons compilé une base de données des EE présentes dans les quatre pays RINSE (Grande-Bretagne, France, Belgique et Pays-Bas) avec des informations sur leur classification taxonomique, la répartition actuelle et l'environnement habité. Ensuite, nous avons synthétisé des informations sur la répartition des EE de RINSE à travers les embranchements et les environnements, puis analysé la similitude de composition des EE entre les régions. Des informations plus détaillées ont été recueillies sur un certain nombre de « groupes ciblés », avec l'objectif d'étudier les tendances dans i) les vecteurs et les voies d'introduction (par exemple intentionnel, non intentionnel, libération), ii) les raisons des introductions intentionnelles (par exemple aquaculture, pêche de loisir), iii) les continents d'origine, iv) les périodes d'introduction, v) les rôles fonctionnels des espèces introduites (par exemple, producteur primaire, prédateur, parasite), et vi) la direction et la vitesse de colonisation des pays RINSE. Le registre offre un point de référence général pour les scientifiques et les praticiens travaillant sur les EE dans cette région importante, ainsi qu'un outil pour évaluer la fiabilité et l'exhaustivité des autres bases de données à partir desquelles les données pour le présent Registre ont été extraites.

II. **Analyse prospective des EEE.** Nous avons passé au crible les EEE considérées comme « les pires » en termes d'impacts écologiques aux échelles locale à mondiale. Les espèces ont été

divisées en deux groupes en fonction de leur présence (liste noire) ou absence (liste d'alerte) dans l'un des quatre pays RINSE. Des experts ont été consultés pour classer les espèces dans chaque liste en fonction de leurs impacts réels ou potentiels dans la région. Cette analyse prospective offre une approche rapide, simple, complète et compréhensible pour hiérarchiser les espèces en fonction de la menace qu'elles font peser sur l'environnement RINSE

- III. **Modélisation de la répartition des EEE.** Nous avons développé des modèles de répartition des espèces (MRE) pour un nombre représentatif des EEE de la liste d'alerte et noire (2 FOIS). La modélisation de la répartition est complémentaire de l'analyse prospective des EEE d'alerte et noires dans la région RINSE et ont eu pour but i) d'identifier les EEE pour lesquelles les conditions environnementales de la région RINSE sont les plus appropriées, ii) d'identifier les facteurs environnementaux expliquant mieux la répartition mondiale actuelle des EEE d'alerte et noires, et iii) de localiser les régions sujettes à de multiples invasions où les efforts de surveillance et de gestion devraient être concentrés afin d'éviter une éventuelle invasion destructrice.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1 Région d'étude

La région des Deux Mers comprend quatre pays situés à travers la Manche et la partie méridionale de la mer du Nord : Grande-Bretagne, France, Belgique et Pays-Bas. Dans ce rapport, nous les appellerons les « quatre pays RINSE » (Figure 2).

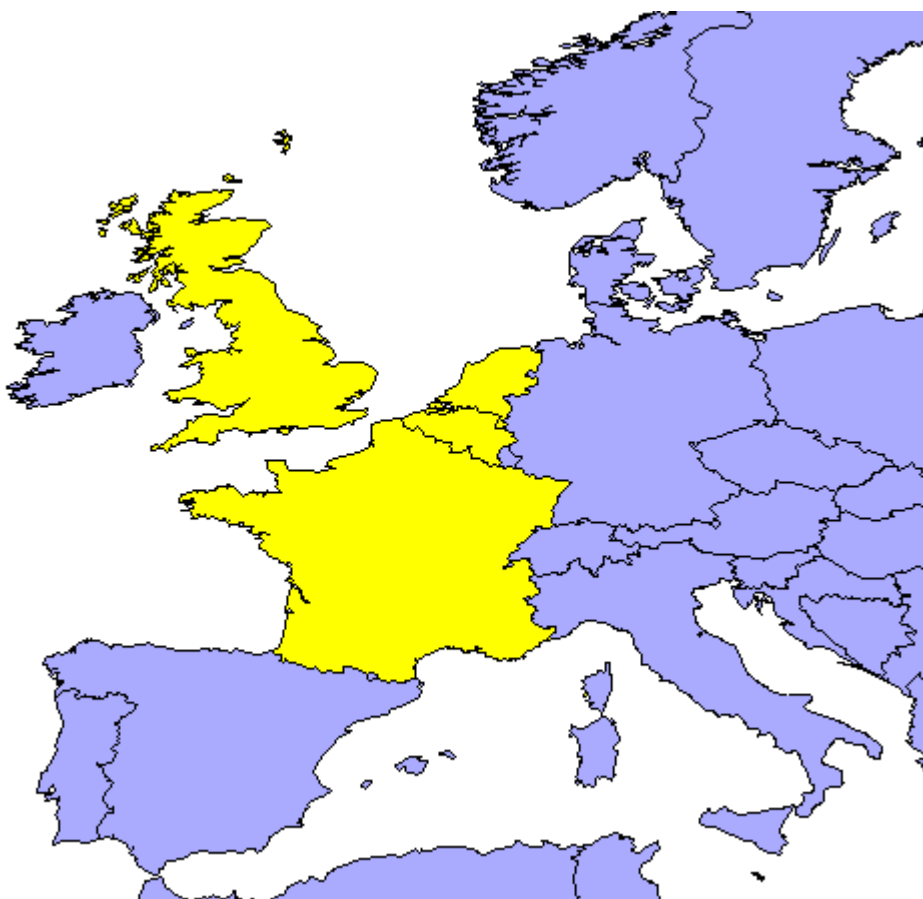


Figure 2. Les pays RINSE considérés dans cette étude ont inclus la Grande-Bretagne, la France, la Belgique et les Pays-Bas.

Dans la région des Deux Mers, le projet RINSE se concentre sur les régions côtières des quatre pays RINSE. Les zones de chaque pays ont inclus :

La zone britannique : Norfolk, Suffolk, Cambridgeshire, Essex, Kent, East et West Sussex, Londres, Surrey, Hampshire, Medway, Berkshire, Wiltshire, Dorset, Somerset, Devon et la Cornouailles.

La zone française : Nord-Pas-de-Calais et Picardie.

La zone flamande : Flandres Ouest et Est et Anvers.

La zone néerlandaise : Zélande, Brabant septentrional, Hollande méridionale et Utrecht.

Les quatre zones RINSE partagent des caractéristiques environnementales (par ex. le climat, la géographie, la géologie, la végétation) et socio-économiques (par ex. la densité de population, la modification du paysage, le transport) similaires, offrant ainsi une sensibilité comparable à l'établissement des espèces exotiques envahissantes. Dans ce rapport, nous les appelons les « quatre régions RINSE » (Figure 3) :

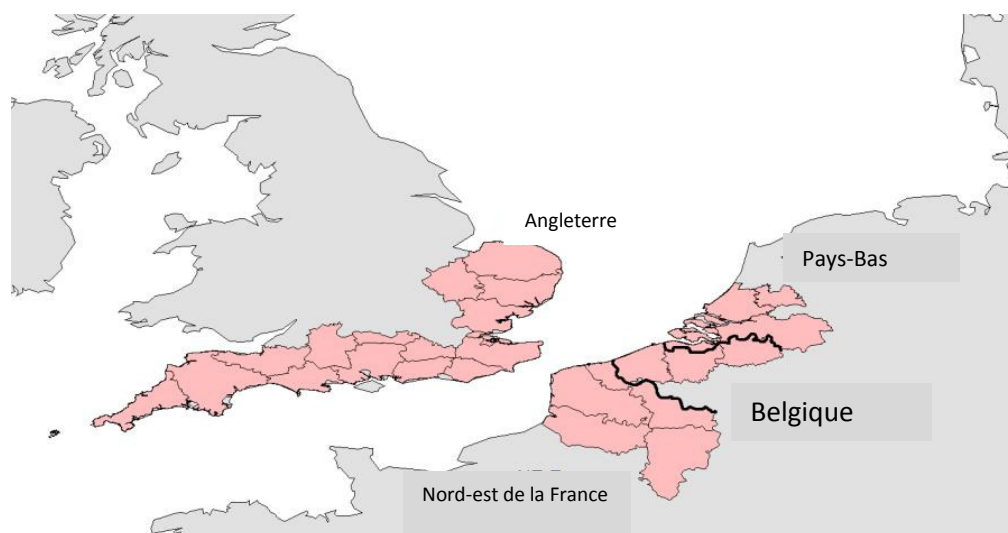


Figure 3. La région d'étude RINSE autour de la Manche et de la partie méridionale de la mer du Nord.

2.2 Registre des espèces EE

2.2.1 Registre général

Les données sur la présence d'EE dans la région RINSE ont été récupérées par un examen systématique de 59 sources Internet et littéraires (tableau 1), couvrant une approche globale à l'échelle locale et la plupart des types d'organismes (voir ci-dessous pour obtenir des informations détaillées sur les défauts nécessaires).

La présence/l'absence dans chacun des pays et des régions RINSE a été vérifiée par au moins deux des passerelles fournissant des données sur la répartition géographique (répertoriées comme la « Répartition » dans le tableau 1). En outre, des informations sur l'environnement général occupé par chaque espèce (par exemple eau douce, marin, terrestre ou combinaison des trois) ont été récupérées pour chaque espèce.

Le statut et la répartition spatiale des pays RINSE ont ainsi été classés et codés comme indiqué dans le tableau 2. Si deux sources différentes ou plus ont fourni des preuves contradictoires, un statut multiple a été attribué à l'espèce en question (par ex. « Y, Er »).

Tableau 1. Sources Internet et littéraires utilisées pour compiler les listes Registre et Concentration des EEE dans les pays et régions RINSE. Utilisation de la source : Répartition, source utilisée pour vérifier la présence/l'absence dans les pays RINSE ; Registre (Angiospermes), seule source utilisée pour les espèces Angiospermes du Registre ; Registre (Arthropodes), seule source utilisée pour les espèces arthropodes du Registre ; Registre (eau douce), seule source utilisée pour les espèces d'eau douce du Registre ; Registre (Marin), seule source utilisée pour les espèces marines du Registre ; Registre (tableau 2), source utilisée comme indiqué dans le tableau 3.

Référence de la source	Couverture géographique	Utilisation de la source
Agence de l'eau Artois Picardie (2005) Les espèces végétales invasives des milieux aquatiques et humides du Bassin Artois Picardie. Conservatoire Botanique National de Bailleul. 37 pp.	France	Registre (Angiosperme)
Agence de l'eau Rhin Meuse (2005) Plantes invasives des milieux aquatiques et des zones humides du Nord-est de la France. Une menace pour notre environnement. 20 pp.	France	Registre (Angiosperme)
Banks, A., Wright, L., Maclean, I.M., Hann, C. & Rehfisch, M.M. (2009) Review of the status of introduced non-native waterbird species in the area of the African-Eurasian Waterbird Agreement: 2007 update. British Trust for Ornithology. 146 pp.	Mondiale	Liste ciblée
Belgian Forum on Invasive Species. 2012. Harmonia database. http://ias.biodiversity.be/	Belgique	Registre (Tableau 2)
Beran, L. & Horsák, M. (2007) Distribution of the alien freshwater snail <i>Ferrissia fragilis</i> (Tryon, 1863)(Gastropoda: Planorbidae) in the Czech Republic. Aquatic Invasions, 2, 45-54.	Mondiale	Liste ciblée
Bouquerel, J. (2008) Les canaux: des milieux privilégiés pour les macroinvertébrés invasifs. In: Étude de la région Nord/Pas-de-Calais, 82 pp.	France	Registre (eau douce)
CABI Centre for Agricultural Bioscience International. 2012. Invasive Species Compendium. Wallingford, UK: CAB International. http://www.cabi.org/	Europe	Registre (Tableau 2) Liste ciblée
Conseil General du Finistère (2008) Plantes invasives un danger pour la biodiversité du Finistère. 16 pp.	France	Registre (Angiosperme)
Costa, C. (2005) Atlas des espèces invasives présentes sur le périmètre du Parc Naturel Régional de Camargue. Parc Naturel Régional de Camargue. 217 pp.	France	Registre (Angiosperme)
DAISIE Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe. 2012a. http://www.europe-aliens.org/	Europe	Registre (Tableau 2) Liste ciblée
DAISIE Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe. 2012b. 100 of The Worst. http://www.europe-aliens.org/speciesTheWorst.do	Europe	Registre (Angiosperme)
De Prins, W. (1998) Catalogue of the Lepidoptera of Belgium. Studiedocumenten Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, 92, 1-236. http://webh01.ua.ac.be/vve/Checklists/Lepidoptera/Introduction.htm	Belgique	Registre (Arthropode)
Delbart, E. & N. Pieret, M.G. (2007) Guide de reconnaissance des principales plantes invasives le long des cours d'eau et plans d'eau en Région wallonne. Direction des Cours d'Eau.	Belgique	Registre (Angiosperme)
Dewarumez, J.-M., Gévaert, F., Massé, C., Foveau, A., Desroy, N. & Grulois, D. (2011) Les espèces marines animales et végétales introduites dans le bassin Artois-Picardie. 140 pp.	France	Registre (marin)
EMODNET European Marine Observation and Data Network. 2012. http://bio.emodnet.eu/	Europe	Distribution
EPPO European and Mediterranean Plant Protection Organization. 2012. EPPO list of invasive alien plants. http://www.eppo.int/INVASIVE_PLANTS/ias_lists.htm	Europe	Registre (Angiosperme)
ETI BioInformatics. 2013. Marine Species Identification Portal. http://species-identification.org/	Mondiale	Liste ciblée

FAO (2012) Introduction of species. Database on Introductions of Aquatic Species. In: Fisheries and Aquaculture topics. Food and Agriculture Organisation (Fisheries and Aquaculture Department), Rome. http://www.fao.org/fishery/introsp/search/en	Mondiale	Registre (Tableau 2) Liste ciblée
Froese, R. & Pauly, D. (2008) FishBase. http://www.fishbase.org/	Mondiale	Liste ciblée
GBIF Global Biodiversity Information Facility. 2012. GBIF Data Portal. http://data.gbif.org/	Mondiale	Distribution Liste ciblée
Gollasch, S., Haydar, D., Minchin, D., Wolff, W.J. & Reise, K. (2009) Introduced aquatic species of the North Sea coasts and adjacent brackish waters. <i>Biological Invasions in Marine Ecosystems</i> , 507-528.	Europe	Registre (Tableau 2)
Hopkin, S.P. (2007) A key to the Collembola (springtails) of Britain and Ireland. FSC Publications. http://www.stevhopkin.co.uk/collembolamaps/	Grande-Bretagne	Distribution
Hudin, S. & Vahrameev, P. (2010) Guide d'identification des plantes exotiques envahissant les milieux aquatiques et les berges du bassin Loire-Bretagne. Fédération des Conservatoires d'espaces naturels. 45 pp.	France	Registre (Angiosperme)
Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. 2012. The Ocean Biogeographic Information System OBIS. http://iobis.org/mapper/	Mondiale	Distribution
ISSG Invasive Species Specialist Group. 2012. Global Invasive Species Database. http://www.issg.org/database	Mondiale	Registre (Tableau 2) Liste ciblée
IUCN 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.2. http://www.iucnredlist.org	Mondiale	Liste ciblée
Lacroix, P., Le Bail, J., Geslin, J. & Hunault, G. (2008) Liste des plantes vasculaires invasives, potentiellement invasives et à surveiller en région Pays de la Loire. Conservatoire National Botanique de Brest, Antenne régionale des Pays-de-Loire, 55 pp.	Belgique	Registre (Angiosperme)
Le Conservatoire Botanique National de Bailleul. 2012. Liste des plantes exotiques considérées comme envahissantes en Picardie. Available at http://www.cbnbl.org/nos-actions/mieux-connaître-la-flore-et-les-plantes-exotiques-envahissantes/article/la-strategie-regionale-de-lutte	France	Registre (Angiosperme)
Leen, V., Vanhoorne, B., Decock, W., Trias-Verbeek, A., Dekeyzer, S., Colpaert, S. & Hernandez, F. (2013) World Register of Marine Species. http://www.marinespecies.org	Mondiale	Distribution Liste ciblée
Lever, C. (1985) Naturalized mammals of the world. Longman. 608 pp.	Mondiale	Liste ciblée
Long, J. (2003) Introduced mammals of the world: their history, distribution and influence. Csiro Publishing. 612 pp.	Mondiale	Liste ciblée
Lützen, J., Faasse, M., Gittenberger, A., Glenner, H. & Hoffmann, E. (2012) The Japanese oyster drill <i>Ocenebrellus inornatus</i> (Récluz, 1851) (Mollusca, Gastropoda, Muricidae), introduced to the Limfjord, Denmark. <i>Aquatic Invasions</i> , 7, 181-191.	Mondiale	Liste ciblée
Muséum national d'Histoire naturelle. 2012. INPN Inventaire national du Patrimoine Naturel. http://inpn.mnhn.fr	France	Distribution
Naturalis. 2012. Nederlands Soortenregister, version 2.0. http://www.nederlandsesoorten.nl/	Pays-Bas	Registre (Tableau 2)
NBN National Biodiversity Network. 2012. National Biodiversity Network's Gateway. http://data.nbn.org.uk/	Grande-Bretagne	Distribution
NLBIF Netherlands Biodiversity Information Facility. 2012. Data portal of the Dutch national node of the Global Biodiversity Information Facility (GBIF). http://www.nlbif.nl/	Pays-Bas	Distribution

NNSS GB Non-native Species Secretariat. 2012. GB Non-native Species Information Portal. https://secure.fera.defra.gov.uk/	Grande-Bretagne	Registre (Tableau 2) Liste ciblée
NOBANIS North European and Baltic Network on Invasive Alien Species. 2012. Gateway to Information on Invasive Alien species in North and Central Europe. http://www.nobanis.org	Europe	Registre (Tableau 2)
Observatoire de la Biodiversité et du Patrimoine Naturel en Bretagne(2010) Les espèces marines invasives en Bretagne. 44 pp.	France	Registre (marin)
Paradis, G., Hugo, L. & Spinosi, P. (2008) Les plantes envahissantes: une menace pour la biodiversité. <i>Stantari</i> , 13, 18-26.	France	Registre (Angiosperme)
Plantlife (2010) Here today, here tomorrow? Horizon scanning for invasive non-native plants. 19 pp. http://www.plantlife.org.uk	Grande-Bretagne	Registre (Tableau 2)
Preisler, R.K., Wasson, K., Wolff, W.J. & Tyrrell, M.C. (2009) Invasions of estuaries vs the adjacent open coast: a global perspective. <i>Biological invasions in marine ecosystems</i> , 587-617.	Mondiale	Registre (Tableau 2)
Q-bank. 2012. Invasive Plants database. Comprehensive databases on quarantine plant pests and diseases. http://www.q-bank.eu/Plants	Europe	Registre (Angiosperme)
Rabitsch, W. (2008) Alien true bugs of Europe (Insecta: Hemiptera: Heteroptera). <i>Zootaxa</i> , 1827, 1-44.	Europe	Registre (Arthropode)
Réseau régional des Gestionnaires des Milieux Aquatiques (2009) Plantes Envahissantes. Guide d'identification des principales espèces aquatiques et de berges en Provence et Languedoc. 112 pp	France	Registre (Angiosperme)
RINSE_WP1_list.xls 316 Invasive species in Flanders (by Tim Adriaens)	France	Distribution
Roques, A., Rabitsch, W., Rasplus, J.-Y., Lopez-Vaamonde, C., Nentwig, W. & Kenis, M. (2009) Alien terrestrial invertebrates of Europe. <i>Handbook of alien species in Europe</i> , 63-79.	Europe	Registre (Arthropode)
Simon-Bouhet, B., Garcia-Meunier, P. & Viard, F. (2006) Multiple introductions promote range expansion of the mollusc <i>Cyclope neritea</i> (Nassariidae) in France: evidence from mitochondrial sequence data. <i>Molecular Ecology</i> , 15, 1699-1711.	France	Liste ciblée
Soes, D.M., Glöer, P. & de Winter, A.J. (2009) <i>Viviparus acerosus</i> (Bourguignat, 1862)(Gastropoda: Viviparidae), a new exotic snail species for the Dutch fauna. <i>Aquatic Invasions</i> , 4, 373-375.	Pays-Bas	Liste ciblée
Verlaque, M., Ruitton, S., Mineur, F. & Boudouresque, C.F. (2007) CIESM Atlas of exotic macrophytes in the Mediterranean Sea. <i>Rapp. Comm. int. Mer Médit</i> , 38, 14 pp. http://www.ciesm.org/online/atlas/intro.htm	Mondiale	Liste ciblée
Verloove, F. (2006) Catalogue of neophytes in Belgium (1800-2005). http://alienplantsbelgium.be/sites/alienplantsbelgium.be/files/tabel_2.pdf	Belgique	Distribution
Waarneming. 2012. Dutch daughter website of the Global Biodiversity Recording Project. http://waarneming.nl	Pays-Bas	Registre (Tableau 2) Liste ciblée
Waarnemingen. 2012. Belgian daughter website of the Global Biodiversity Recording Project. http://waarnemingen.be	Belgique	Registre (Tableau 2) Liste ciblée
Welter-Schultes, F. (2005) AnimalBase: early zoological literature online. http://www.animalbase.uni-goettingen.de	Mondiale	Liste ciblée
Wikimedia Foundation. 2013. Wikipedia: The Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page	Mondiale	Liste ciblée
Wolff, W.J. (2005) Non-indigenous marine and estuarine species in The Netherlands. Nationaal Natuurhistorisch Museum.	Pays-Bas	Registre (Tableau 2)
Zambettakis, C. & Magnanon, S. (2008) Identification des plantes vasculaires invasives de Basse-Normandie. Conseil régional Basse-Normandie, DIREN Basse-Normandie. 25 pp.	France	Registre (Angiosperme)

Tableau 2. Classification et abréviations des types de statuts et répartition des espèces exotiques dans le registre EEE et listes ciblées.

Abréviation	Définition
cry	cryptogénique
Er	éradiquée, c'est à dire que cette espèce exotique a été vue à l'état sauvage et des mesures de gestion délibérée se sont débarrassées de la population de la région en question
Ex	éteinte, c'est à dire que cette espèce exotique a été présente à l'état sauvage à un certain moment (quoique brièvement suite à une évasion), mais n'est plus présente dans la région en question
N	non présente, c'est à dire que cette espèce exotique n'a jamais été vue à l'état sauvage dans la région en question
nat	autochtone
Y	oui (présente), c'est à dire que cette espèce exotique a été vue à l'état sauvage et qu'une population de l'espèce (même minime) est susceptible d'exister à ce moment
Y, Indoors	cette espèce exotique est présente mais n'a été vue qu'à l'intérieur

Le tableau 3 présente en détail le type de données recueillies à partir des 14 sources principales considérées de portails Internet et littéraires publiés. Le tableau indique également à son tour lequel des embranchements inclus sera relativement sous-représenté dans le Registre RINSE résultant.

Par exemple, en raison du grand nombre d'espèces exotiques d'angiospermes terrestres, le calendrier du projet n'a malheureusement pas permis de considérer toutes les espèces de ce groupe listées sur les sites Web DAISIE et NNS. Sur la base de renseignements fournis par des sources telles que Q-Bank et Plantlife (voir tableau 1 des espèces listées comme « Registre (Angiospermes) »), nous avons ainsi mis l'accent sur l'inclusion des angiospermes terrestres particulièrement inquiétantes et envahissantes.

L'embranchement très divers des arthropodes (y compris tous les insectes) a présenté un problème similaire. Dans ce cas, nous nous sommes abstenus d'inclure toutes les espèces listées sur le site SSNN et avons plutôt mis l'accent sur les publications couvrant tous les pays RINSE comme Roques et al. (2009) et Rabitsch (2008) (voir le tableau 1 espèces listées comme « Registre (Arthropodes) »).

En raison de ces ajustements nécessaires dans notre méthodologie, le lecteur doit garder à l'esprit que les angiospermes et arthropodes seront en comparaison, par exemple, les chordés, relativement sous-représentés dans le Registre final RINSE.

Tableau 3. Les 14 sources de données principales basées sur le Web et la littérature utilisées pour la compilation du registre des espèces exotiques dans les pays RINSE (voir le tableau 1 pour les détails de référence complets). Abréviations : na, non applicable car aucune donnée sur la présence d'espèces au sein de l'embranchement/la division respective dans les quatre pays n'était disponible de cette source ; N, sources non utilisées à l'égard de l'embranchement/de la division respective ; Y, tous les taxons de l'embranchement respectif que cette source liste comme présents dans un ou plusieurs des quatre pays ont été inclus ; Y ex T, tous les taxons sauf les terrestres de l'embranchement respectif que cette source liste comme présents dans un ou plusieurs des quatre pays ont été inclus.

Règne	Embranchement	DAISIE (2012a)	ISSG (2012)	CABI (2012)	FAO (2012)	NOBANIS (2012)	NNSS (2012)	Waarnemingen	Waarneming (2012)	Naturalis (2012)	Belgian Forum on Invasive Species	Gollasch et al. (2009)	Preisler et al. (2009)	Wolff (2005)	Plantlife (2010)
Virus, Protistes	Virus	na	na	Y	na	na	Y	na	na	N	na	na	na	na	na
	Firmicutes	na	na	na	na	na	Y	na	na	N	na	na	na	na	na
	Protéobactéries	na	Y	Y	na	na	na	na	na	N	na	na	na	na	na
	Cercozoa	Y	na	na	na	na	Y	na	na	N	na	Y	na	Y	na
Algues	Dinoflagellés	Y	na	na	na	na	Y	Y	Y	N	na	Y	na	Y	Y
	Haptophytes	Y	na	na	na	na	Y	Y	Y	N	na	Y	na	na	Y
	Hétérokontophytes	Y	Y	Y	Y	na	Y	Y	Y	N	na	Y	na	Y	Y
	Chlorophytes	Y	Y	Y	Y	na	Y	Y	Y	N	na	Y	na	Y	Y
	Rhodophycées	Y	Y	Y	Y	na	Y	Y	Y	N	na	Y	na	Y	Y
Plantes	Marchantiophytes	Y	na	na	na	na	na	N	N	N	na	na	na	na	Y
	Bryophytes	Y	na	Y	na	na	na	N	N	N	na	na	na	na	Y
	Lycopodiophytes	Y	na	na	na	na	Y	N	N	N	na	na	na	na	Y
	Ptéridophytes	Y	na	Y	Y	na	Y	N	N	N	Y	na	na	na	Y
	Pinophytes	N	na	Y	na	na	N	N	N	N	na	na	na	na	Y
	Angiospermes	Y ex T	Y	Y	Y	Y	Y	Y ex T	N	N	N	Y	Y	na	Y
Champignons	Chytridiomycètes	Y	na	na	na	na	na	N	N	N	na	na	na	na	na
	Zygomycètes	na	na	na	na	na	Y	N	N	N	na	na	na	na	na
	Ascomycètes	Y	Y	Y	na	na	na	N	N	N	na	na	na	na	na
	Basidiomycètes	Y	Y	Y	na	na	na	N	N	N	na	na	na	na	na
Animal	Porifères	Y	na	na	na	na	Y	Y	Y	Y	na	Y	Y	Y	na
	Cnidaires	Y	na	Y	Y	na	Y	Y	Y	Y	na	Y	Y	Y	na
	Cténophores	Y	na	Y	na	na	Y	Y	Y	Y	na	Y	Y	na	na
	Plathélminthes	Y	na	na	na	na	Y	Y	Y	Y	na	Y	Y	Y	na
	Rotifères	Y	na	na	na	na	na	Y	Y	Y	na	na	na	na	na
	Bryozoaires	Y	Y	Y	na	na	Y	Y	Y	Y	na	Y	Y	Y	na
	Entoproctes	na	na	na	na	na	Y	Y	Y	Y	na	na	na	na	na
	Némertes	Y	na	na	na	na	na	Y	Y	na	na	na	na	na	na

Mollusques	Y	Y	Y	Y	na	Y	Y	Y	Y	na	Y	Y	Y	na
Annélides	Y	Y	Y	Y	na	Y	Y	Y	Y	na	Y	Y	Y	na
Nématodes	Y	na	Y	na	na	Y	Y	Y	Y	na	Y	Y	Y	na
Arthropodes	Y	Y	Y	Y	na	Y ex T	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	na
Chordés	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	na

2.2.2 Listes ciblées

Pour faciliter une analyse plus approfondie des tendances des introductions d'espèces et des historiques envahissants des des EE de la zone RINSE, les cinq groupes d'organismes suivants ont été étudiés en détail : (1) angiospermes (plantes à fleurs) de notre liste noire des EEE (voir ci-dessous), (2) mollusques, (3) ostéichthyes (i.e. poissons osseux), (4) ansériformes (i.e. oies, canards, cygnes et apparentés), et (5) mammifères.

A cet effet, les données supplémentaires suivantes ont été recueillies sur ces groupes : (a) première année d'observation à l'état sauvage dans chacun des 4 pays RINSE, (b) type fonctionnel, (c) continent d'origine, (d) voie/vecteur d'invasion, (e) types d'habitat occupés dans la variété envahie, (f) présence/absence de reproduction asexuée ou d'autofécondation, (g) présence/absence de stades résistants, et (h) présence/absence de prédateurs dans la variété envahie. Les sources utilisées pour cette tâche sont les portails DAISIE et NNSS, et sont répertoriées comme une « liste ciblée » dans le tableau 1. Après la phase de collecte des données, chaque liste ciblée a été envoyée aux partenaires RINSE pour examen. Les partenaires ont eu au moins deux semaines pour examiner et commenter les données recueillies.

Les données recueillies nous ont permis, par exemple, de reconstruire et de comparer les historiques d'invasion de certains groupes taxonomiques ou fonctionnels, et de fournir une base pour prédire l'introduction et la propagation futures d'espèces envahissantes dans la région RINSE.

2.2.3 Analyse des données

Les données pour le registre général des EE ont été mises dans une feuille Excel. Des analyses de groupe ont été réalisées à l'aide du programme statistique PAST ver. 2.17c (<http://folk.uio.no/ohammer/past/>). Pour étudier la similitude dans la composition des espèces exotiques entre pays et régions RINSE, la matrice de coefficients de similitude Jaccard a été appliquée :

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$$

où $A \cap B$ est le nombre des espèces partagées par les deux ensembles échantillonnés et $A \cup B$ est le nombre des espèces non partagées par les deux ensembles échantillonnés.

Les données de la liste ciblée ont été d'abord collectées dans un fichier texte afin de faciliter une visibilité directe des commentaires et des modifications effectuées par les partenaires RINSE au cours du processus d'examen (en appliquant l'option de suivi des modifications Word). Après l'achèvement de cette étape, les données ont été copiées dans une feuille Excel et

transformées en format numérique pour la visualisation et l'analyse statistique des données (effectuée dans Minitab ver. 16). Les données contradictoires et autres problématiques ont été ainsi traitées comme suit :

- Toutes les espèces qui ont été listées comme « oui (présente) » (voir le tableau 2 pour la définition) par au moins une source ont été incluses dans l'analyse.
- Les EE enregistrées avant l'année 1500 n'ont pas été examinées davantage.
- Lorsque différentes sources ont listé différentes années de première observation dans la nature, la première année a été considérée pour l'analyse des données.

2.3 Analyse prospective des EEE

Plusieurs institutions nationales et internationales ont produit des listes d'EEE susceptibles de causer les pires impacts sur la diversité biologique. Les 100 pires espèces envahissantes en Europe compilées par le projet DAISIE financé par l'UE (www.europe-aliens.org) ainsi que la liste d'alerte des espèces établie par le Forum belge sur les espèces envahissantes (ias.biodiversity.be/) en sont de bons exemples.

Dans cette étude, nous nous sommes basés sur 16 listes de ces «pires envahisseurs » pour créer une métaliste, y compris toutes les EEE mises en évidence par les autorités nationales pour une analyse prospective mondiale. Les critères adoptés par chaque fournisseur pour la sélection des pires EEE sont résumés dans le tableau 4. Cet exercice a donné lieu à une métaliste de 340 espèces, qui ont été divisées en deux groupes principaux :

- **Liste d'alerte** des EEE dans la région RINSE. Inclut les espèces pas encore présentes dans l'un des quatre pays RINSE. Cette liste a comporté un total de 79 espèces.
- **Liste noire** des EEE déjà présentes dans au moins un des quatre pays RINSE, comprenant 261 organismes.

Notons que la portée géographique de certaines des listes sources est plus large que la région d'étude (par exemple, l'ISSG est mondiale, DAISIE est européenne), donc la métaliste pourrait inclure des espèces peu susceptibles de constituer une menace pour la région RINSE en raison de contraintes de dispersion ou climatiques (par ex. les espèces méditerranéennes ou tropicales). Parce qu'il est souvent difficile de déterminer si les contraintes climatiques d'une espèce empêcheront son éventuelle introduction, nous avons décidé de garder toutes les EEE dans la métaliste, et avons attendu d'autres évaluations des risques pour fournir plus de détails sur leur probabilité d'introduction et leur impact. Nous nous référons ci-après aux organismes figurant sur les listes comme « les pires EEE » pour plus de simplicité, même si nous réalisons que les listes ne sont nullement définitives et pourraient être mises à jour dans le futur.

Bien que la plupart des listes sources consultées pour ce projet étaient diverses d'un point de vue taxinomique, des micro-organismes tels que les protistes, les procaryotes, les virus et les protozoaires n'ont pas été inclus en raison de l'absence d'informations

fiables concernant leur statut (invasif vs cryptique) et de la répartition dans la région RINSE. De même, des groupes tels que les champignons et les algues ont peut-être été sous-estimés dans la métaliste.

Un « Atelier d'experts RINSE » a été organisé à l'université Ste Catherine de Cambridge le 21 novembre 2012 avec 22 partenaires RINSE invités représentant les quatre pays RINSE. Lors de cet atelier, les partenaires ont discuté du Registre des EE, des listes d'alerte et noire des EEE et ont eu l'occasion de présenter des suggestions et des amendements. Les experts RINSE ont été classés en trois groupes de travail thématiques (animaux aquatiques, animaux terrestres et plantes), et il leur a été demandé d'utiliser les lignes directrices présentées dans le tableau 5 pour évaluer les risques des espèces de la liste d'alerte.

Initialement, seuls les partenaires RINSE étaient invités à évaluer les risques des espèces de la liste d'alerte. Toutefois, étant donné que l'expertise des experts consultés était limitée à quelques groupes d'organismes (souvent les plantes et les mammifères), nous avons décidé d'ouvrir la consultation à des experts externes, y compris le forum de l'UICN des espèces exotiques envahissantes « Aliens-L », qui a fourni des retours abondants et très utiles. La fiabilité du site géographique et professionnel de chaque personne ayant répondu à notre consultation a été soigneusement vérifiée. Une liste des experts participant à la hiérarchisation des listes d'alerte et noire des EEE est incluse à l'annexe D.

Tableau 4. Liste des fournisseurs de données des pires EEE consultées et critères utilisés pour la sélection des espèces. #Num : nombre d'espèces incluses dans la « métaliste » de chaque fournisseur.

Liste	Objectifs	Portée géographique	Critères	Autres détails	#Num	Source
BFIS-Harmonia (Forum belge sur les espèces envahissantes)	Réunir des informations scientifiques sur la présence, la répartition, l'auto-écologie, les impacts négatifs et la gestion des espèces exotiques envahissantes	Belgique	Sélection d'espèces qui ne sont pas encore observées en Belgique mais sont envahissantes dans les pays voisins où elles sont considérées comme grandement préjudiciables à la biodiversité	Seulement celles de la catégorie A0 (non présentes en Belgique) ont été examinées ici pour la liste d'alerte et A1-3 pour la liste noire.	52	ias.biodiversity.be/
Liste noire d'Europe	Examiner et rassembler les listes existantes des EEE pour l'Europe, analyser le rôle du commerce dans leur introduction et identifier les lacunes et les potentialités des connaissances	Europe	Collation des espèces inscrites sur cinq listes différentes des « pires » envahisseurs	Les ravageurs des cultures exclusifs n'ont pas été pris en compte pour cette étude	211	wcd.coe.int/
DAISIE (Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe)	Créer un inventaire de toutes les espèces exotiques présentes en Europe	Europe, Israël et une partie de la Russie	Consultation d'experts Le critère principal pour l'inclusion dans la liste est l'impact connu sur la biodiversité, sur la base des données publiées	La liste DAISIE exclut les espèces indigènes dans certaines parties de l'Europe, et les formes domestiques	100	www.europe-aliens.org
EA top 10 IAS (Agence pour l'environnement)	Sélectionner les pires espèces d'eau douce que l'agence environnementale, les propriétaires fonciers, les associations de pêche à la ligne et les groupes communautaires cherchent à éradiquer ensemble	Angleterre	Espèces sélectionnées sur la base d'avis d'experts.	10 principales espèces exotiques ayant envahi les côtes britanniques, se propageant et menaçant la faune indigène.	10	www.environment-agency.gov.uk/static/documents/Invasive_species_top_10_hit_list.pdf
Liste des plantes étrangères envahissantes EPPO	Identifier les plantes comme ayant un fort potentiel de propagation ; comme posant une menace importante pour la santé des végétaux et/ou de l'environnement et la biodiversité ; et finalement comme ayant aussi d'autres impacts sociaux négatifs dans la région OEPP.	48 états membres	Espèces présentant le plus grand danger pour les espèces et les écosystèmes de la région OEPP et dont la gestion est recommandée comme une priorité.		34	http://www.eppo.int/INVASIVE_PLANTS/ias_lists.htm#IAPList
Gallardo and Aldridge (2012, 2013a)	Prédire la répartition potentielle des EEE en Grande-Bretagne et en Irlande	Grande-Bretagne et Irlande	Consultation d'experts	Espèces d'eau douce seules considérées	21	www.esajournals.org/doi/abs/10.1890/12-1018.1

GB-NNSS (Secrétariat des espèces exotiques)	Sélectionner des espèces pour lesquelles le NNSS a recommandé une attention particulière en termes de surveillance et de rapport	Grande-Bretagne	Espèces envahissantes à haut risque pas encore présentes en GB mais qui pourraient entrer dans le futur. Espèces de goujons considérées comme à haut risque.		17	secure.fera.defra.gov.uk/
ICES Groupe de travail sur l'introduction et le transfert des organismes marins (WGITMO)	Mettre à jour les informations et discuter de plusieurs aspects liés à l'introduction des espèces étrangères	Monde	Les espèces problématiques sont identifiées par des experts de chaque pays participant.		10	www.ices.dk/workinggroups/
Groupe spécial des espèces exotiques envahissantes (ISSG) de l'UICN	Améliorer la prise de conscience sur la complexité et les conséquences des espèces exotiques envahissantes	Monde	Deux critères: leur impact grave sur la diversité biologique et/ou les activités humaines, et leur illustration de problèmes importants entourant l'invasion biologique.		83	www.issg.org/database
Roy et al. (2012)	Documenter la répartition et l'impact des EEE en Grande-Bretagne	Grande-Bretagne	Collation de base de données et de consultation d'experts coordonnée par le Centre for Ecology and Hydrology (CEH)		66	secure.fera.defra.gov.uk/
Nentwig et al. (2010), Kumschick and Nentwig (2010)	Évaluer le risque de 34 mammifères étrangers et 26 oiseaux indigènes de l'extérieur de l'Europe.	Europe	Recherche documentaire suivie par le système de notation. Impacts environnementaux (rivalité, prédation, hybridation, transmission de maladies ou herbivores) et économiques (agriculture, élevage, sylviculture, santé humaine ou infrastructures) évalués. Les scores (0-5) pour chacune des 10 catégories sont additionnés.	Trois chercheurs indépendants ont attribué des notes et la valeur médiane a été utilisée.	7	www.cdt.ch/files/docs/1be5b9948981b5baead5de5936237e0f.pdf ftpshare.its.unibe.ch/iee/pub/7/2010/960.pdf

NOBANIS (Réseau nord-européen et baltique sur les espèces exotiques envahissantes)	Fournir des outils pour empêcher la dispersion involontaire d'espèces exotiques envahissantes et promouvoir la coopération régionale pour leur éradication, contrôle et atténuation des effets écologiques.	Europe du Nord : Danemark, Estonie, Finlande, Îles Féroé, Allemagne, Groenland, Islande, Lettonie, Lituanie, Norvège, Pologne, Suède et une partie de la Russie	Espèces sélectionnées sur la base d'avis d'experts.		82	www.nobanis.org/Factsheets.asp
Panov et al. (2009)	Élaborer des protocoles d'évaluation des risques et des indicateurs de qualité de l'eau pour les EEE aquatiques	Europe	Les espèces sont classées dans une liste noire ou grise selon leur risque de dispersion, établissement, impacts écologiques et/ou socio-économiques défavorables	Seules les espèces aquatiques continentales sont considérées	24	www.reabic.net/publ/IEAM2009_Panov_et_al.pdf
Parrot et al. (2009)	Aider Natural England à identifier d'éventuelles nouvelles espèces exotiques envahissantes en Angleterre et leurs impacts sur la biodiversité.	Angleterre	Espèces récupérées de listes d'espèces européennes d'alerte (par ex. DAISIE, EPPO, ISSG, GISP, ALARM), revue de la littérature et de la consultation d'experts.	Protocole adapté du Forum belge sur les espèces exotiques envahissantes (BFIS, ias.biodiversity.be). Seules les catégories A0 (non présentes en Angleterre) et 0,5 (absentes à l'état sauvage) ont été considérées ici.	42	www.naturalengland.org.uk
SEBI2010 (Indicateurs de biodiversité de rationalisation européenne 2010)	Compiler un ensemble d'indicateurs de biodiversité pour évaluer et informer sur les progrès par rapport aux objectifs du CDB de 2010 afin d'enrayer la perte de la biodiversité en Europe. Y compris les « Tendances des espèces exotiques envahissantes ».	56 états membres de l'Europe	Graves répercussions sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes ; remplacement des espèces indigènes dans toute son aire de répartition ; hybridation avec des espèces indigènes ; menace à la biodiversité unique ; conséquences négatives sur les activités humaines, la santé et/ou les intérêts économiques (par ex. parasite, pathogène ou vecteur de maladie).	La sélection a été faite par des experts. Les informations sous-jacentes ont été recueillies au moyen d'études de la littérature, de contacts avec d'autres experts et de connaissances propres.	56	www.bipnational.net/IndicatorInitiatives/SEBI2010
Réseau Waarnemingen	Rationaliser le processus d'observation et les rapports des nouvelles espèces.	Belgique et Pays-Bas	Liste d'alarme : espèces qui ne sont pas encore localisées ou seulement dans quelques endroits.		9	waarnemingen.be/

2.3.1 Hiérarchisation de la liste d'alerte

Afin de prioriser la liste d'alerte des EEE, des scores de risque décrivant l'impact environnemental et économique des espèces (dans un pire scénario d'invasion potentielle) a été attribué à chaque espèce. Le système de notation des risques a été modifié à partir de Molnar et al. (2008) et a considéré l'impact écologique, le potentiel invasif, la gestion des difficultés et l'impact économique de l'espèce (tableau 5).

Tableau 5. Lignes directrices fournies aux experts pour évaluer les EEE dans la Liste d'alerte (comprenant les pires espèces pas encore présentes dans les pays RINSE).

Impact écologique	
U	Informations inconnues ou insuffisantes pour déterminer le score
1	Peu ou pas de perturbation
2	Perturbe une seule espèce avec des impacts faibles ou plus vastes sur l'écosystème
3	Perturbe plusieurs espèces, dont certaines fonctions plus larges de l'écosystème, et/ou des espèces clés ou des espèces à haute valeur de conservation
4	Perturbe les processus entiers des écosystèmes avec de larges influences abiotiques
Potentiel invasif	
U	Informations inconnues ou insuffisantes pour déterminer le score
1	Introduction future très peu probable en raison de ses préférences environnementales, vecteurs et voies d'introduction
2	Introduction probable de propagules mais établissement peu probable de populations à l'état sauvage en raison des contraintes environnementales
3	Actuellement présent et/ou risque de propagation moins rapide à l'avenir
4	Introduction à court terme très probable en raison des conditions environnementales appropriées, de la proximité des régions envahies / des vecteurs et voies appropriés, et d'un potentiel de propagation élevé
Difficulté de gestion	
U	Informations inconnues ou insuffisantes pour déterminer le score
1	Facilement réversible, sans aucune gestion continue nécessaire (éradication)
2	Réversible avec une certaine difficulté et/ou peut être contrôlé avec une gestion périodique
3	Réversible avec difficulté et/ou peut être contrôlé avec une gestion continue significative
4	Irréversible et/ou ne peut être contenu ou contrôlé
Impact économique	
U	Informations inconnues ou insuffisantes pour déterminer le score
1	Impact économique faible ou inexistant
2	Affecte un secteur économique (agriculture, élevage, sylviculture, santé humaine et infrastructures) avec peu ou pas de répercussions économiques plus larges
3	Affecte plusieurs secteurs économiques (agriculture, élevage, sylviculture, santé humaine et infrastructures), nécessitant des investissements périodiques afin de contrôler les dommages
4	Affecte des secteurs économiques multiples et/ou clé (agriculture, élevage, sylviculture, santé humaine et infrastructures), nécessitant des investissements continus importants pour contrôler les dommages

Idéalement, trois séries de scores seront attribuées à chaque EEE par des collaborateurs experts du projet RINSE et/ou des experts indépendants. Cependant, même si la consultation a duré plus de trois mois, cela n'a été possible que pour 25 % des EEE de la liste d'alerte, tandis que 45 % et 30 % ont été évalués par deux et un expert(s) respectivement.

Les EEE ont finalement été classées en fonction de leur score de risque moyen global, et le top 3 des plantes terrestres, des animaux terrestres, des organismes aquatiques continentaux et marins ont été extraits pour générer une liste d'alerte des 12 principales EEE dont l'introduction et la gestion de la propagation devrait être une priorité.

2.3.2 Hiérarchisation de la liste noire

L'évaluation du risque de la liste noire aussi complètement qu'avec la liste d'alerte n'a malheureusement pas été possible en raison du nombre élevé d'espèces incluses. Nous avons donc décidé d'une consultation d'experts plus simple. Les EEE ont été divisées en quatre groupes homogènes : plantes terrestres, animaux terrestres, organismes aquatiques continentaux et aquatiques marins. Une enquête a été conçue en collaboration avec Mike Sutton-Croft (Coordinateur technique RINSE) afin d'inviter les experts RINSE à sélectionner les 10 EEE qu'ils considèrent comme les plus préoccupantes en termes d'impacts environnementaux actuels et potentiels dans la région RINSE (Figure 4). Ce mode de scrutin est un moyen économique et rapide de signaler les espèces mises en évidence de manière cohérente par des experts comme étant les plus inquiétantes.



Figure 4. Capture d'écran de l'enquête sur le Web conçue pour hiérarchiser les espèces dans la Liste noire. Des experts en espèces envahissantes ont été invités à sélectionner jusqu'à 10 espèces qu'ils considèrent comme « les pires » en fonction de leurs impacts sur les écosystèmes.

2.4 Modélisation de la répartition des EEE

L'établissement et la propagation des espèces exotiques envahissantes sont susceptibles d'être affectés par des motifs géographiques tels que l'adéquation entre les conditions bioclimatiques des indigènes et des variétés envahies, les vecteurs et les voies d'introduction. Les modèles de répartition des espèces (MRE) sont une technique statistique souvent utilisée pour localiser des zones à l'échelle continentale ou régionale, qui sont

d'un point de vue environnemental plus similaires à la variété actuelle d'une espèce exotique envahissante, et sont donc plus susceptibles de réussir une colonisation dans le cas d'une introduction (Guisan & Thuillier, 2005) (figure 5).

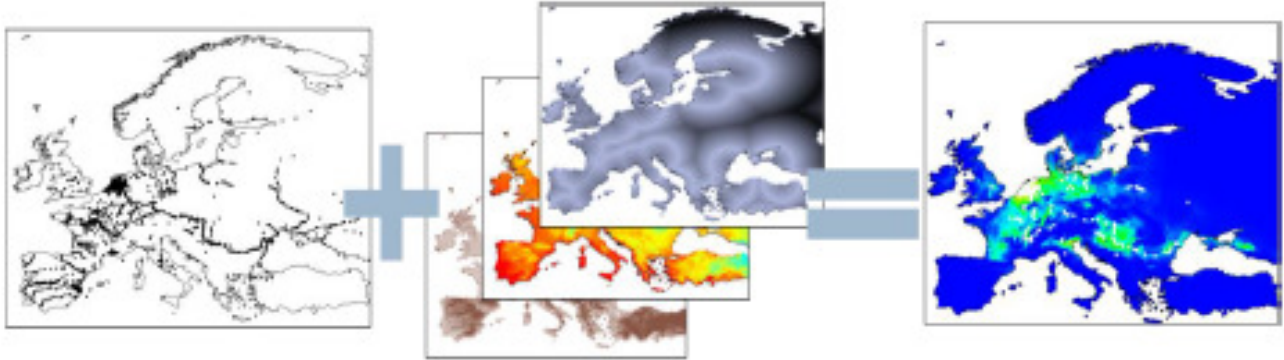


Figure 5. Les modèles de répartition des espèces (MRE) utilisent généralement une carte des occurrences et un ensemble de cartes environnementales pour calibrer les préférences des espèces. L'adéquation de la zone d'étude pour l'espèce est ensuite calculée en fonction de sa niche écologique.

Les MRE corrélient essentiellement la présence d'une espèce donnée avec les conditions environnementales (cartes SIG de trame) des sites qu'elle habite. L'un des principaux défis de ce projet a été la modélisation simultanée des espèces terrestres, d'eau douce et marines, ce qui nécessite non seulement des connaissances d'expert sur ces types d'organismes très différents, mais aussi une organisation des ensembles de variables environnementales qui peuvent être des variables indépendantes pertinentes pour ces trois groupes d'espèces.

Concernant les couches environnementales, leur résolution est une importante décision à prendre. La résolution d'une carte de trame est donnée par la taille de chacun de ses pixels et se situe généralement entre 30 secondes d'arc (env. 1 km²) et 10 minutes d'arc (env. 400 km²). Des hautes résolutions (30 s) peuvent être préférables a priori, afin de détecter de petites variations de dimension dans la répartition potentielle de l'espèce. Cependant, les cartes à haute résolution sont très gourmandes en données, difficiles à manipuler et augmentent considérablement le temps de calcul et les besoins en espace. En raison du nombre élevé d'espèces à modéliser, et après avoir testé plusieurs options, nous avons choisi une résolution intermédiaire de 5 minutes d'arc (env. 100 km²). Cette résolution était le meilleur compromis entre la réduction de l'espace informatique et le temps de modélisation sans perdre notablement la performance prédictive.

Les espèces dans les listes d'alerte et noire ont été divisées en quatre groupes homogènes : plantes terrestres, animaux terrestres, espèces aquatiques continentales et marines. Les espèces qui peuvent habiter dans plus d'un habitat ont été affectées au plus habituel. Par exemple, les animaux semi-aquatiques comme le *Castor canadensis* ou la *Pomacea canaliculata* ont été affectés aux animaux terrestres. Toutefois,

l'attribution de l'habitat n'a pas d'incidence sur les résultats des modèles. Un nombre minimum de représentation des espèces de chaque groupe a été modélisé respectivement à partir des listes d'alerte et noire (tableaux 4 et 6). La sélection des espèces pour la modélisation a été fait en tenant compte des scores de risque attribués à la première étape de l'analyse prospective (i.e. note moyenne totale pour les espèces d'alerte et nombre de votes pour les espèces noires), et la disponibilité de données fiables pour la modélisation (voir 3.4.1 Collecte d'occurrence des espèces).

Tableau 6. Espèces modélisées à partir des listes d'alerte et noire des EEE. Total = 72 espèces (42 de la Liste d'alerte et 30 de la liste noire des EEE).

	Liste d'alerte	Liste noire
Plantes terrestres	<i>Imperata cylindrica</i> <i>Lantana camara</i> <i>Malaleuca</i> <i>Quinquenervia</i> <i>Miconia</i> <i>Calvescens</i> <i>Mikania</i> <i>Micrantha</i> <i>Prosopis</i> <i>Glandulosa</i> <i>Pueraria lobata</i> <i>Montana</i> <i>Rubus ellipticus</i> <i>Schinus terebinthifolius</i> <i>Tamarix ramosissima</i>	<i>Acacia dealbata</i> <i>Carpobrotus edulis</i> <i>Cortaderia selloana</i> <i>Echinocystis lobata</i> <i>Hedychium gardnerianum</i> <i>Opuntia ficus-indica</i> <i>Oxalis pes-caprae</i>
Animaux terrestres	<i>Ammotragus lervia</i> <i>Anoplolepis gracilipes</i> <i>Bison bison</i> <i>Boiga irregularis</i> <i>Callosciurus finlaysonii</i> <i>Castor canadensis</i> <i>Chrysemys picta</i> <i>Euglandina rosea</i> <i>Muntiacus muntjak</i> <i>Pomacea canaliculata</i>	<i>Aedes albopictus</i> <i>Anoplophora glabripennis</i> <i>Bemisia tabaci</i> <i>Ceratiti capitata</i> <i>Linepithema humile</i> <i>Sciurus carolinensis</i> <i>Thaumetopoea processionea</i> <i>Vespa velutina</i>
Continentaux aquatiques (eaux douces et saumâtres)	<i>Aphanius dispar</i> <i>Cercopagis pengoi</i> <i>Clarias batrachus</i> <i>Chaetogammarus warpachowski</i> <i>Gammarus fasciatus</i> <i>Lates niloticus</i> <i>Neogobius gymnotrachelus</i> <i>Obesogammarus obesus</i> <i>Pontogammarus robustoides</i> <i>Theodoxus danubialis</i>	<i>Anguillicola crassus</i> <i>Cabomba caroliniana</i> <i>Dreissena r. bugensis</i> <i>Eichhornia crassipes</i> <i>Marenzelleria neglecta</i> <i>Myriophyllum heterophyllum</i> <i>Neogobius melanostomus</i> <i>Proterorhinus marmoratus</i>
Aquatiques marins	<i>Anadara inaequalvis</i> <i>Asparagopsis taxiformis</i> <i>Asterias amurensis</i> <i>Charybdis longicollis</i> <i>Chionoecetes opilio</i> <i>Fistularia</i> <i>Commersoni</i> <i>Paralithodes</i> <i>Camtschaticus</i> <i>Portunus</i> <i>Pelagicus</i> <i>Potamocorbula</i> <i>Amurensis</i> <i>Saurida</i> <i>Undosquamis</i> <i>Seriola fasciata</i> <i>Siganus rivulatus</i>	<i>Alexandrium catenella</i> <i>Balanus improvisus</i> <i>Caulerpa taxifolia</i> <i>Codium fragile</i> <i>Coscinodiscus wailesii</i> <i>Musculista senhousia</i> <i>Undaria pinnatifida</i>

2.4.1 Collecte d'occurrence des espèces

Des informations sur la répartition spatiale actuelle des espèces envahissantes ont été obtenues à partir des portails de données suivants :

- Système mondial d'information sur la biodiversité (GBIF, data.gbif.org)
- Service d'accès de la collection biologique pour l'Europe (BioCase, www.biocase.org)
- Système d'information sur la biogéographie de l'océan (IOBIS, iobis.org/mapper)
- The Netherlands Biodiversity Information Facility (NLBIF, www.nlbif.nl)
- Waarnemingen network (waarnemingen.be/ waarnemingen.nl)
- National Biodiversity Network (NBN, Gateway data.nbn.org.uk)
- Discover Life (www.discoverlife.org)

Le décompte à la fois de la variété d'espèces indigènes et exotiques envahissantes (2 fois) a été souligné par plusieurs auteurs comme étant essentiel afin de ne pas sous-estimer la répartition potentielle de l'espèce (Broennimann & Guisan, 2008 ; Beaumont *et al.*, 2009). Dans ce cas, nous avons utilisé la répartition indigène et envahissante connue de chaque espèce décrite dans DAISIE et GSEE comme référence pour identifier les lacunes de nos cartes de répartition, et un examen approfondi de la littérature ISI a été mené afin de compléter notre base de données (Annexe A). Seules les espèces de la liste d'alerte pour lesquelles des données géoréférencées couvrant l'ensemble de leur aire de répartition connue ont pu être récupérées et donc modélisées. Cela a malheureusement exclu des espèces dont l'évaluation du risque de la liste d'alerte était élevé, comme l'agrile du frêne (*Agrilus planipennis*) ou le goujon de l'amour (*Percottus glenii*).

Une fois que nous avons obtenu la carte de répartition la plus précise pour une espèce, le logiciel ENMTools v1.3 (enmtools.blogspot.co.uk /, Warren *et al.* 2008) a été utilisé pour supprimer les doublons à l'aide d'une des grilles environnementales comme référence. Cette procédure ne laisse qu'un seul point d'occurrence par pixel de 5 minutes d'arc, évitant ainsi les doublons qui peuvent biaiser les prévisions de résultat.

2.4.2 Couches continentales

Des couches continentales ont été utilisées pour calibrer les préférences environnementales des plantes terrestres, des animaux terrestres et des espèces aquatiques continentales.

Les MRE ont été traditionnellement calibrés avec des facteurs bioclimatiques dérivés de ceux de la pluviométrie et de la température mensuelles, et représentent les tendances annuelles, la saisonnalité et les extrêmes pour la survie de l'espèce (Hijmans *et al.*, 2005). Ces facteurs sont connus pour limiter la répartition des espèces à l'échelle mondiale (Mokany & Ferrier, 2010), sont pertinents pour les taxons terrestres et aquatiques, et constituent donc des indicateurs fiables pour enquêter sur les espèces exotiques envahissantes, réparties à grande échelle. Des données sur 19 variables bioclimatiques ont été obtenues à partir des bases de données WorldClim-World (www.worldclim.org) avec une résolution de 5 minutes d'arc.

Ensuite, nous avons vérifié la corrélation des variables bioclimatiques avec ENMTools v1.3, et seulement 7 variables avec une corrélation de Pearson $r < 0,8$ ont été sélectionnées pour la modélisation :

- Température moyenne annuelle (°C) AnnualT
- Saisonnalité de la température (écart-type) (°C) Tseason
- Température maximale du mois le plus chaud (°C) MaxT
- Température minimale du mois le plus froid (°C) MinT
- Précipitations annuelles (mm) AnnualPP
- Précipitations du mois le plus sec (mm) DriestPP
- Saisonnalité des précipitations (coefficient de variation) (mm) PPseason

En outre, nous avons obtenu l'altitude de WorldClim. La pente et les irrégularités ont été calculées à partir de l'altitude en utilisant ArcView. Cependant, parce que les trois variables étaient fortement corrélées (Pearson $r > 0,8$), nous n'avons utilisé que l'altitude pour la modélisation. L'altitude peut être particulièrement pertinente pour certaines espèces acclimatées à haute altitude et aussi pour les espèces d'eau douce généralement associées à des zones de plaine.

Les données sur les unités géologiques terrestres ont été obtenues de la Commission de la Carte Géologique du Monde (©CCGM-CCGM, Paris 2010 <http://ccgm.free.fr/>) et comprenaient sept structures géologiques du substratum rocheux : roches métamorphiques ou plutoniques endogènes, roches volcaniques extrusives, île, lac, complexes ophiolitiques, roches sédimentaires et faciès indifférencié. La carte géologique - initialement sous la forme d'un fichier de formes - a été transformée en une trame avec les mêmes résolution (5 minutes d'arc) et projection (WGS1984) que les couches bioclimatiques. Un projet visant à établir une base de référence géochimique européenne (weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/index.php) a établi une relation directe entre la géologie du substratum rocheux et les caractéristiques de l'eau, des sédiments et des sols pertinentes pour l'étude des EEE (Salminen *et al.*, 2005). Par exemple, une concentration en calcium et une alcalinité faibles dans les eaux européennes, adaptées aux mollusques et crustacés, ont été significativement associées aux roches métamorphiques et ignées acides (par ex. granit et grès), tandis que les roches sédimentaires (par ex. calcaire et dolomie) fournissent la majeure partie du calcium dans les eaux courantes (Salminen *et al.*, 2005).

En plus des facteurs environnementaux, nous avons introduit dans ce projet un certain nombre de facteurs socio-économiques comme des facteurs prédictifs potentiels à grande échelle de la répartition des espèces. Ceci est basé sur l'hypothèse que les facteurs contrôlant la répartition à l'échelle globale des EEE diffèrent des espèces indigènes, car leur transport et leur mise en place dépendent de l'activité humaine. En outre, des facteurs socio-économiques peuvent être liés non seulement à la pression des propagules, mais aussi à la vulnérabilité des écosystèmes à l'invasion, étant donné que les EEE bénéficient souvent d'un affaiblissement des écosystèmes indigènes perturbés. Nous nous attendons donc à ce que des facteurs socio-économiques promeuvent l'adéquation des grandes régions géographiques à l'établissement des EEE.

Au total, cinq facteurs socio-économiques ont été considérés pour la modélisation (Figure 6) :

- Indice d'influence humaine mondiale (HII, Centre des données socio-économiques et des applications, sedac.ciesin.columbia.edu). Cette carte est produite par une superposition de plusieurs couches de données mondiales qui représentent divers facteurs présumés exerçant une influence sur les écosystèmes : la répartition de la population humaine, les zones urbaines, les routes, les rivières navigables et divers usages agricoles des terres. L'influence combinée de ces facteurs influe sur le HII, qui varie de 0 (conditions proches des primitives) à 64 (systèmes les plus fortement influencés).
- L'utilisation des terres a été obtenue du PIGB (Programme International Géosphère -Biosphère (Classement mondial MODIS de couverture des terres v2, www-modis.bu.edu/landcover) et comprenait neuf catégories : forêts, zones arbustives, savanes, prairies, zones humides, terres cultivées/végétation naturelle, zones urbaines, neige/glace et végétation stérile/clairsemée.
- Densité démographique (Oak Ridge National Laboratory, www.ornl.gov/sci/landscan).
- Distance (en km) du port de commerce le plus proche. Une liste de ports avec plus de 30 mégatonnes de volume total de marchandises en 2009 a été obtenue auprès de l'Association américaine des autorités portuaires (www.aapa-ports.org, dernier accès le 10 mars 2012). La distance euclidienne au port le plus proche a ensuite été calculée à l'aide d'ArcGIS 10.0 ©ESRI.
- Distance (en km) de la route la plus proche. Une carte mondiale des transports a été obtenue de l'ESRI (www.esri.com/). La distance euclidienne à la route principale la plus proche a été calculée à l'aide d'ArcGIS 10.0 ©ESRI.

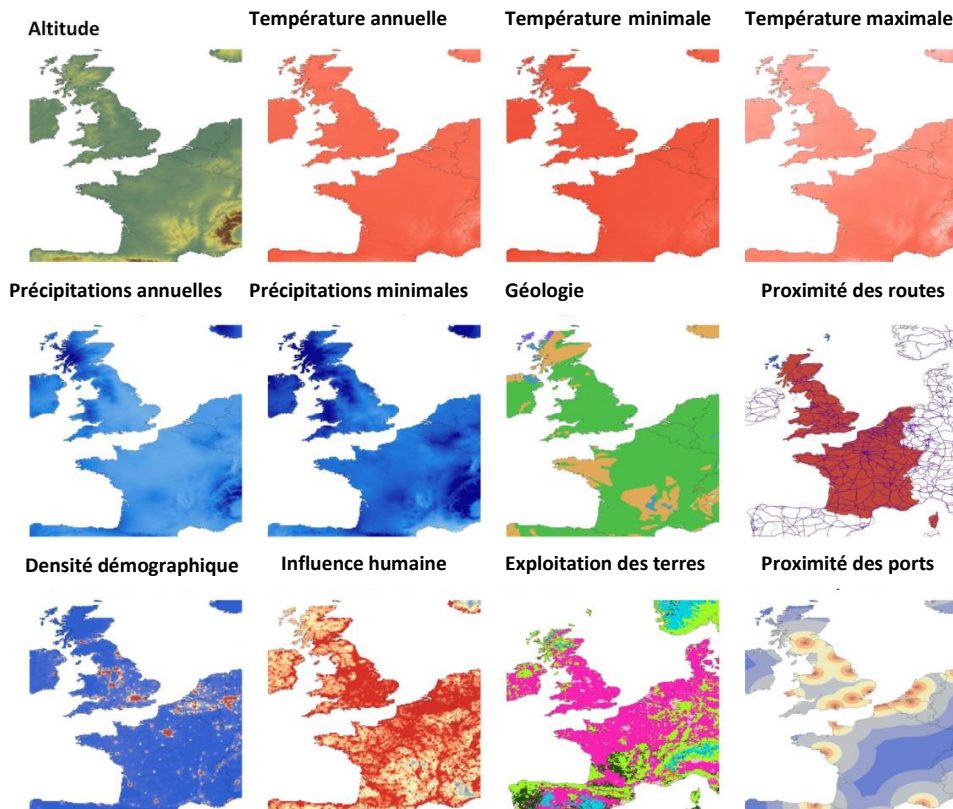


Figure 6. Couches continentales utilisées pour modéliser la répartition potentielle dans la région RINSE des EEE des listes d'alerte et noire. Veuillez noter que les cartes mondiales ont été utilisées pour calibrer les modèles, tandis que seule la région d'étude est indiquée ici pour plus de clarté.

2.4.3 Couches marines

Une série de données géophysiques, biotiques et climatiques a été téléchargée de Bio-Oracle (Ocean Rasters for Analysis of Climate and Environment, www.oracle.ugent.be) à une résolution spatiale de 5 minutes d'arc. De plus amples détails sont disponibles dans (Tyberghein *et al.*, 2012).

L'ensemble des données comprend 23 couches résumées à la figure 7.

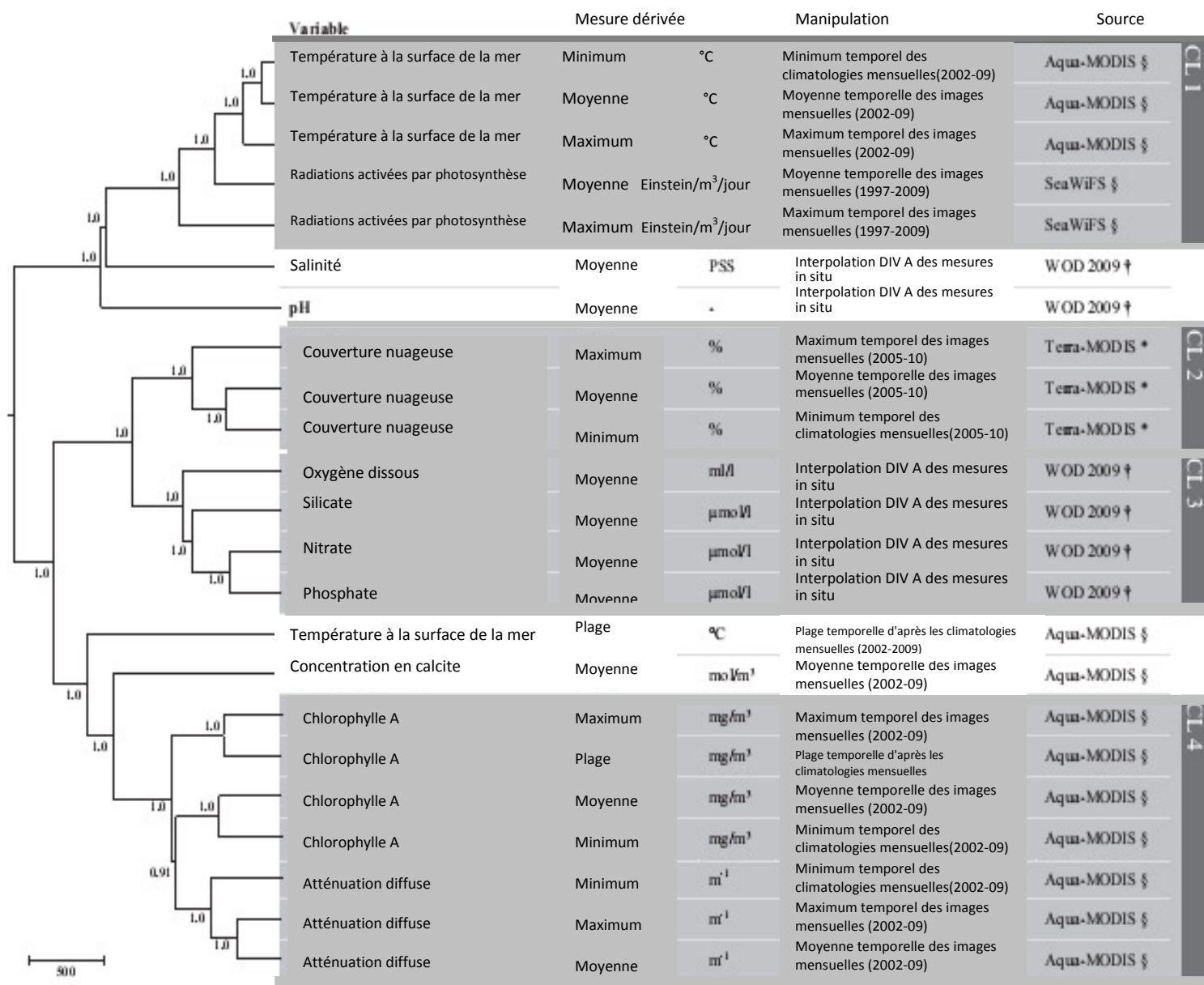


Figure 7. Couches marines considérées pour la modélisation de la répartition potentielle des EEE marines dans la région RINSE. Extrait de Tyberghein et al. 2012.

Après avoir vérifié la corrélation des couches avec ENMTools v1.3, les éléments suivants ont été retenus pour la modélisation de la répartition potentielle des EEE marines (Figure 8) :

- Température de surface maximale
- Température de surface minimale
- Radiation active photosynthétique maximale (PAR)
- Salinité
- pH

- Phosphate
- Oxygène dissout
- Calcite
- Silice
- Chlorophylle minimale
- Chlorophylle maximale

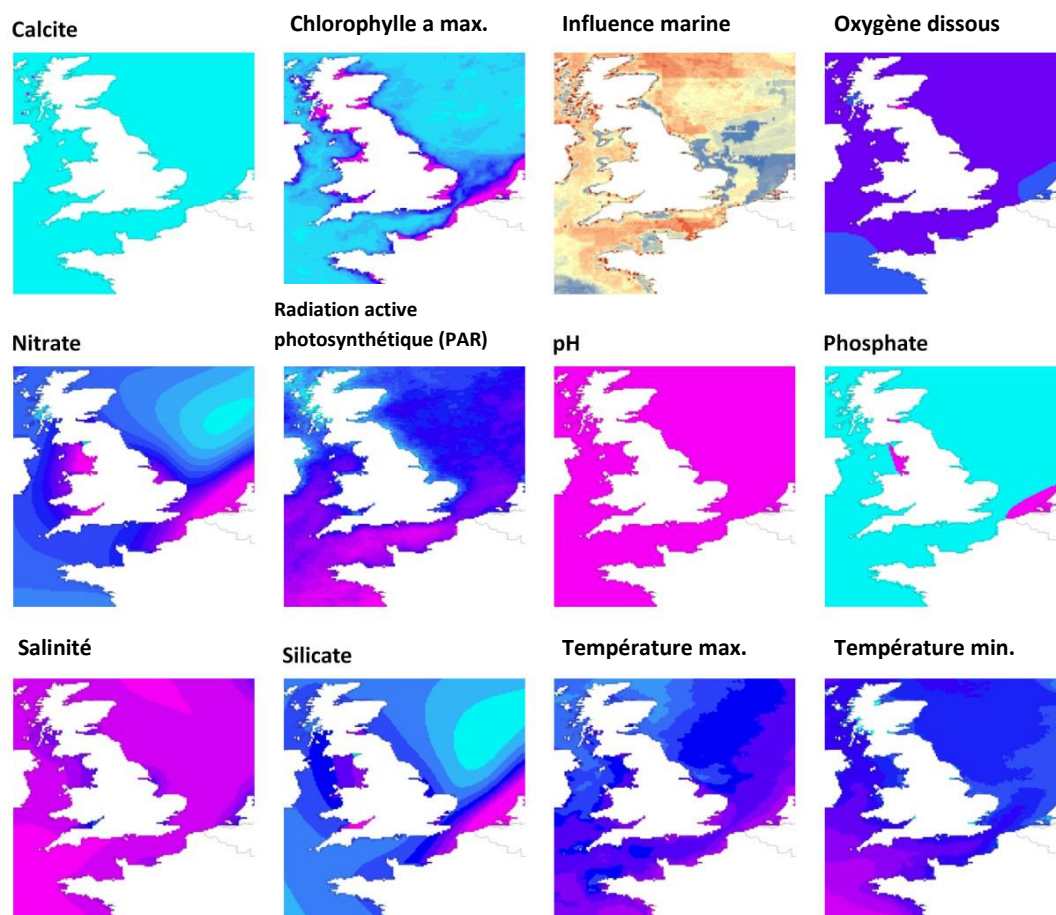


Figure 8. Couches marines utilisées pour modéliser la répartition potentielle des EEE des listes d’alerte et noire dans la région RINSE. Veuillez noter que les cartes mondiales ont été utilisées pour calibrer les modèles, tandis que seule la région d’étude est indiquée ici pour plus de clarté.

En outre, nous avons inclus une carte mondiale des impacts humains sur les écosystèmes marins (Centre national pour l'analyse écologique et de synthèse, www.nceas.ucsb.edu/globalmarine/). Semblable à l'indice d'influence humaine utilisé pour les espèces continentales, cette carte résume les informations concernant 17 activités humaines qui ont un impact direct ou indirect sur les écosystèmes marins tels que la pêche, la navigation, la pollution, l'emplacement des structures benthiques et la pression démographique (voir l'ensemble des 17 activités sur www.nceas.ucsb.edu/globalmarine/impacts/). L'effet cumulatif de ces activités est calculé et cartographié (figure 9). Nous nous attendons à ce que cette carte soit pertinente pour expliquer la répartition potentielle des EEE marines, en raison de leur relation étroite avec les vecteurs et les voies des envahisseurs marins.

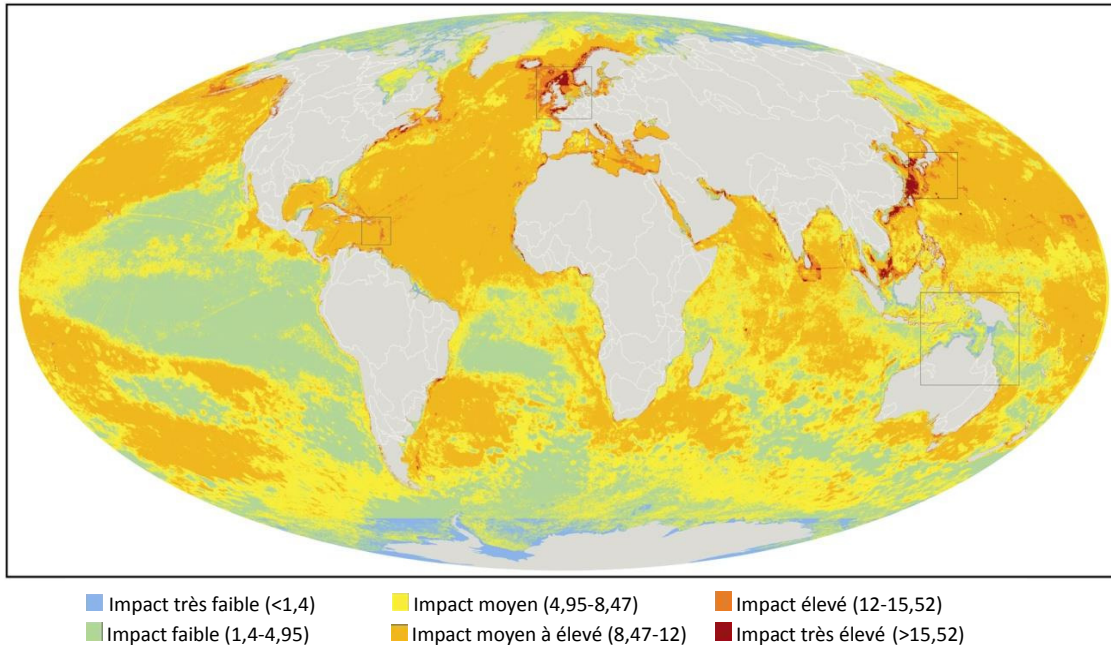


Figure 9. Carte mondiale des impacts humains sur les écosystèmes marins utilisée pour modéliser la répartition potentielle des EEE dans la région RINSE. Extrait de www.nceas.ucsb.edu/globalmarine.

2.4.4 Approche de la modélisation

Des modèles de répartition des espèces ont été utilisés pour mesurer l'aptitude spatiale pour les EEE, en projetant un modèle de répartition des espèces connues dans une région d'intérêt (Guisan et Thuillier, 2005). MaxEnt version v3.3k (www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent) a été utilisé pour développer les MNE pour les envahisseurs potentiels identifiés dans l'analyse prospective et énumérés dans le tableau 6. MaxEnt est un algorithme d'apprentissage automatique qui minimise l'entropie relative entre deux densités de probabilité (une estimée des données de présence et l'autre du fond) définies dans l'espace covariable (Elith *et al.*, 2010). Selon plusieurs études comparant les algorithmes, MaxEnt est l'une des méthodes les plus performantes (Elith *et al.*, 2006; Phillips *et al.*, 2006).

Pour la saisie des données, les modèles MaxEnt utilisent le jeu de données d'occurrences d'espèces et l'ensemble des variables indépendantes environnementales et socio-économiques qui pourraient influencer sur la probabilité d'implantation de l'espèce. Pour tester la précision des prédictions, les données d'occurrence ont été divisées en deux groupes : 70 % des données ont été utilisées pour la modélisation et les 30 % restants pour tester le modèle. Parce qu'aucune donnée d'absence n'était disponible, un total de 10000 points de fond aléatoires ont été générés à partir de la région d'étude. Pour évaluer la performance du modèle, la Courbe (AUC) de l'Aire sous la Caractéristique Opérationnelle de Réception (ROC) (Hanley et McNeil, 1982) a été utilisée, ce qui représente la probabilité qu'une localité d'occurrence aléatoire ait été classée comme plus adaptée qu'une pseudo-absence aléatoire. Un modèle qui n'effectue pas mieux qu'aléatoire a une AUC de 0,5 tandis qu'un modèle avec une discrimination parfaite a un score de 1.

La régularisation réduit la probabilité de modèles « overfitting », augmentant ainsi la capacité des modèles au-delà de la région de formation (Elith *et al.*, 2010). Pour cette raison, il est souvent recommandé d'accroître la régularisation au moment d'évaluer la répartition potentielle des espèces envahissantes (Didacticiel Maxent disponible sur www.cs.princeton.edu). Pourtant, aucune directive claire n'existe sur le degré approprié de régularisation. Dans cette étude, nous avons essayé un modificateur de régularisation de 1, 2, 3 et 4 et choisi le meilleur modèle en minimisant la taille corrigée du Critère d'Information d'Akaike (AICc) qui peut être calculé à l'aide d'ENMTools v1.3.

Une fois la régularisation optimale définie, nous avons testé l'inclusion de variables dans le modèle. À cette fin, nous avons supprimé séquentiellement une variable à la fois et avons choisi le modèle avec l'AICc le plus bas à travers une sélection par étapes à reculons. Cette procédure a retiré des variables qui n'étaient pas pertinentes pour expliquer la répartition de l'espèce ou qui étaient redondantes. Ceci est particulièrement important compte tenu de la forte corrélation existant entre des variables telles que la température ou les précipitations.

Après calibration, les modèles ont été projetés sur les quatre pays RINSE pour obtenir des cartes d'aptitude, allant de 0 = conditions complètement différentes de celles de l'aire de répartition actuelle de l'espèce, à 1 = correspondance complète avec l'aire de répartition actuelle de l'espèce. Bien que des couches d'étalonnage aient été utilisées à une résolution de 5 minutes d'arc, nous avons utilisé un ensemble de couches continentales de résolution supérieure couvrant la région RINSE pour la projection. Ce nouvel ensemble de couches a couvert les quatre pays RINSE (i.e. Grande-Bretagne, France, Belgique et Pays-Bas) et a la résolution maximale possible (30 secondes d'arc). Cela a néanmoins été fait seulement pour les espèces continentales (plantes terrestres, animaux et organismes aquatiques continentaux) étant donné qu'aucune couche marine n'est disponible à 30 secondes d'arc.

Le seuil maximisant la sensibilité (i.e. nombre de présences correctement prédites) et la spécificité (i.e. nombre de points de fond correctement prédits) du modèle ont été utilisés pour transformer des cartes d'aptitude dans la carte prédite de présence/absence (Liu *et al.*, 2005). Ce seuil tend à favoriser la sensibilité (vraies présences) par rapport à la spécificité (vraies absences), ce qui est préférable dans le cas des espèces exotiques envahissantes, et a été trouvé constamment comme produisant les prévisions les plus précises (Barbet-Massin *et al.*, 2012). Les cartes seuillées ont fourni une simple prévision d'absence/présence pour chaque espèce permettant d'identifier les grandes régions géographiques dont les conditions environnementales peuvent faciliter la mise en place réussie d'une espèce envahissante lors d'un événement d'introduction.

Enfin, toutes les cartes ont été combinées en une seule « carte thermique » qui reflète le risque d'invasion dans les quatre pays RINSE pour les espèces terrestres, d'eau douce et marines.

3. RÉSULTATS

3.1 Registre des espèces EE

3.1.1 Registre général

Le registre des espèces exotiques dans les pays RINSE comportait un total de 3454 espèces (voir l'annexe B). Selon notre base de données, la Grande-Bretagne accueille le plus grand nombre d'espèces exotiques (2365), suivie de la France (1988), des Pays-Bas (1741) et de la Belgique (1289) (Figure 10). La présence dans les quatre régions RINSE a pu être confirmée pour environ 50 % (1760) de toutes les EE présentes dans les quatre pays. Le pourcentage le plus élevé d'espèces de la région RINSE a ainsi été observé en Belgique (68 %), suivie des Pays-Bas (56 %), de la Grande-Bretagne (52 %) et de la France (22 %).

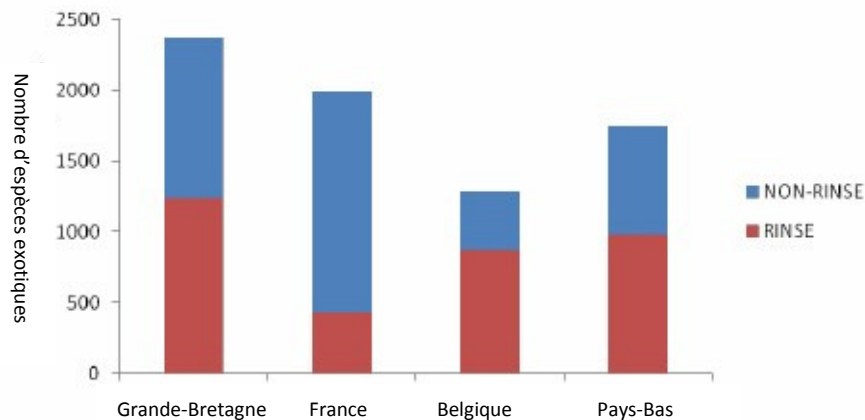


Figure 10. Abondance relative des espèces exotiques présentes à l'intérieur ou seulement à l'extérieur des quatre régions RINSE des quatre pays RINSE.

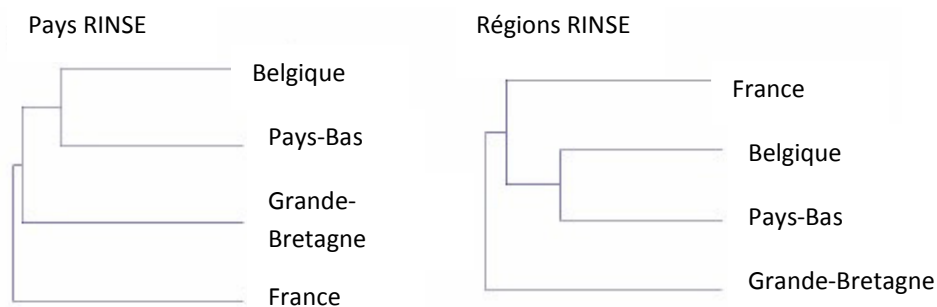


Figure 11. Analyse typologique sur la similarité des inventaires d'espèces exotiques des pays RINSE et des régions RINSE, respectivement (basée sur les coefficients de similarité de Jaccard).

L'analyse typologique basée sur les coefficients de similarité de Jaccard a révélé que la Belgique et les Pays-Bas sont les pays RINSE les plus similaires dans leur inventaire des espèces exotiques (Figure 11). La France est

le pays le plus différent à cet égard, si l'on considère l'ensemble des pays RINSE, tandis que la Grande-Bretagne est le pays le plus différent des autres pays RINSE si l'on ne considère que les espèces présentes dans les régions RINSE respectives.

Lorsque l'on regarde la répartition des espèces exotiques de la zone RINSE à travers les différents embranchements animaux et divisions de plantes (Figure 12), arthropodes (1771 espèces, y compris les insectes et les crustacés), chordés (598 espèces, y compris les oiseaux, les mammifères et les poissons) et angiospermes (323 espèces ; =plantes à fleurs) sont les plus abondants (à noter que cela est en dépit du fait que toutes les sources n'ont pas été examinées quant aux arthropodes et aux angiospermes [voir tableau 3]). La présence dans les quatre régions RINSE a pu être confirmée pour la majorité des chordés, des angiospermes et en particulier pour les petits groupes comme les mollusques, mais seulement pour environ un tiers des espèces d'arthropodes.

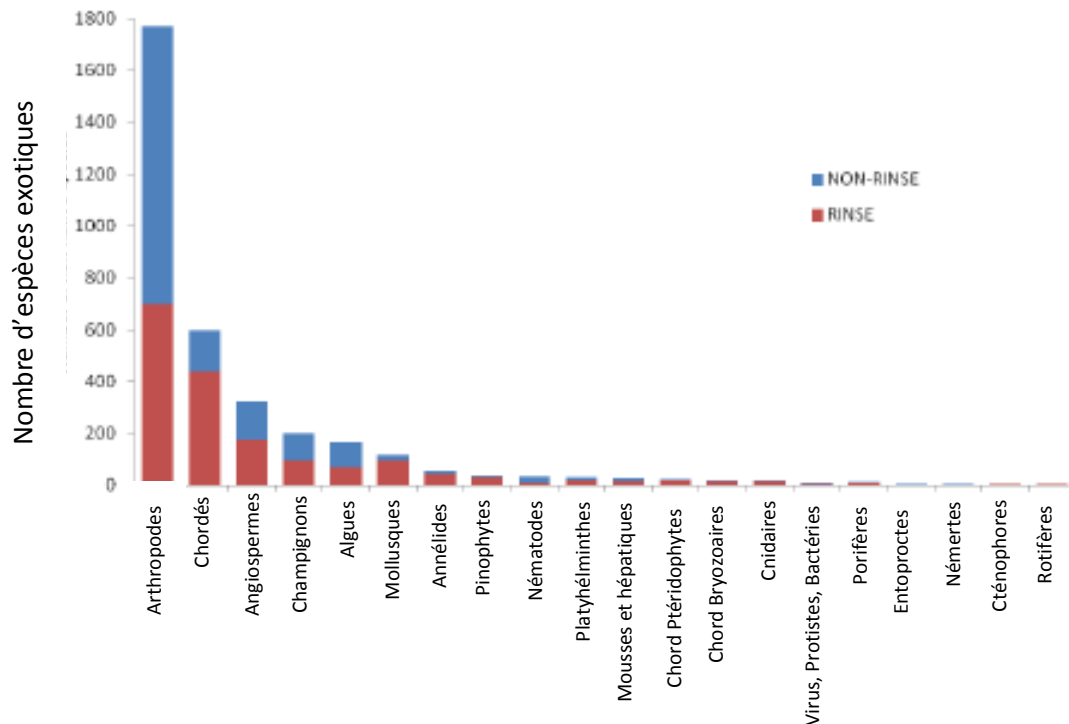


Figure 12. Nombre d'espèces exotiques par taxons supérieurs (embranchements animaux et divisions de plantes) présentes à l'intérieur et seulement à l'extérieur des quatre régions RINSE des quatre pays RINSE.

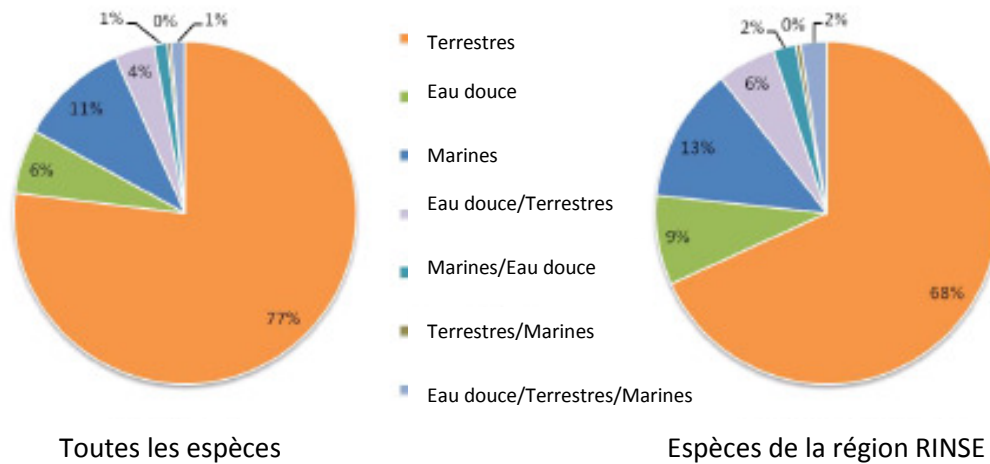


Figure 13. Environnements habités par des espèces exotiques présentes dans les pays et les régions RINSE, respectivement.

Plus des trois quarts des espèces inscrites dans le Registre habitent dans les écosystèmes terrestres, avec seulement 6 % et 11 % occupant exclusivement l'eau douce et les habitats marins, respectivement (Figure 13). Une proportion considérable (4 %) est constituée d'espèces vivant dans l'eau douce et les habitats terrestres ; ils comprennent, par exemple, des amphibiens et des oiseaux aquatiques tels que des canards et des oies. La proportion d'espèces purement terrestres diminue légèrement (à 68 %) si l'on considère uniquement les espèces présentes dans la région RINSE.

3.1.2 Listes ciblées

Les trois groupes chordés qui ont été étudiés plus en détail dans les listes ciblées (Annexe C), à savoir (1) les Ostéichthyes (= poissons osseux), (2) les ansériformes (= oies, canards, cygnes et apparentés), et (3) les mammifères, ont été dans une large mesure délibérément importés dans les pays RINSE (Figure 14). Environ la moitié des espèces de poissons introduites ont ensuite été délibérément relâchées dans la nature, tandis que près de 45 % des mammifères se sont retrouvés dans la nature en s'échappant de captivité. Les mollusques, d'autre part, ont été pour la plupart introduits accidentellement, et plus de 30 % des angiospermes étudiées dans le groupe ciblé sont soupçonnées d'avoir atteint les pays RINSE par dispersion naturelle à partir d'autres populations introduites.

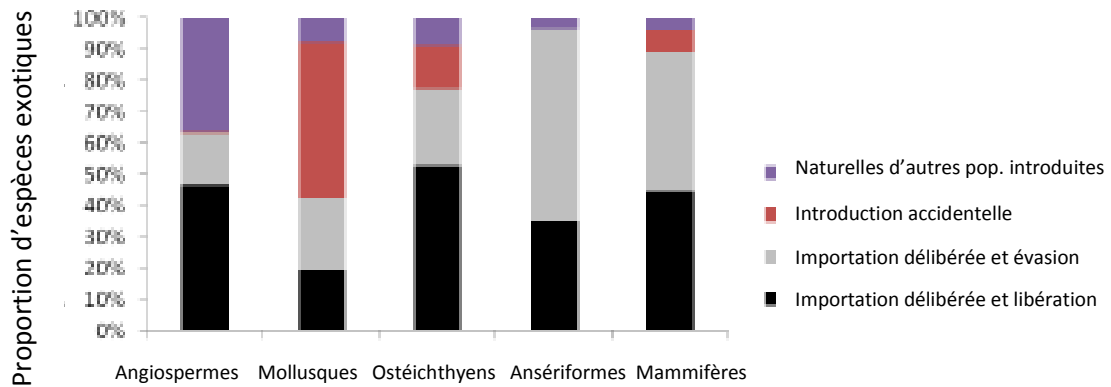


Figure 14. Voies d'introduction des espèces exotiques d'angiospermes, de mollusques, d'Ostéichthyens, d'ansériformes et de mammifères dans les pays RINSE.

Le commerce d'ornements (y compris le commerce des animaux et de l'horticulture) constituait la raison la plus courante d'introduction de plantes, d'oies et de mammifères (Figure 15). Environ 40 % des espèces de poissons ont été introduites pour la pêche de loisir. L'aquaculture a été à l'origine de l'introduction de la quasi-totalité des mollusques dans les pays RINSE. Les introductions pour le contrôle environnemental, d'autre part, ne jouent apparemment qu'un rôle mineur.

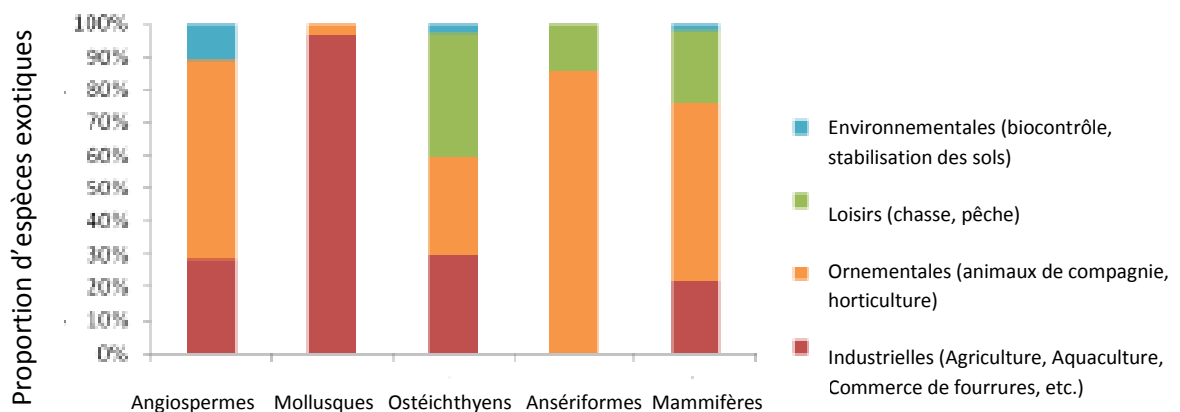


Figure 15. Raisons pour les introductions délibérées des espèces exotiques d'angiospermes, de mollusques, d'Ostéichthyens, d'ansériformes et de mammifères dans les pays RINSE. Les données correspondant aux importations délibérées sont représentées sur la Fig. 14.

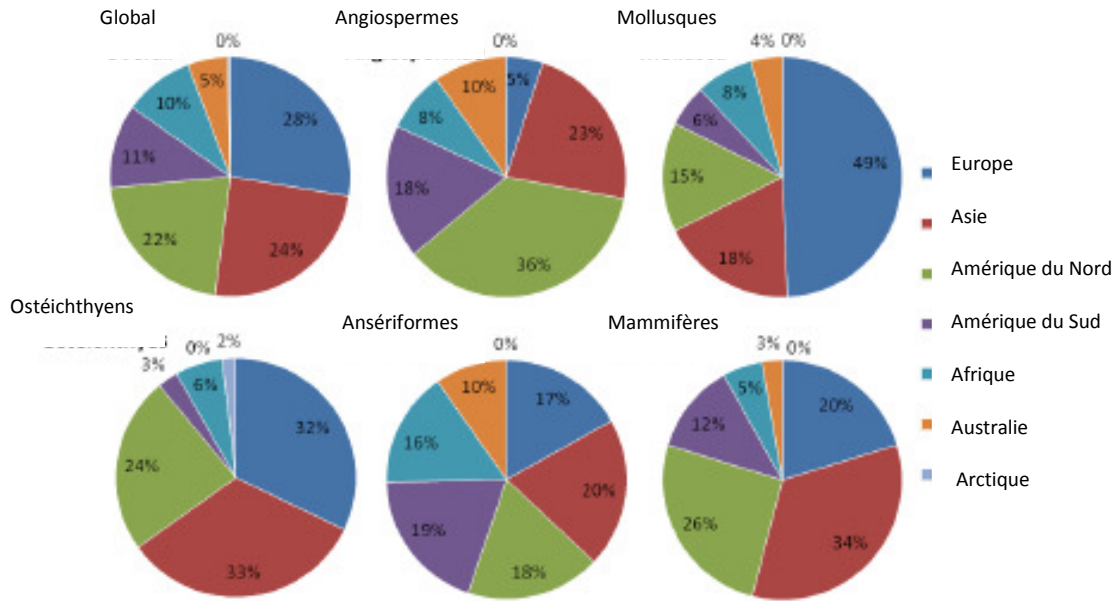


Figure 16. Proportion des différents continents d'origine pour les embranchements du groupe ciblé

En général, dans les cinq groupes ciblés, environ un quart des espèces exotiques présentes dans les pays RINSE proviennent chacune d'Europe, d'Asie et d'Amérique du Nord (Figure 16). Toutefois, les groupes ciblés ont différé de manière significative à cet égard (Chi-carré : $\chi^2 = 110,8$, $df = 20$, $P < 0,001$). En particulier, une proportion relativement importante des mollusques venait de l'intérieur de l'Europe et il en était de même pour les angiospermes d'Amérique du Nord et les mammifères d'Asie. Il est également intéressant de noter qu'une proportion considérable d'oies exotiques dans les pays RINSE est originaire d'Amérique du Sud et d'Afrique.

L'analyse statistique a indiqué que les espèces provenant de différents continents ont colonisé leur premier pays RINSE à des moments très différents (Kruskal-Wallis : $H = 26,4$, $df = 6$, $P < 0,001$) (Figure 17). Excluant les espèces d'Arctique en raison d'un faible nombre de reproductions, des espèces d'Amérique du Nord sont arrivées le plus tôt (médiane = 1920), suivies par les espèces européennes (médiane = 1948), asiatiques (médiane = 1965) et africaines (médiane = 1967). Les colonisateurs récents proviennent le plus souvent d'Amérique du Sud et d'Australie (médiane pour les deux = 1982).

Une différence similaire dans le calendrier du premier enregistrement à l'état sauvage a également été constaté lorsque l'on compare les cinq groupes ciblés (Kruskal-Wallis : $H = 44,4$, $df = 4$, $p < 0,001$) (Figure 17). Les angiospermes en général sont arrivées plus tôt dans les pays RINSE (médiane = 1893), suivies par les mammifères (médiane = 1929) et les mollusques (médiane = 1955). Les poissons osseux (médiane = 1963), et les oies et apparentés (médiane = 1977) sont les groupes avec des arrivées relativement récentes.

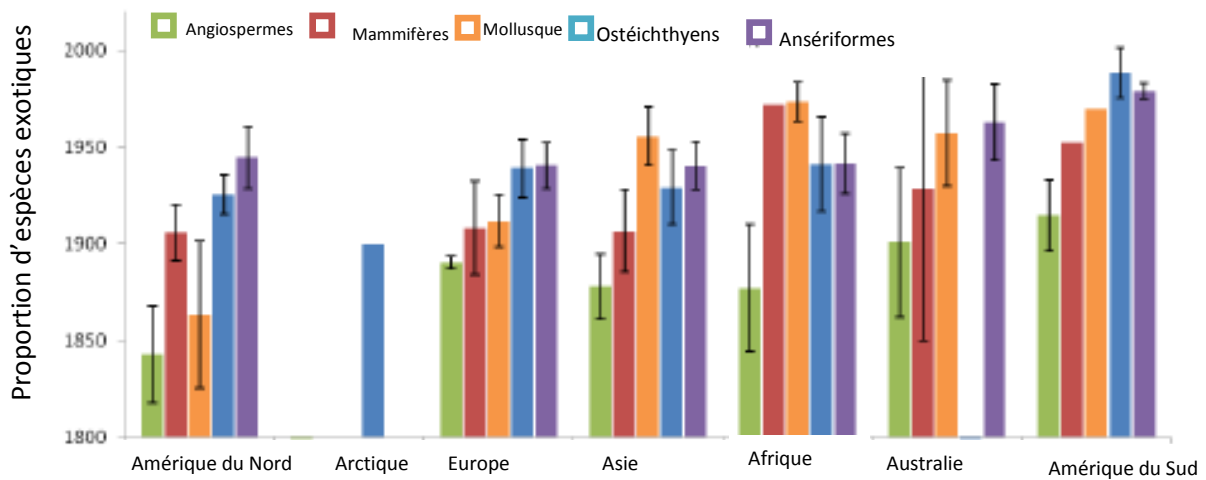


Figure 17. Année moyenne de premier enregistrement à l'état sauvage dans l'un des pays RINSE par embranchement et continent d'origine.

Comme l'indique la figure 18, les espèces de poissons les plus introduites sont des prédateurs, tandis que la majorité des mammifères sont herbivores. Les mollusques introduits proviennent de différents types d'alimentation, mais sont quelque peu dominés par les herbivores (principalement des gastéropodes terrestres) et les filtreurs (surtout des bivalves).

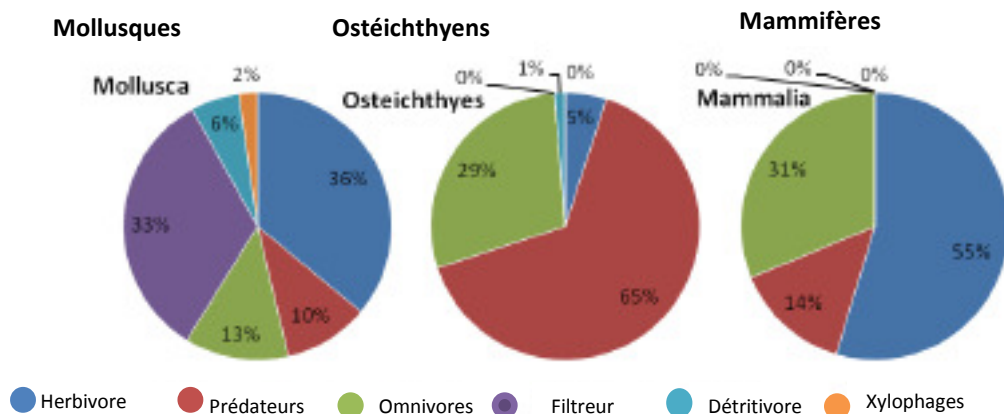


Figure 18. Proportion des différents types fonctionnels (alimentation) pour les embranchements du groupe ciblé. Notez qu'aucun graphique n'est affiché pour les angiospermes (tous producteurs primaires) et les ansériformes (tous herbivores et/ou omnivores). Xylophages : se nourrissant ou creusant le bois.

Parmi les espèces incluses sur la liste ciblée et desquelles des données respectives étaient disponibles, selon nos données, environ 55% ont d'abord été enregistrées en Grande-Bretagne, tandis que 45% ont d'abord été enregistrées dans l'un des pays continentaux RINSE. Lors du traçage par intervalles de 50 ans, pour les 300 dernières années, le nombre d'espèces qui ont d'abord occupé la Grande-Bretagne a toujours dépassé celui des espèces occupant d'abord le continent (Figure 19).

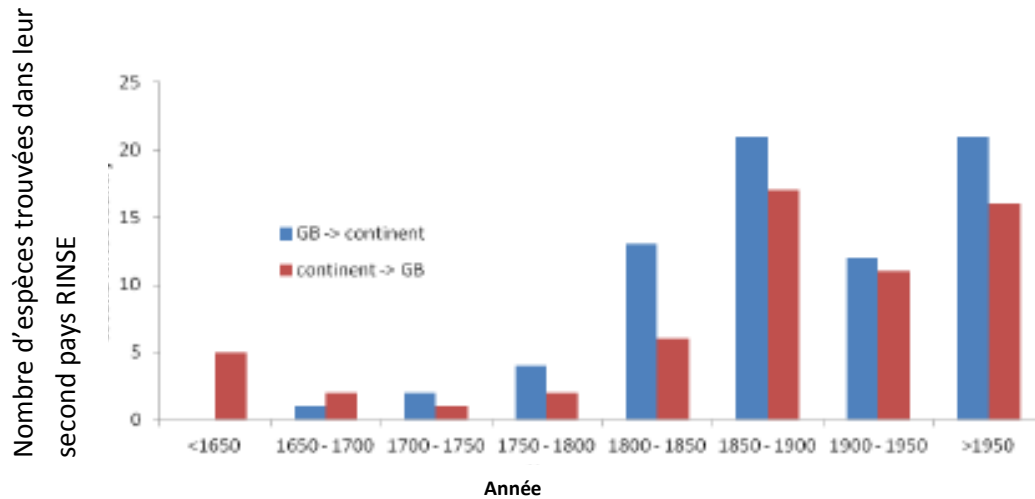


Figure 19. Nombre d'espèces colonisant les pays continentaux RINSE après la Grande-Bretagne (bleu) et la Grande-Bretagne après les pays continentaux RINSE (rouge) par périodes de 50 ans.

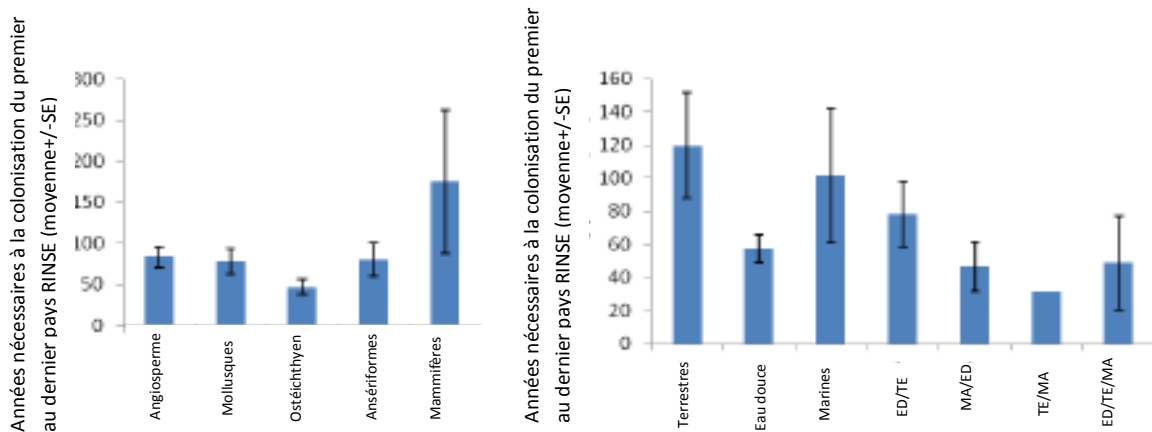


Figure 20. Nombre moyen d'années passées pour la diffusion du premier au dernier pays RINSE (=« taux de colonisation »). Données affichées par embranchement et environnement principal habité. Abréviations : FW, eau douce ; MA, marin ; TE, terrestre.

Parmi les cinq groupes de la liste ciblée, le poisson s'est diffusé le plus rapidement et a pris en moyenne seulement 47 ans environ pour se propager de son premier à son dernier pays RINSE (Figure 20). D'un autre côté de l'échelle, avec 175 ans en moyenne, les mammifères ont pris environ quatre fois plus de temps pour se répandre. Les trois autres groupes, i.e. les mollusques, les oies et les plantes à fleurs, ont démontré des taux de colonisation intermittents (de 78 à 84 ans en moyenne). Toutefois, il convient de noter que cette différence dans le taux de colonisation entre groupes d'espèces n'était pas statistiquement significative (ANOVA : $F = 1,94$, $P = 0,106$).

Lors du regroupement des espèces selon leur principal habitat, les espèces purement terrestres et marines ont démontré les taux de propagation les plus faibles, avec une moyenne de 120 et 102 ans pour se propager de leur premier à leur dernier pays RINSE respectivement (Figure 20). Les espèces

vivant seulement dans des habitats d'eau douce se sont propagées deux fois plus vite (moyenne = 57 ans du premier au dernier pays RINSE). Les espèces vivant dans plusieurs habitats se sont aussi propagées assez rapidement (en moyenne de 32 à 79 ans du premier au dernier pays RINSE).

Encore une fois, cette différence dans le taux de colonisation entre groupes d'espèces provenant de différents habitats n'était toutefois pas statistiquement significative (ANOVA : $F = 1,59$, $P = 0,153$).

3.2 Les listes d'analyse prospective des EEE

Après avoir vérifié un total de 16 listes des « pires » EEE, nous avons compilé une métaliste avec 340 espèces qui ont ensuite été divisées respectivement en listes d'alerte et noire, selon leur absence ou leur présence dans les quatre pays RINSE. Les listes d'analyse prospective des EEE peuvent être consultées à l'Annexe D, qui comprend les informations suivantes :

- **Liste d'alerte des EEE.** Nom de l'espèce, évaluation des risques par des experts (y compris l'identification des experts de notation), caractéristiques des espèces (telles que l'environnement envahi, le continent d'origine et le rôle fonctionnel) et identification des « listes des pires EEE » consultées qui ont marqué les espèces.
- **Liste noire des EEE.** Nom de l'espèce, présence dans les quatre pays RINSE, caractéristiques des espèces (telles que l'environnement envahi, le rôle fonctionnel, le continent d'aire de répartition natale), identification des pires listes d'EEE signalant l'espèce et le pourcentage de voix obtenues dans le sondage de hiérarchisation (par rapport à son groupe : animaux terrestres, plantes terrestres, organismes aquatiques continentaux et marins).

3.2.1 La liste d'alerte des EEE

La liste d'alerte RINSE comportait 78 EEE non encore présentes dans aucun des pays RINSE avec une représentation équilibrée de plantes terrestres (23 espèces), animaux terrestres (24), organismes aquatiques continentaux (15) et marins (16) (Tableau 5). Les groupes dominants d'EEE appartenaient aux embranchements des chordés (oiseaux, mammifères, poissons), angiospermes (plantes terrestres) et arthropodes (insectes, crustacés) (Fig. 21A). La majorité des EEE (40 %) provenaient d'Asie, suivie par l'Amérique du Nord (18 %), l'Amérique du Sud (15 %) et l'Europe (15 %) (Fig. 21B). La plupart des espèces sont des producteurs primaires, qui comprennent des plantes terrestres, des plantes aquatiques et des algues (Fig. 21C). Toutefois, les prédateurs étaient le groupe le plus abondant si nous incluons les omnivores capables de comportement prédateur opportuniste (Fig. 21C).

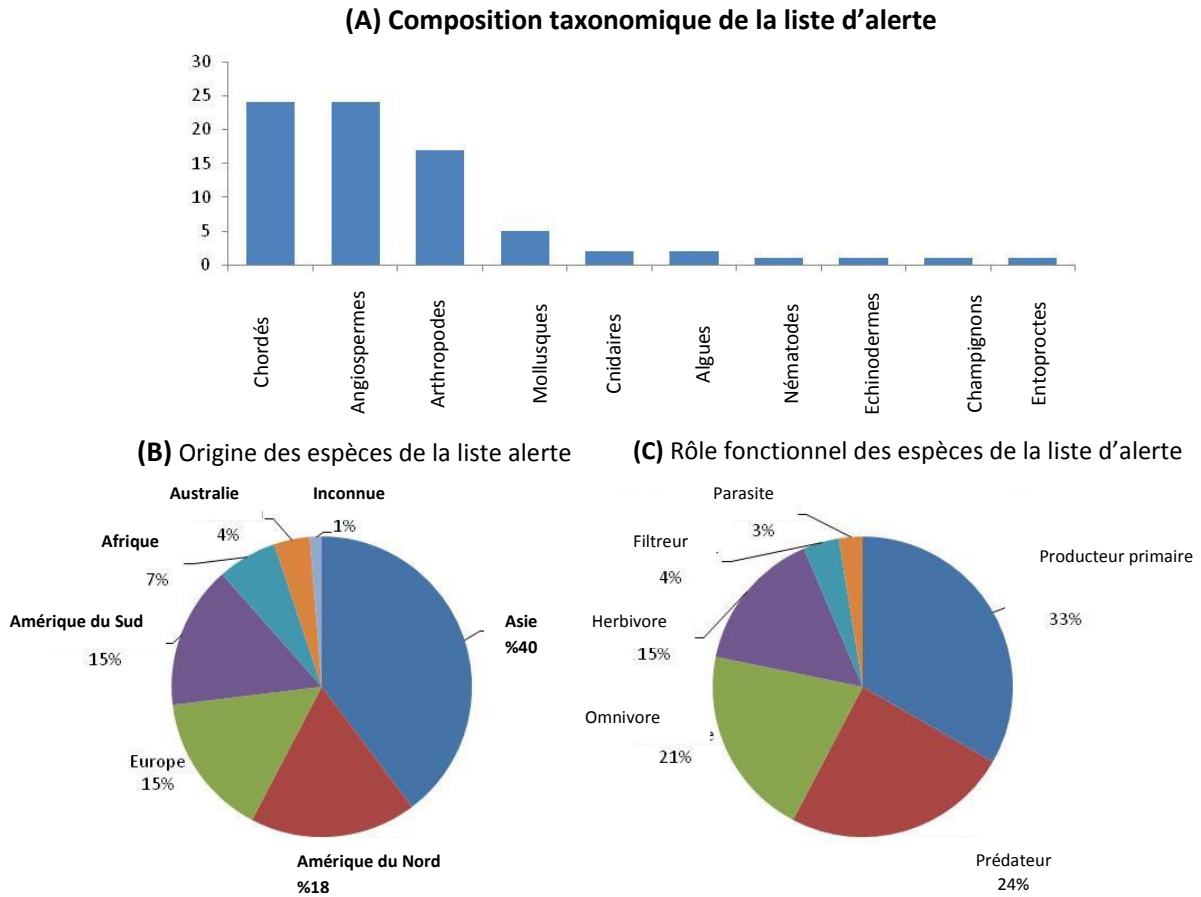
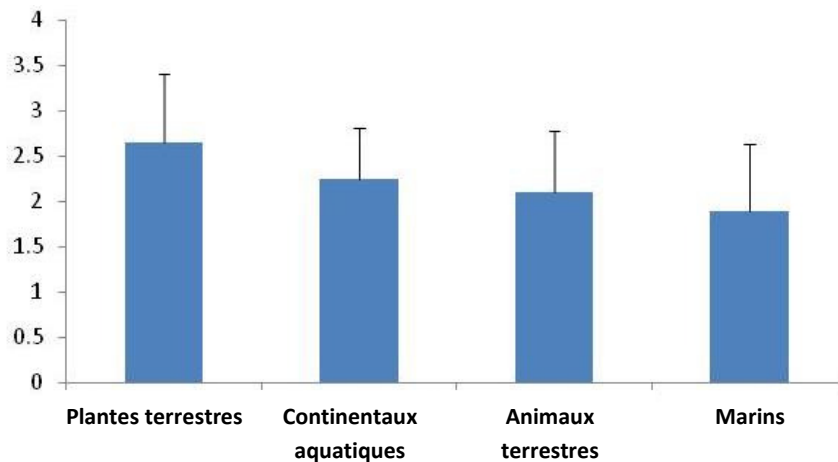


Figure 21. Caractéristiques des EEE incluses dans la liste d'alerte. A: composition taxonomique. B: Continent d'origine. C: rôle fonctionnel des espèces.

En ce qui concerne l'évaluation des risques, les plantes reçoivent généralement les scores les plus élevés dans toutes les catégories (i.e. impact écologique, potentiel invasif, gestion des difficultés et impact économique), tandis que les organismes marins reçoivent généralement de faibles scores de risque (Figure 22).



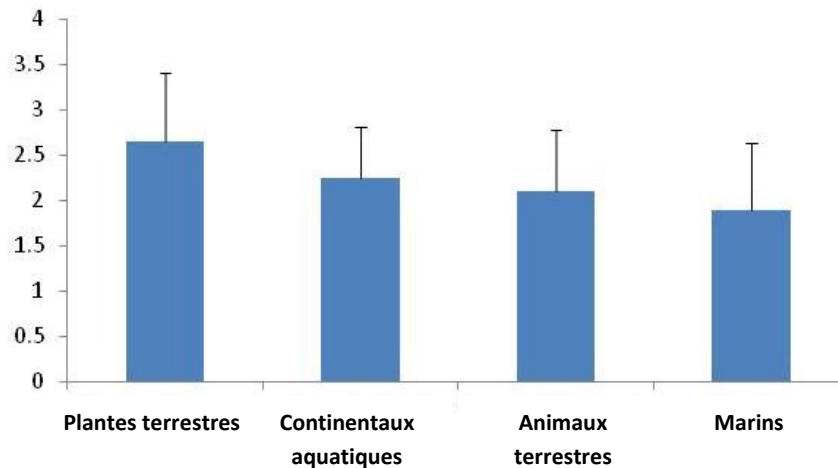


Figure 22. Note de risque moyenne totale attribuée par les experts aux quatre principaux groupes d'espèces de la liste d'alerte. Les notes de risque vont de 0-inconnue/non important à 5 risques environnemental et économique les plus élevés d'impact de l'invasion (voir plus d'informations sur les scores de risque dans le tableau 5).

En prenant la moyenne, les 25^{ème} et 75^{ème} percentiles des scores de risque totaux, nous avons divisé les espèces en quatre catégories de risque (Fig. 23). Ce code couleur est utilisé dans le tableau 7 pour faciliter l'interprétation. Les trois premières EEE de chaque groupe important d'organismes (plantes et animaux terrestres, organismes aquatiques continentaux et marins) ont été extraites pour former une liste d'alerte prioritaire des espèces d'alerte dont la prévention dans les pays RINSE devrait être considérée comme une priorité majeure (Tableau 8). La moitié des espèces dans le top 12 étaient originaires d'Asie. A l'exception de *N. gymnotrachelus* et *P. amurensis*, le principal vecteur d'introduction des espèces dans le top 12 a été associée à des activités commerciales telles que l'agriculture, le commerce d'ornements, la sylviculture, l'aquaculture et la mariculture.

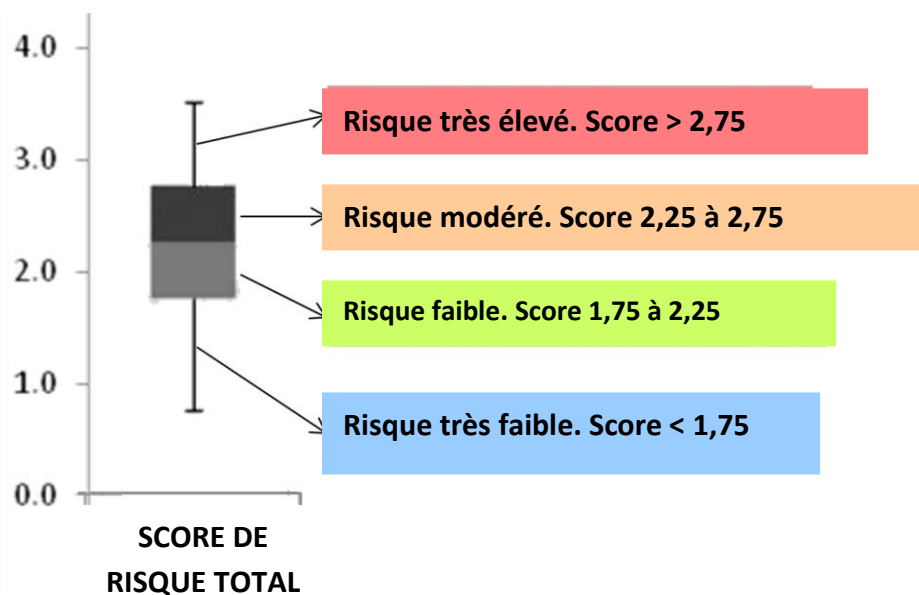


Figure 23. Classification des espèces en quatre catégories de risque selon leur score de risque.

Tableau 7. Liste d'alerte des EEE non encore présentes dans les quatre pays RINSE avec des notes sur leur classification taxonomique, le nom anglais, l'origine et l'évaluation des risques. Habitat: M-marin, TA- animal terrestre, TP- plante terrestre, AI-aquatiques continentaux. Origine: Ams-Amérique du Sud, Amn-Amérique du Nord, Af-Afrique, As-Asie, Au-Australie, Eur-Europe, I-Inconnu. Score total : score moyen pour l'espèce. Code couleur : bleu-risque très faible, vert-risque faible, orange- risque modéré, rouge-risque très élevé. Plus de détails sont inclus dans l'Annexe D.

Groupe	Embranchement	Nom taxonomique	Le nom anglais	Habitat	Origine	Impact écologique	Potentiel invasif	Difficulté de gestion	Impact économique	Score total
ORGANISMES AQUATIQUES CONTINENTAUX	Mollusque	<i>Pomacea canaliculata</i>	Apple snail	AI	Ams	3.0	2.0	3.5	4.0	3.1
	Chordé	<i>Perccottus glenii</i>	Amur sleeper	AI	As	3.3	3.3	4.0	1.7	3.1
	Chordé	<i>Neogobius gymnotrachelus</i>	Racer goby	AI	Eur	3.0	3.3	3.7	2.0	3.0
	Arthropode	<i>Pontogammarus robustoides</i>	Ponto-Caspian shrimp	AI	Eur	2.3	3.0	4.0	2.0	2.8
	Arthropode	<i>Cercopagis pengoi</i>	Fish-hook waterflea	AI	As	3.0	2.7	3.3	2.0	2.8
	Arthropode	<i>Gammarus fasciatus</i>	Freshwater shrimp	AI	Amn	3.0	2.5	4.0	1.0	2.6
	Arthropode	<i>Obesogammarus obesus</i>	Ponto-Caspian shrimp	AI	Eur	2.0	2.7	4.0	1.5	2.5
	Arthropode	<i>Chaetogammarus warpachowski</i>	Ponto-Caspian shrimp	AI	Eur	2.5	2.5	4.0	1.0	2.5
	Chordé	<i>Lates niloticus</i>	Nile perch	AI	Af	3.0	1.5	2.5	2.5	2.4
	Cnidaire	<i>Polypodium hydriforme</i>		AI	Eur	2.0	3.0		2.0	2.3
	Arthropode	<i>Katamysis warpachowsky</i>	Katamysis	AI	Eur	2.0	2.0	4.0	1.0	2.3
	Arthropode	<i>Pontogammarus maoticus</i>	Ponto-Caspian shrimp	AI	Eur	1.0	3.0	3.5	1.0	2.1
	Mollusque	<i>Theodoxus danubialis</i>	Danube snail	AI	Eur	1.0	2.0	3.0	1.0	1.8
	Entopocete	<i>Urnatella gracilis</i>	Freshwater goblet worm	AI	Amn	1.0	3.0		1.0	1.7
	Chordé	<i>Clarias batrachus</i>	Walking Catfish	AI	As	1.0	1.0	3.5	1.0	1.6
Chordé	<i>Aphanius dispar</i>	Arabian killifish	AI	As	1.0	1.0	2.0	1.0	1.3	
ORGANISMES MARINS	Mollusque	<i>Potamocorbula amurensis</i>	Amur river clam	M	As	4.0	2.0	4.0	2.5	3.1
	Cnidaire	<i>Rhopilema nomadica</i>	Nomad jellyfish	M	Af	3.0	1.0	3.5	3.5	2.8
	Échinoderme	<i>Asterias amurensis</i>	Japanese sea star	M	As	3.0	1.5	3.0	2.5	2.5
	Algue - Ochrophyte	<i>Styopodium schimperi</i>		M	Eur	3.0	1.0	4.0	2.0	2.5
	Chordé	<i>Seriola fasciata</i>	Lesser amberjack	M	Amn	2.0	1.0	4.0	2.0	2.3
	Chordé	<i>Fistularia commersoni</i>	Blue-spotted cornet fish	M	As	2.0	1.0	4.0	1.5	2.1
	Chordé	<i>Siganus rivulatus</i>	Dusky spinefoot	M	As	3.0	1.0	3.5	1.0	2.1

	Arthropode	<i>Charybdis longicollis</i>	Erythrean swimming crab	M	Eur	1.5	1.0	4.0	1.5	2.0
	Mollusque	<i>Anadara inaequalis</i>	Inequivalve ark	M	As	2.5	1.5	2.5	1.0	1.9
	Arthropode	<i>Paralithodes camtschaticus</i>	Red King Crab	M	Amn	2.5	1.0	2.0	2.0	1.9
	Chordé	<i>Saurida undosquamis</i>	True lizardfish	M	As	1.7	1.0	3.7	1.0	1.8
	Arthropode	<i>Percnon gibbesi</i>	Sally lightfoot crab	M	Amn	2.0	1.0	3.0	1.0	1.8
	Angiosperme	<i>Halophila stipulacea</i>	Halophila seagrass	M	As	2.0	1.0	1.0	0.0	1.0
	Algue Rhodophyte	<i>Asparagopsis taxiformis</i>	Limu kohu	M	Eur	1.0	1.0	0.0	1.0	0.8
	Arthropode	<i>Chionoecetes opilio</i>	Queen crab	M	As	1.0	1.0	0.0	1.0	0.8
	Arthropode	<i>Portunus pelagicus</i>	Blue swimming crab	M	As	1.0	1.0	0.0	1.0	0.8
ANIMAUX TERRESTRES	Arthropode	<i>Agrilus planipennis</i>	Emerald Ash Borer	TA	As	3.3	3.3	3.7	3.3	3.4
	Arthropode	<i>Solenopsis invicta</i>	Red fire ant	TA	Ams	2.7	1.7	3.0	4.0	2.8
	Chordé	<i>Castor canadensis</i>	Canadian beaver	TA	Amn	3.3	2.7	2.3	2.3	2.7
	Chordé	<i>Chrysemys picta</i>	Painted turtle	TA	Amn	3.0	3.0	3.0	1.0	2.5
	Chordé	<i>Axis axis</i>	Indian spotted deer	TA	As	2.5	1.0	4.0	2.5	2.5
	Chordé	<i>Boiga irregularis</i>	Brown tree snake	TA	Au	3.0	1.0	3.0	3.0	2.5
	Mollusque	<i>Euglandina rosea</i>	Cannibal snail	TA	Amn	3.0	1.0	3.7	2.0	2.4
	Arthropode	<i>Coptotermes formosanus</i>	Formosan subterranean termite	TA	As	2.0	1.0	2.0	4.0	2.3
	Chordé	<i>Eleutherodactylus coqui</i>	Caribbean tree frog	TA	Ams	3.0	2.0	2.5	1.5	2.3
	Platyhelminthes	<i>Platydemus manokwari</i>	Snail-eating flatworm	TA	U	3.0	1.5	3.5	1.0	2.3
	Chordé	<i>Macaca fascicularis</i>	Crab-eating macaque	TA	As	3.0	1.5	3.0	1.0	2.1
	Chordé	<i>Trichosurus vulpecula</i>	Brush-tail possum	TA	Au	3.0	2.0	2.5	1.0	2.1
	Chordé	<i>Herpestes auro-punctatus</i>	Small Asian mongoose	TA	As	3.0	1.0	2.0	2.0	2.0
	Chordé	<i>Hystrix brachyura</i>	Hodgson's Porcupine	TA	As	2.0	1.0	2.0	3.0	2.0
	Chordé	<i>Felis bengalensis</i>	Leopard Cat	TA	As	2.7	1.3	2.0	1.3	1.8
	Arthropode	<i>Anopheles quadrimaculatus</i>	Common malaria mosquito	TA	Amn	1.0	1.0	2.5	2.5	1.8
	Arthropode	<i>Anoplolepis gracilipes</i>	Yellow crazy ant	TA	Af	2.0	1.3	2.0	1.7	1.8
	Nématode	<i>Ashworthius sidemi</i>	Asiatic parasite	TA	As	2.0	2.0	2.0	1.0	1.8
Chordé	<i>Muntiacus muntjak</i>	Indian Muntjac	TA	As	2.3	1.3	1.7	1.3	1.7	

	Chordé	<i>Herpestes javanicus</i>	Javan mongoose	TA	As	2.0	1.0	2.0	1.0	1.5
	Chordé	<i>Bison bison</i>	American bison	TA	Amn	1.0	1.0	2.0	1.0	1.3
	Chordé	<i>Ammotragus lervia</i>	Barbary sheep	TA	Af	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
PLANTES TERRESTRES	Angiosperme	<i>Imperata cylindrica</i>	Blady grass	TP	As	4.0	3.7	2.3	4.0	3.5
	Angiosperme	<i>Melaleuca quinquenervia</i>	Melaleuca	TP	Au	4.0	3.5	3.0	3.0	3.4
	Angiosperme	<i>Pueraria lobata montana</i>	Kudzu	TP	As	4.0	3.5	3.0	3.0	3.4
	Angiosperme	<i>Lantana camara</i>	Ach man	TP	Ams	3.7	3.3	3.0	3.3	3.3
	Angiosperme	<i>Heracleum sosnowskyi</i>	Sosnowski's hogweed	TP	Eur	3.0	4.0	3.0	3.0	3.3
	Angiosperme	<i>Tamarix ramosissima</i>	Salt cedar	TP	As	4.0	3.0	3.0	3.0	3.3
	Angiosperme	<i>Prosopis glandulosa</i>	Honey mesquite	TP	Amn	4.0	2.7	3.0	3.0	3.2
	Angiosperme	<i>Mikania micrantha</i>	American rope	TP	Ams	3.5	3.0	3.0	2.5	3.0
	Angiosperme	<i>Rubus ellipticus</i>	Asian wild raspberry	TP	As	3.7	3.0	3.0	2.3	3.0
	Angiosperme	<i>Miconia calvescens</i>	Bush currant	TP	Ams	4.0	2.5	2.5	2.5	2.9
	Angiosperme	<i>Solidago nemoralis</i>	Gray goldenrod	TP	Amn	2.5	4.0	3.0	2.0	2.9
	Angiosperme	<i>Mimosa pigra</i>	Bashful plant	TP	SAm	4.0	1.0	3.0	3.0	2.8
	Angiosperme	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Brazilian holly	TP	Ams	3.0	2.0	3.0	3.0	2.8
	Angiosperme	<i>Sphagneticola trilobata</i>	Ccreeping ox-eye	TP	Ams	3.0	1.5	3.0	2.5	2.5
	Angiosperme	<i>Spathodea campanulata</i>	African tulip tree	TP	Af	3.0	1.0	3.0	2.5	2.4
	Angiosperme	<i>Ardisia elliptica</i>	Shoebuttton ardisia	TP	As	3.0	2.0	3.0	1.0	2.3
	Angiosperme	<i>Ligustrum robustum</i>	Ceylon privét	TP	As	4.0	1.0	3.0	1.0	2.3
	Angiosperme	<i>Hiptage benghalensi</i>	Helicopter flower	TP	As	2.5	1.5	3.5	1.0	2.1
	Angiosperme	<i>Lupinus nootkatensis</i>	Nootka lupin	TP	Amn	4.0	1.0	1.0	1.0	1.8
	Angiosperme	<i>Cenchrus incertus</i>	Coastal sandbur	TP	Amn	1.0	1.0	1.0	2.0	1.3
Angiosperme	<i>Cinchona pubescens</i>	Red cinchona	TP	Ams	2.0	1.0	1.0	1.0	1.3	
Angiosperme	<i>Cecropia peltata</i>	Trumpet tree	TP	I	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
Angiosperme	<i>Clidemia hirta</i>	Koster's Curse	TP	Ams	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	

Table 8. Résumé des caractéristiques des 12 principales EEE de la liste d'alerte.

Nom scientifique	Nom anglais	Origine	Habitat	Voie d'introduction	Impacts environnementaux	Impact économique	Présence en Europe
<i>Neogobius gymnotrachelus</i>	Racer goby	Eurasie (Ponto-caspienne)	Eaux douces / eaux saumâtres	- Eau de ballast - Empoisonnement - Dissémination naturelle (nage active)	- Modifications de la chaîne alimentaire - Déplace les espèces indigènes - Perte de la biodiversité	- Réduit les stocks de poissons commerciaux	Allemagne, Pologne, Hongrie
<i>Percottus glenii</i>	Amur sleeper	Asie (NE Chine, Corée du N. et SE Russie)	Estuaires et eaux lénitiques peu profondes	- Aquaculture et commerce d'aquarium (libération ou évasion) - Accidentelle avec les stocks de poissons - Dissémination naturelle (nage active)	- Prédateurs des crustacés, mollusques, insectes, amphibiens et poissons - Perte de la biodiversité - Rivalité avec les espèces indigènes (par ex. <i>Carassius carassius</i> , <i>Rhodeus sericeus</i>)	- Réduit les stocks de poissons commerciaux (par ex. gardon, perche, vandoise)	Pologne, Finlande, Europe centrale et orientale (par ex. Estonie, Ukraine, Hongrie, Roumanie)
<i>Pomacea canaliculata</i>	Apple snail	Amérique du Sud (Argentine)	Lacs, étangs, marais, zones agricoles	- Commerce d'aquarium (évasion ou libération) - Source d'alimentation - Dissémination naturelle avec les courants d'eau (larves)	- Prédation vorace des plantes d'eaux douces (par ex. lotus, châtaigne d'eau) - Perte/modification de l'habitat - Rivalité avec les espèces indigènes	- Ravageur important des cultures - Réduction notable des cultures de riz	Pas encore
<i>Asterias amurensi</i>	Japanese sea star	Océan Pacifique Nord	Estuaires et habitats marins	- Commerce du poisson - Eaux de ballast des navires et/ou encrassement des coques - Contaminant d'autres matériaux - Dissémination naturelle des courants (larves planctoniques)	- Prédation vorace des organismes benthiques (par ex. moules, pétoncles, palourdes) - Déclin des espèces menacées (par ex. <i>Brachionichthys hirsutus</i>) - Perte de la biodiversité	- Pertes en mariculture - Diminue la production d'huîtres	Pas encore
<i>Potamocorbula amurensis</i>	Asian clam	Asie SE (Japon, Chine, Corée)	Eaux estuariennes et marines froides à tropicales	- Eaux de ballast des navires	- Changements ascendant dus à l'alimentation par filtrage de grandes quantités de phyto et zooplancton - Réduit l'abondance et la diversité des espèces benthiques - Modifie la structure de l'habitat - Bioaccumulation de métaux et autres polluants	- Réduit la pêche commerciale	Pas encore
<i>Rhopilema nomadica</i>	Nomad jellyfish	Mer Rouge	Colonne d'eau des habitats marins	- Dissémination naturelle des courants (larves planctoniques)	- Prédation planctivore vorace	- Affecte le tourisme en raison de piqûres douloureuses avec éruptions érythémateuses, démangeaisons et sensations de brûlure - Réduit la pêche - Entrave les filets de pêche, tuyaux et autres infrastructures côtières	Mer Méditerranée

<i>Agrilus planipennis</i>	Emeral ash-borer	Asie SE	Frênes (<i>Fraxinus spp.</i>) dans les milieux urbains ou forestiers	<ul style="list-style-type: none"> - Transport accidentel comme contaminant - Importations forestières - Dissémination naturelle (vol) 	<ul style="list-style-type: none"> - Modifie la composition des espèces - Perte de la biodiversité - Mort de l'arbre infesté 	<ul style="list-style-type: none"> - Pertes forestières 	Pas encore
<i>Castor canadensis</i>	Canadian beaver	Amérique du Nord	Zones riveraines, rivières boisées et lacs	<ul style="list-style-type: none"> - Introduction intentionnelle (libération ou évason) - Dissémination naturelle (nage active) 	<ul style="list-style-type: none"> - Rivalité avec les espèces indigènes - Hybridation - Changements géomorphologiques - Réduit la diversité des macro-invertébrés - Change la chimie de l'eau (par ex. augmentation de la matière organique) - Obstacle à la migration des poissons 	<ul style="list-style-type: none"> - Réduit la sylviculture - Augmente le risque d'inondation 	Finlande, Allemagne, Pologne, Autriche
<i>Solenopsis invicta</i>	Red fire ant	Amérique du Sud	Régions chaudes et arides Zones perturbées en lisière de forêt et zones agricoles	<ul style="list-style-type: none"> - Mouvement des équipements agricoles, matériel de sol et de plantes - Dissémination naturelle (dissémination active) - Dissémination passive lors des crues 	<ul style="list-style-type: none"> - Affecte les espèces végétales anti-dispersives (pauvres dispersants) - Prédateur d'autres insectes - Réduit la diversité des invertébrés, reptiles, oiseaux, poissons et petits mammifères par la prédation, la rivalité et les piqûres 	<ul style="list-style-type: none"> - Dommages aux cultures - Piqûres allergiques douloureuses - Infeste les équipements électriques (pompes, voitures, machines à laver) 	Pas encore
<i>Imperata cylindrica</i>	Blady grass	Asie, Australie et Afrique de l'E.	- Des dunes de sable sec des côtes et des déserts aux marécages et berges des rivières - Mauvaise herbe de 35 cultures à travers le monde	<ul style="list-style-type: none"> - Commerce des plantes ornementales - Contrôle de l'érosion - Dissémination naturelle (pousse de rhizomes après fragmentation) 	<ul style="list-style-type: none"> - Déplace des espèces menacées - Réduit l'humidité et la fertilité du sol - Produit des substances d'inhibition - Ignés 	<ul style="list-style-type: none"> - Perte de la fertilité des sols - Augmente le risque d'incendie - Pertes de rendement agricole - Réduit l'efficacité du reboisement - Hôte d'insectes ravageurs - Cultures fourragères inférieures pour les animaux - Les feuilles coupantes endommagent les pieds 	Bulgarie, Allemagne, Italie, Portugal, Espagne
<i>Melaleuca quinquenervia</i>	Melaleuca	Australie	Milieux humides, zones riveraines, zones côtières, estuaires saumâtres, marais d'eau douce, prairies humides, forêts humides perturbées	<ul style="list-style-type: none"> - Intentionnelle comme ornementale - Agroforesterie - Activités de restauration - Véhicules routiers 	<ul style="list-style-type: none"> - Déplace les espèces indigènes - Réduit la biodiversité (nourriture et habitat pour la faune limités) - Perte d'habitat - Inhibe la croissance d'autres espèces - Modifie la chimie et le taux de décomposition du sol - Modifie les régimes hydrologiques et de feu (ignés) 	<ul style="list-style-type: none"> - Affecte les pépiniéristes - Pertes en tourisme et loisirs - Hôte d'insectes ravageurs - Augmente le risque d'incendie 	Italie

<i>Pueraria lobata montana</i>	Kudzu	Asie	Terres ouvertes, zones arbustives adjacentes aux zones boisées Zones perturbées (routes, voies ferrées, pâturages abandonnés, berges des rivières)	<ul style="list-style-type: none"> - Accidentelle ou intentionnelle par l'agriculture et le commerce horticole - Propagation végétative naturelle - Véhicules routiers - Avec les mammifères et les oiseaux - Avec les déchets de jardin 	<ul style="list-style-type: none"> - Perte de la biodiversité - Étouffe, déplace ou tue les plantes indigènes - Modifie les propriétés du sol, augmente la fixation de l'azote 	<ul style="list-style-type: none"> - Affecte la productivité forestière - Affecte les sentiers clôturés de tourisme pour la chasse, la pêche ou la randonnée - Augmente le risque d'incendie - Gêne le développement urbain et rural des zones fortement infestées - Hôte d'espèces nuisibles 	Italie, Suisse
--------------------------------	-------	------	---	---	---	--	----------------

3.2.2 La liste noire des EEE

La liste noire contenait des EEE déjà présentes dans au moins un des pays RINSE et comportait : 67 plantes terrestres, 69 animaux terrestres, 67 organismes aquatiques continentaux et 62 organismes marins. La plupart des espèces (56 %) étaient déjà présentes dans les quatre pays RINSE, alors que seulement 16 % ont été enregistrées dans un seul pays, le plus souvent en France (25 espèces) et en Grande-Bretagne (11 espèces). Ces deux pays ont également affiché le plus grand nombre de présence d'espèces dans la liste noire, la France hébergeant 230 des EEE listées à l'annexe D et la Grande-Bretagne 200.

Pour hiérarchiser la liste noire, les partenaires RINSE ont été invités à sélectionner jusqu'à 10 espèces de chaque groupe majeur d'organismes (i.e. plantes et animaux terrestres, organismes aquatiques continentaux et marins) qui sont les plus dommageables dans la région des Deux-Mers. 17 experts ont répondu au sondage, 11 d'entre eux sont de Grande-Bretagne, quatre de Belgique et deux de France, donc les résultats de cette enquête peuvent être biaisés en faveur de la Grande-Bretagne. Les organismes aquatiques continentaux ont été évalués par 16 experts, les plantes terrestres par neuf, les animaux terrestres par 7 et les organismes marins par deux experts seulement. Les espèces recevant le plus grand nombre de voix de chaque groupe majeur ont été choisies, même si une participation supérieure, notamment dans le cas des organismes marins, serait nécessaire pour augmenter la fiabilité de cette liste du top 12 (Tableau 9).

Tableau 9. Résumé des caractéristiques des 12 principales EEE de la liste noire.

Nom scientifique	Nom anglais	Origine	Habitat	Voie d'introduction	Impacts environnementaux	Impacts économiques	Présence dans RINSE
<i>Crassula helmsii</i>	New Zealand pigmyweed	Australie, Tasmanie, Nouvelle-Zélande	- Eaux stagnantes de surface des étangs, lacs, réservoirs, canaux et fossés	- Usage ornemental - Contaminant de navire/bateau - Fragments transportés par les oiseaux et d'autres animaux - Dissémination passive avec les courants d'eau	- Rivalité avec toutes les autres plantes indigènes formant des peuplements très denses - Modifie l'oxygène de l'eau, la température, la lumière et le pH, créant de mauvaises conditions pour les invertébrés, les amphibiens et les poissons - Obstrue le débit de l'eau	- Affecte les activités de loisirs et commerciales - Réduit les possibilités de pêche et interfère avec la navigation - Encrasse les cours d'eau et systèmes d'évacuation des eaux	Grande-Bretagne, France, Belgique et Pays-Bas
<i>Dikerogammarus villosus</i>	Killer shrimp	Europe (Ponto-caspienne)	- Rivières, lacs, canaux, réservoirs - Eau qui coule lentement avec des substrats de gravier	- Contaminant des eaux de ballast, bateaux, matériel/appâts de pêche - Se fixe aux oiseaux/gibier d'eau - Dissémination naturelle (nage active)	- Déplace les espèces indigènes (par ex. <i>D. pulex</i>) - Change les interactions du réseau trophique - Prédateur des invertébrés benthiques réduisant la biodiversité - Hôte de parasites (par ex. <i>Echinorhynchus truttae</i> , <i>Pomphorhynchus laevis</i>)	- Prédateurs des œufs de poisson - Affecte la pêche, l'utilisation récréative des lacs	Grande-Bretagne, France, Belgique et Pays-Bas
<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	Floating pennywort	Amérique du Nord	- Bassins ombragés peu profonds dans les lacs, étangs, ruisseaux, fossés et canaux - Des eaux stagnantes à celles à faible courant	- Plante ornementale pour les bassins de jardin et les aquariums - Se fixe aux oiseaux et autres animaux - Contaminant des bateaux et autres équipements - Dissémination passive avec les courants d'eau	- Déclin des espèces indigènes - Change les cycles d'érosion/de dépôt - Perturbe le mouvement des animaux - Bloque la lumière, empêcher le mélange du vent, augmente la température et se décompose, menant à la raréfaction de l'oxygène et à l'eutrophisation - Zones de reproduction pour les moustiques	- Obstrue le mouvement du bateau - Affecte l'usage récréatif des rivières et des lacs - Dommages aux aqueducs par l'obstruction des tuyaux et des pompes	Grande-Bretagne, France, Belgique et Pays-Bas
<i>Caulerpa taxifolia</i>	Killer algae	Côtes des Caraïbes, Mer Rouge, côte est-africaine, nord de l'océan Indien, sud de la mer de Chine, Japon, Australie	- Zone subtidale - Baies abritées, côtes exposées et herbiers marins - Se fixe aux roches et substrats artificiels (quais, tuyaux, cordes, bouées)	- Usage ornemental dans des aquariums (évasion ou libération) - Eau de ballast ou passager clandestin - Introduit pour la restauration des paysages - Se fixe au matériel de pêche - Dissémination naturelle avec les courants	- Change la structure de l'habitat - Déplace la faune et la flore - Concurrence les autres herbiers (par ex. <i>Posidonia oceanica</i> et <i>Cymodocea nodosa</i>) - Produit des caulerpines toxiques non comestibles pour la plupart des espèces - Barrière à la migration/recherche de nourriture des poissons	- Affecte le tourisme - Affecte la pêche emmêlée dans des filets et autres matériels de pêche et empoisonne le poisson qui en mange - Coûts d'éradication élevés	Grande-Bretagne, France et Pays-Bas
<i>Codium fragile</i>	Codium fragile	Océan Pacifique (Japon, Corée)	- Eaux subtidales peu profondes à des profondeurs de 15 m. - Baies et estuaires protégés - Se fixe aux coquilles bivalves, rochers ou structures artificielles	- Eaux de ballast et les salissures des coques - Aquaculture (mouvement des coquillages et équipement associé) - Dissémination passive avec les courants d'eau	- Rivalité avec les espèces indigènes - Change la structure de la communauté - Modification de l'habitat - Se fixe aux bivalves - Les frondes denses gênent le mouvement des invertébrés et des poissons et augmentent la sédimentation	- Nuisance à la pêche et à l'aquaculture (encrasse les filets et bancs de coquillages, étouffe les moules et pétoncles, encrasse et déplace les crustacés et algues produits commercialement) - Affecte le tourisme (s'accumule et pourrit sur les plages) - Encrasse les bateaux, filets de pêche, pieux de quai et jetées	Grande-Bretagne, Belgique et Pays-Bas
<i>Branta canadensis</i>	Canada goose	Amérique du Nord	- Eau douce stagnantes et à faible courant - Sites urbains, suburbains	- Introduction intentionnelle comme ornement et pour la chasse	- Les fientes peuvent augmenter les niveaux de nutriments (eutrophisation de l'eau) dans l'eau et le sol - Agression d'autres oiseaux (par ex. <i>Gallinula chloropus</i> , <i>Fulica atra</i>)	- Encrasse les parcs, endommageant les berges, polluant l'eau et présentant un risque pour l'aviation à proximité des aérodromes	Grande-Bretagne, France, Belgique et Pays-Bas

B. Gallardo, A. Zieritz et D. C. Aldridge (2013)

			et ruraux		<ul style="list-style-type: none"> - Hybridation (par ex. <i>Anser anser</i>) - Surpâturage, encrassement et piétinement menant à des changements drastiques de la végétation, à des dommages aux roselières et à l'érosion des sols 	<ul style="list-style-type: none"> - Transmet la <i>Salmonella</i> aux bovins - Dommages aux prairies et cultures - Augmente le risque d'inondation et accélère l'érosion des rives - Détérioration de la qualité de l'eau 	
Harmoinia axyridis	Harlequin ladybird	Asie	<ul style="list-style-type: none"> - Large éventail d'habitats: terres agricoles, vergers, zones humides, lisières des forêts 	<ul style="list-style-type: none"> - Lutte biologique - Accidentelle comme contaminant des fruits, légumes, fleurs ou autres produits emballés - Dissémination naturelle (vol actif) 	<ul style="list-style-type: none"> - Déplace les espèces indigènes, globalement les coccinelles indigènes (par ex. <i>Adalia bipunctata</i>) par la prédation et la rivalité pour l'espace et les ressources - Changements dans les niveaux trophiques supérieurs 	<ul style="list-style-type: none"> - Accueil et infestation des bâtiments, endommageant le mobilier, causant des morsures et des réactions allergiques - Ravageur des cultures de poires, raisins, framboises, pommes de terre et pommes 	Grande-Bretagne, France, Belgique et Pays-Bas
Mustela vison	American mink	Amérique du Nord	<ul style="list-style-type: none"> - Ruisseaux et berges avec une végétation dense, forêts humides, roselières et marais 	<ul style="list-style-type: none"> - Élevage des animaux à fourrure (évasion ou libération) - Dissémination naturelle (nage active) 	<ul style="list-style-type: none"> - Réduit les populations de proies (par ex. salmonidés, amphibiens, oiseaux aquatiques, rongeurs) - Affecte les oiseaux nichant au sol dangereusement menacés - Déplace les espèces indigènes (par ex. <i>M. lutreola</i>, <i>M. putorius</i>) - Transmet des maladies 	<ul style="list-style-type: none"> - Affecte les stations d'élevage des truites et saumons, fermes avicoles et fermes de moutons en se nourrissant sur les animaux - Propage le virus de la grippe 	Grande-Bretagne, France, Belgique et Pays-Bas
Sciurus carolinensis	Grey squirrel	Amérique du Nord	<ul style="list-style-type: none"> - Forêts naturelles et plantées, parcs, zones arbustives - Forêts de feuillus matures 	<ul style="list-style-type: none"> - Commerce des animaux domestiques 	<ul style="list-style-type: none"> - Déplace les espèces indigènes (par ex. <i>Sciurus vulgaris</i>) par exclusion rivale conduisant à leur extinction locale - Transmet des maladies (parapoxvirus) - Endommage les zones boisées par écorçage (par ex. sycomore et hêtre) 	<ul style="list-style-type: none"> - Ravageurs de jardin (déterre les bulbes, mange l'écorce des plantes ornementales) 	Grande-Bretagne, Belgique et Pays-Bas
Fallopia japonica	Japanese knotweed	Asie orientale (Japon)	<ul style="list-style-type: none"> - Zones urbaines et berges - Bord de terres arables, bords de routes et parcs 	<ul style="list-style-type: none"> - Commerce des plantes ornementales - Introduction visant à stabiliser le sol dans les zones côtières - Déplacement de machines/équipements infestés - Fragments fixés aux animaux - Déchets de jardin 	<ul style="list-style-type: none"> - Forme des peuplements denses qui masquent et repoussent la végétation indigène - Réduit la diversité des espèces - Change l'habitat en affectant la faune indigène - Risques accrus d'inondations et d'érosion des berges 	<ul style="list-style-type: none"> - La croissance des rhizomes et pousses prolifiques peut endommager les fondations, murs, trottoirs, travaux de drainage et structures de prévention des inondations 	Grande-Bretagne, France, Belgique et Pays-Bas
Heracleum mantegazzianum	Giant hogweed	Asie (Azerbaïdjan, Géorgie, Fédération de Russie)	<ul style="list-style-type: none"> - Berges de basses terres - Terrains vagues - Pâturages escarpés - Prairies ouvertes - Bord des routes 	<ul style="list-style-type: none"> - Commerce des plantes ornementales 	<ul style="list-style-type: none"> - Perte de la biodiversité - Forme une canopée dense qui rivalise avec les autres types de végétations indigènes - Augmente l'érosion des sols - S'hybride avec l'<i>Heracleum sphondylium</i> indigène européen 	<ul style="list-style-type: none"> - Produit une sève phytotoxique qui provoque des brûlures cutanées - Affecte le tourisme en réduisant la valeur récréative des terres envahies - Mauvaises herbes problématiques pour les milieux agricoles et urbains 	Grande-Bretagne, France, Belgique et Pays-Bas
Impatiens glandulifera	Himalayan balsam	Asie (Inde)	<ul style="list-style-type: none"> - Berges souples par courants et rivières lents - Endroits humides et semi-ombragés - Terrains vagues - Régions boisées 	<ul style="list-style-type: none"> - Commerce des plantes ornementales - Transport de machines ou de matériel infesté - Dissémination passive avec les courants d'eau - Dissémination naturelle par déhiscence explosive de capsules de graines - S'accroche aux chaussures ou vêtements des randonneurs 	<ul style="list-style-type: none"> - Déplace les autres espèces indigènes en les masquant et en produisant beaucoup de nectar qui attire la plupart des pollinisateurs - Affecte négativement l'habitat de la faune - Favorise l'érosion - Empêche l'écoulement 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmente le risque d'inondation 	Grande-Bretagne, France, Belgique et Pays-Bas

3.3 La modélisation de la répartition des EEE

Un total de 72 espèces ont été modélisées, 42 de la liste d'alerte et 30 de la liste noire des EEE.

La précision des modèles allait de 0,90 à 0,99 AUC, ce qui peut être considéré comme une qualité très élevée. Un résumé des résultats de la modélisation, y compris l'exactitude, la contribution de chaque facteur prédictif du modèle et le pourcentage de la région RINSE prédite adapté aux espèces peuvent être consultés à l'Annexe E.

3.3.1 Modélisation de la répartition potentielle des EEE de la liste d'alerte

Plantes terrestres de la liste d'alerte

La saisonnalité de la température et la température moyenne annuelle constituaient les variables environnementales les plus importantes expliquant la répartition potentielle des plantes terrestres de la liste d'alerte. L'aptitude pour la plupart des plantes terrestres était supérieure à une température annuelle moyenne de 15-20°C (Figure 24). Le groseillier (*M. calvescens*) et la liane américaine (*M. micrantha*) ont montré une préférence pour des températures moyennes plus élevées d'environ 25°C, tandis que l'adéquation maximale de la blady grass (*I. cylindrica*) et du Kudzu (*P. lobata montana*) était située à des températures inférieures de 10 à 20°C (Fig. 24). Parmi les facteurs socio-économiques, la proximité des routes et l'indice de l'influence humaine semblent également exercer une influence significative sur leur répartition. Toutes les plantes terrestres ont montré une réponse presque linéaire à l'indice de l'influence humaine, avec une aptitude augmentée à HII > 20 (Fig. 24).

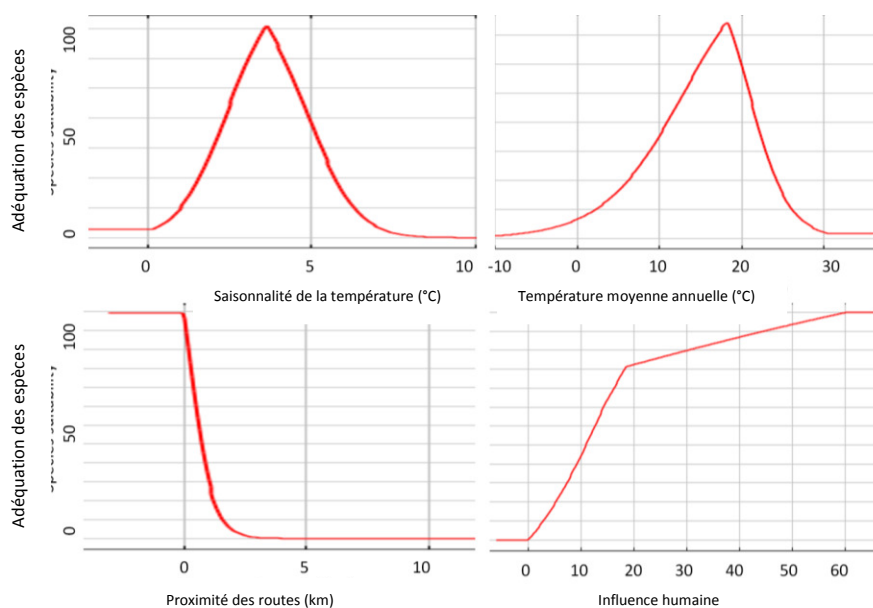


Figure 24. Réponse des plantes terrestres de la liste d'alerte aux facteurs les plus importants de leur répartition mondiale. Les graphiques correspondent à *Rubus ellipticus* comme exemple représentatif.

Spatialement, la plupart des espèces ont montré des scores de risque relativement faibles dans les quatre pays RINSE (Figure 25), à l'exception de la framboise sauvage d'Asie (*R. ellipticus*), du faux poivrier (*S. terebinthifolius*) et du tamaris asiatique (*T. ramosissima*). Ces trois espèces ont obtenu des scores très élevés dans l'exercice d'évaluation du risque (> 3) et donc leur risque ne doit pas être rejeté, dans l'ensemble, car la plupart d'entre eux sont introduits à des fins ornementales/horticoles et leur commerce n'a pas été limité à la région. Toutefois, il est à noter que les faibles scores d'adéquation pour les plantes terrestres peuvent être pilotés par les données, liés à un très grand nombre de dossiers de présence mondiale se traduisant par des répartitions modélisées très étroites autour des zones déjà envahies, et des scores d'aptitude très faibles ailleurs.

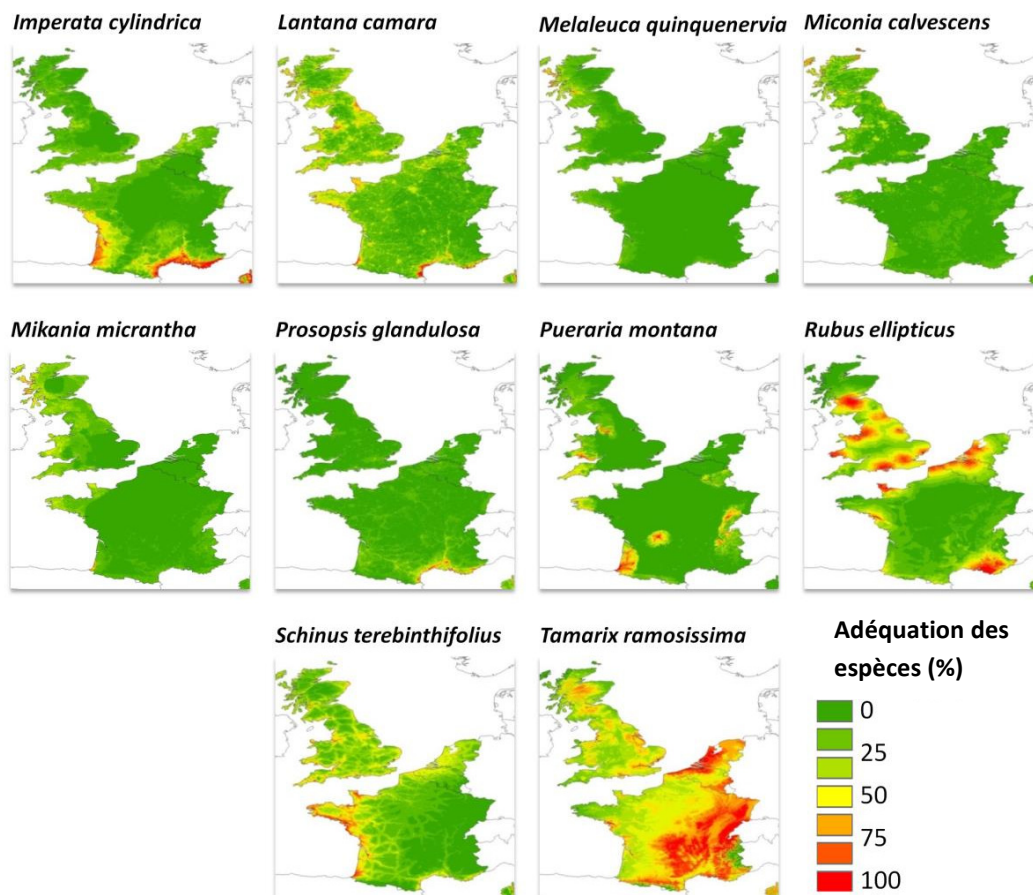


Figure 25. Répartition prédite de 10 plantes de la liste d'alerte dans la région RINSE. La probabilité d'établissement varie de 0 % lorsque les conditions sont totalement différentes de l'aire de répartition actuelle de l'espèce à 100 % lorsque les conditions correspondent parfaitement.

Animaux terrestres de la liste d'alerte

Le contributeur le plus important des modèles d'animaux de la liste d'alerte était la température minimale du mois le plus froid (Figure 26). Par exemple, cette variable a contribué pour plus de 70 % aux modèles de l'escargot pomme (*P. canaliculata*) et à la fourmi folle jaune (*A. gracillipes*). Certaines espèces ont montré

une aptitude maximale à des températures très froides, y compris le mouflon à manchettes (*A. lervia*), le bison d'Amérique (*B. bison*), le castor canadien (*C. canadensis*) et la tortue peinte (*C. picta*). Au contraire, la fourmi folle jaune (*A. gracillipes*), le serpent brun arboricole (*B. irregularis*), l'écureuil de Finlayson (*C. finlaysonii*), l'escargot cannibale (*E. rosea*), le muntjak Indien (*M. muntjak*) et les escargots pomme (*P. canaliculata*) ont montré une aptitude maximale à des températures chaudes entre 10 et 20°C. La proximité des routes et l'indice de l'influence humaine ont été les facteurs socio-économiques les plus influents sur la répartition des espèces, alors que la densité de la population a souvent chuté lors de l'optimisation du modèle.

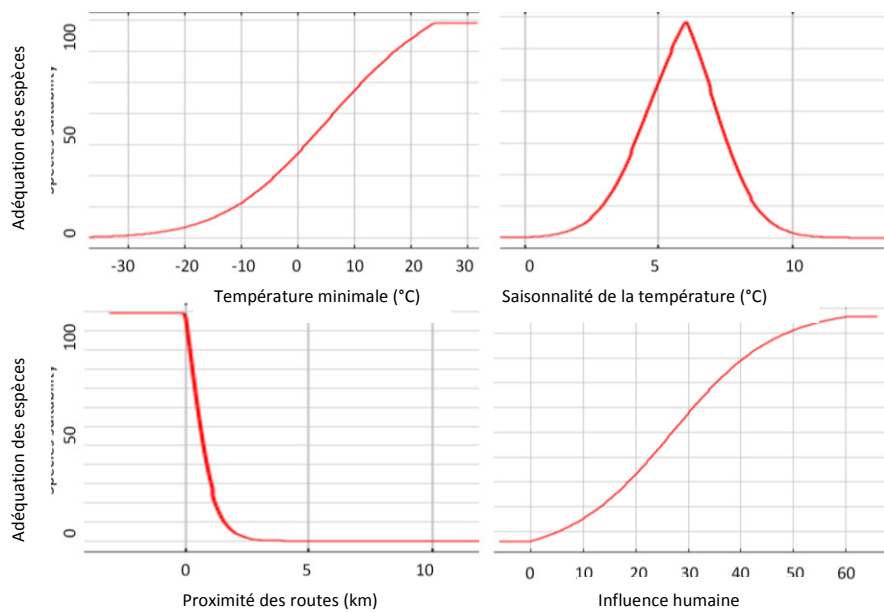


Figure 26. Réponse des animaux terrestres de la liste d'alerte aux facteurs les plus importants de leur répartition mondiale. Les graphiques correspondent à *Muntiacus muntjak* comme exemple représentatif.

L'écureuil de Finlayson et escargot pomme ont obtenu les scores de risques les plus élevés dans les pays RINSE, dans l'ensemble des zones côtières et urbaines (Figure 27). L'escargot pomme est le plus souvent considéré comme aquatique, bien que dans cette étude, nous l'ayons inclus avec des animaux terrestres, car il colonise les plantes terrestres et aquatiques. L'aptitude de l'escargot cannibale (*E. rosea*) et du muntjak Indien (*M. muntjak*) a également été relativement élevée à proximité des zones urbaines (Figure 27).

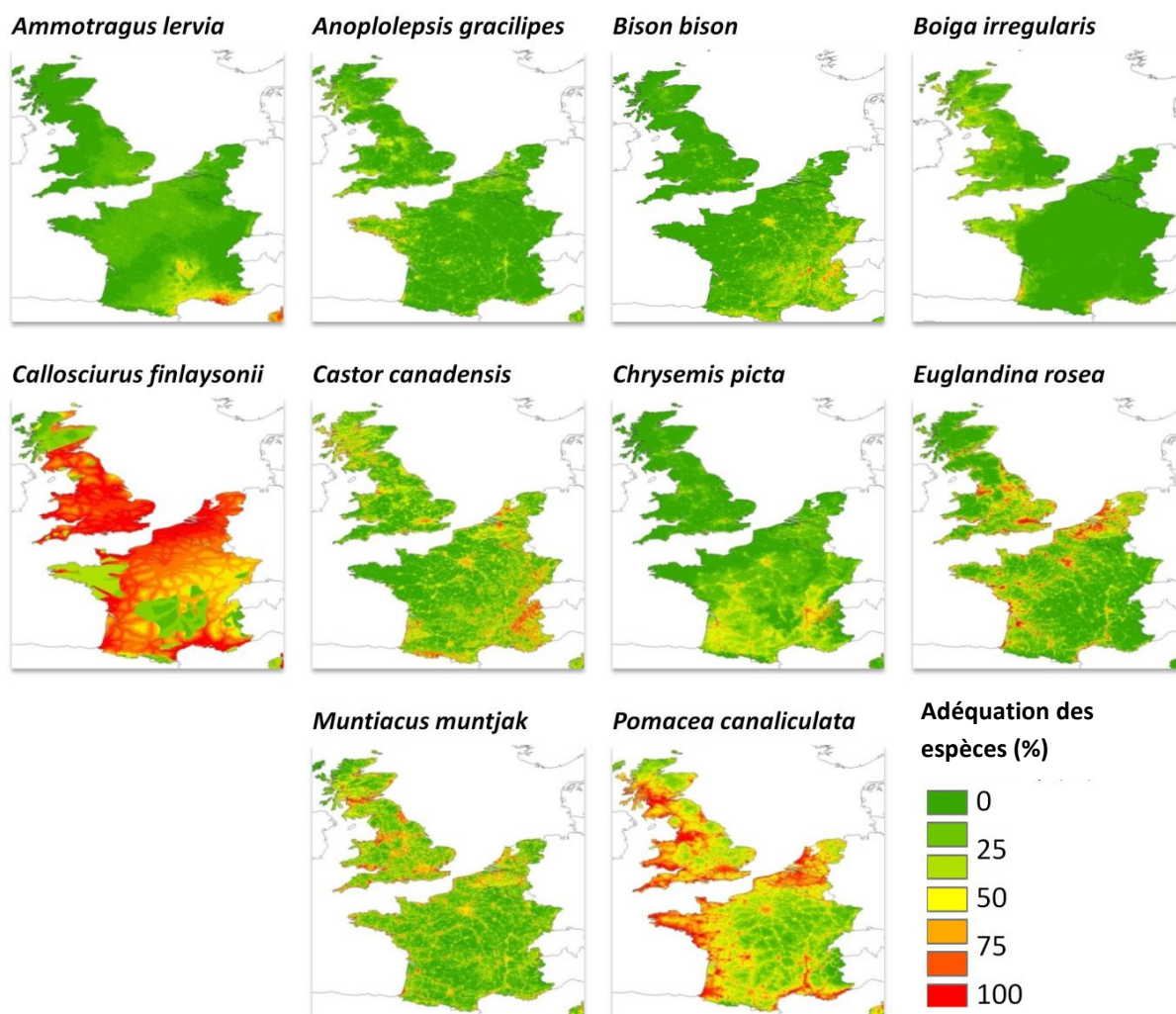


Figure 27. Répartition prédite de 10 animaux terrestres de la liste d'alerte dans la région RINSE. La probabilité d'établissement varie de 0 % lorsque les conditions sont totalement différentes de l'aire de répartition actuelle de l'espèce à 100 % lorsque les conditions correspondent parfaitement.

Organismes aquatiques continentaux de la liste d'alerte

Comme pour les animaux terrestres, la température minimale a également été importante pour expliquer la répartition des espèces aquatiques continentales, des espèces ponto-caspiennes globales telles que la puce d'eau en hameçon (*C. pengoi*), les crevettes ponto-caspiennes (*C. warpachowski*, *O. obesus*, *P. robustoides*), le gobie à nez tubulaire (*N. gymnotrachelus*) et l'escargot du Danube (*T. danubialis*). Les espèces ponto-caspiennes ont montré des optima de 10°C environ (Figure 28), alors que les espèces provenant de milieux plus tropicaux ou subtropicaux montrent des optima beaucoup plus élevés : poisson-chat (*C. batrachus*) 20-25°C, perche du Nil (*L. niloticus*) > 20°C. La température moyenne a été en mesure d'expliquer à elle seule jusqu'à 80 % de la répartition mondiale de ces derniers.

Un autre facteur important de la répartition des EEE aquatiques continentales a été la proximité des ports de commerce, vecteur majeur d'invasions aquatiques dans le monde (Figure 28). Par exemple, la proximité du port

explique 60 % de la répartition mondiale de la crevette américaine (*G. fasciatus*), qui a présenté l'adéquation la plus élevée dans les 500 km autour des ports de commerce. La densité de la population et la proximité de routes ont été les variables indépendantes les moins significatives des modèles aquatiques continentaux.

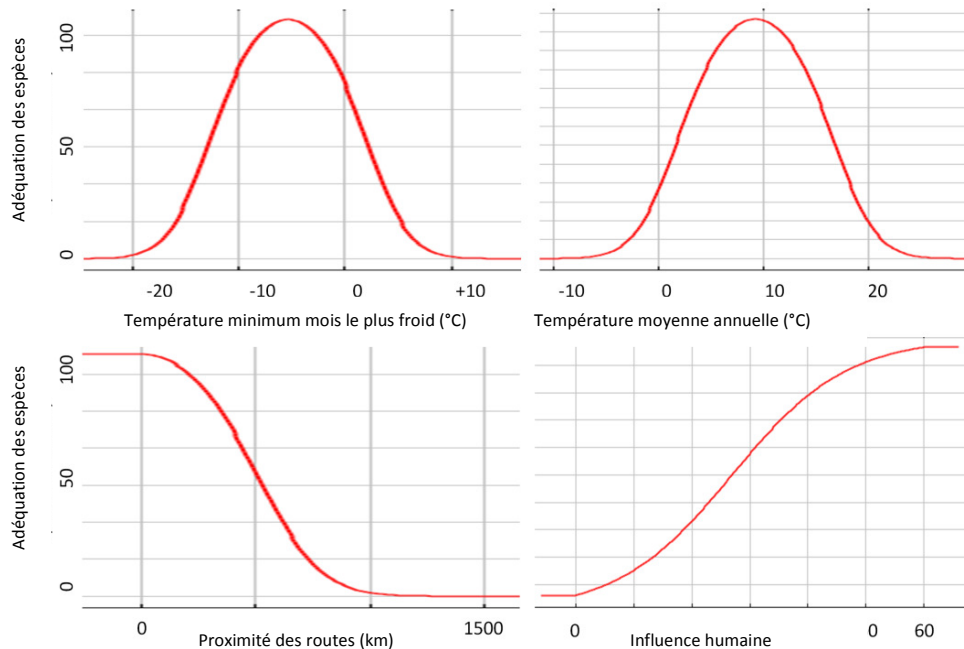


Figure 28. Réponse des organismes aquatiques continentaux de la liste d'alerte aux facteurs les plus importants de leur répartition mondiale actuelle. Les graphiques correspondent à *Neogobius gymnotrachelus* comme exemple représentatif.

Les scores d'adéquation pour les EEE aquatiques continentales ont été généralement plus élevés autour de la partie méridionale de la mer du Nord : sud-est de l'Angleterre, Pays-Bas, Belgique et nord-est de la France (Figure 29). L'aptitude a été particulièrement forte pour les espèces pontocaspianes telles que *C. warpachowski*, *N. gymnotrachelus* et *P. robustoides*, ainsi que pour *G. fasciatus* et *T. danubialis*. En revanche, les scores d'adéquation sont faibles pour *C. batrachus*, *A. dispar* et *L. niloticus*, reflétant leur préférence pour des eaux plus chaudes.

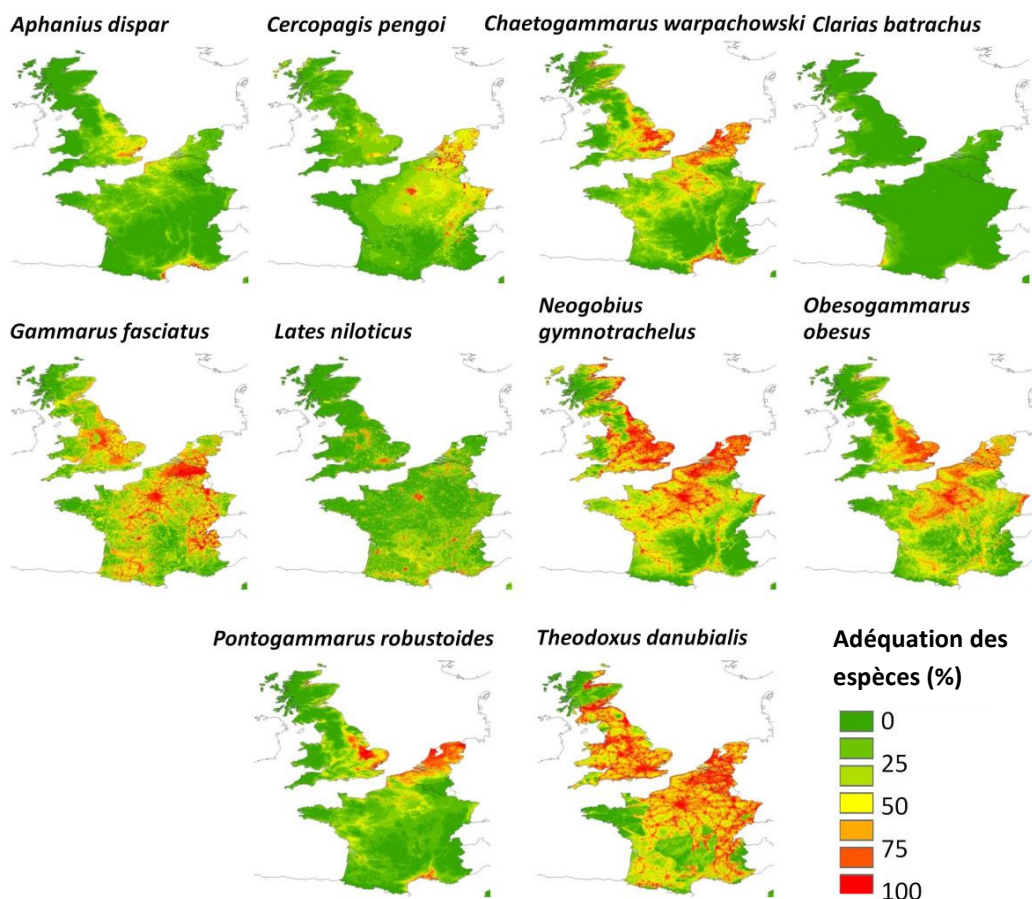


Figure 29. Répartition prédite de 10 espèces aquatiques continentales de la liste d'alerte dans la région RINSE. La probabilité d'établissement varie de 0 % lorsque les conditions sont totalement différentes de l'aire de répartition actuelle de l'espèce à 100 % lorsque les conditions correspondent parfaitement.

Organisme marin de la liste d'alerte

La concentration de nitrate et la température minimale de la surface de la mer ont été les facteurs les plus importants pour les modèles d'EEE marines. La plupart des espèces ont démontré une diminution de l'aptitude à une concentration en nitrates $> 0,125$ mg/L NO_3 (Figure 30), à l'exception du crabe des neiges (*C. opilio*, optima entre 0,31 et 0,62 mg/L NO_3), la palourde Amur (*P. amurensis*, optima entre 0,125 et 0,31 mg/L NO_3) et le crabe royal rouge (*P. camtschaticus*, optima entre 0,182 et 0,62 mg/L NO_3). Les réponses à une température minimale de l'eau ont été variables, et ont reflété l'origine tropicale/méditerranéenne de certaines espèces marines évaluées comme le limu kohu (*A. taxiformis*), le crabe bleu nageur (*P. pelagicus*), la sériole babiane (*S. fasciata*) et le poisson-lapin (*S. rivulatus*) qui ont montré une grande aptitude à des températures minimales entre 15 et 25°C. En revanche, les espèces provenant des mers du Nord ont montré un optimum à des températures bien inférieures : *A. amurensis* (-2 à 4°C), *C. opilio* (0-4°C), *P. amurensis* (0-15°C) et *P. camtschaticus* (0-3°C). Contrairement à nos attentes, l'influence marine a très peu contribué aux modèles de répartition (contribution en moyenne < 1 %). Néanmoins, il est intéressant de noter la

réponse logistique en forme de cloche que toutes les espèces marines ont démontré à l'augmentation de la dégradation du milieu marin (Figure 30).

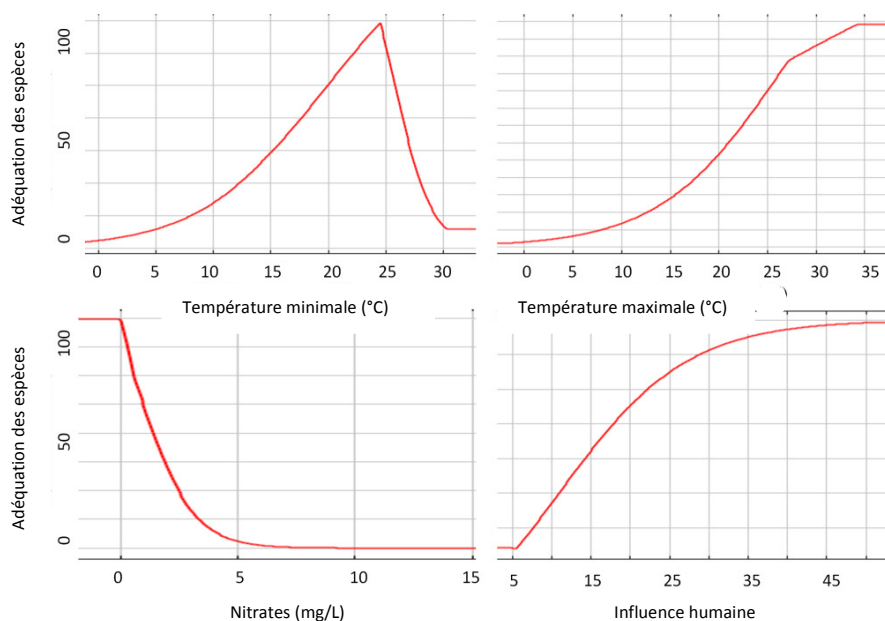


Figure 30. Réponse des organismes aquatiques de la liste d'alerte aux facteurs les plus importants de leur répartition mondiale. Les graphiques correspondent à *Seriola fasciata* comme exemple représentatif.

Les scores de risque ont été presque négligeables dans la région RINSE, ce qui pourrait être lié à l'origine tropicale/méditerranéenne prédominante des espèces et donc une préférence pour des eaux plus chaudes. Certaines espèces ont démontré des scores d'adéquation modérés dans le delta des Pays-Bas entre les ports d'Anvers et de Rotterdam, notamment : le crabe des neiges (*C. opilio*), le poisson-cornet à pois bleus (*F. commersoni*), le crabe royal rouge (*P. camtschaticus*) et le vrai poisson lézard (*S. undosquamis*) (Figure 31). Parce que la plupart de ces espèces sont introduites par des activités commerciales, leur risque d'introduction ne doit pas être sous-estimé, même si elles se limitent à cette petite région géographique.

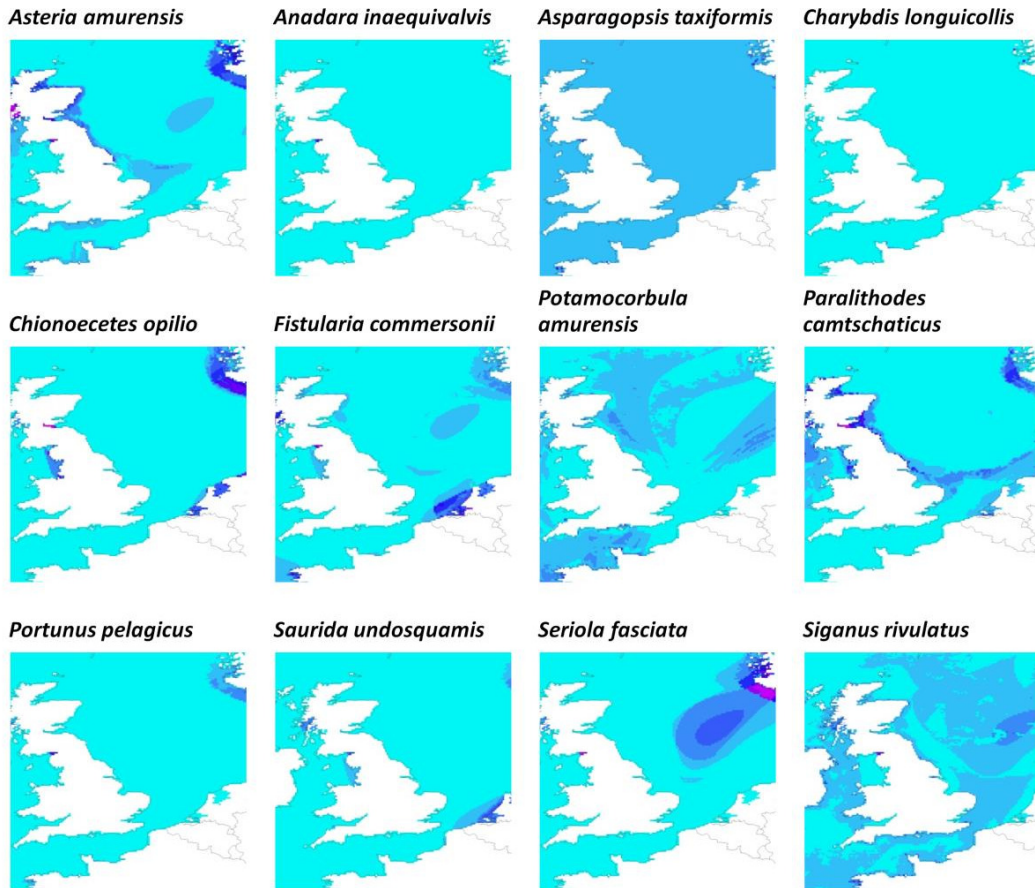


Figure 31. Répartition prédite de 12 espèces marines de la liste d’alerte dans la région RINSE. La probabilité d’établissement varie de 0 % lorsque les conditions sont totalement différentes de l’aire de répartition actuelle de l’espèce à 100 % lorsque les conditions correspondent parfaitement.

Carte de répartition des EEE de la liste d’alerte

Toutes les cartes des espèces individuelles ont été converties en cartes plus simples de présence/absence à l’aide du seuil maximisant chaque répartition prédite d’espèces. Les cartes ont ensuite été combinées pour générer une carte de répartition qui reflètent spatialement le nombre total d’espèces prédites présentes (Figure 32). La carte de répartition a mis en évidence les zones portuaires et urbaines autour de la Manche et la partie méridionale de la mer du Nord comme points « chauds » potentiels des espèces envahissantes. Les environs des ports commerciaux comme la Tamise, Southampton, Rotterdam, Anvers et Boulogne-sur-Mer ont démontré le plus grand nombre d’envahisseurs potentiels, avec jusqu’à 25 EEE de la liste d’alerte différentes actuellement prédites. Les grands centres urbains comme Londres, Liverpool, Paris, Amsterdam, Utrecht, Gand ou Bruxelles peuvent également être d’importantes portes d’entrée en fonction de notre carte de répartition d’alerte. Par pays, la majeure partie des Pays-Bas et de la Belgique a été sous la menace de multiples invasions. En Angleterre, le risque a été le plus élevé dans le sud-est (par ex. East Midlands, Londres et sud-est de l’Angleterre), alors qu’en France, il a été le plus élevé dans le nord-est (par ex. Nord-Pas-de-Calais et Ile- de-France).

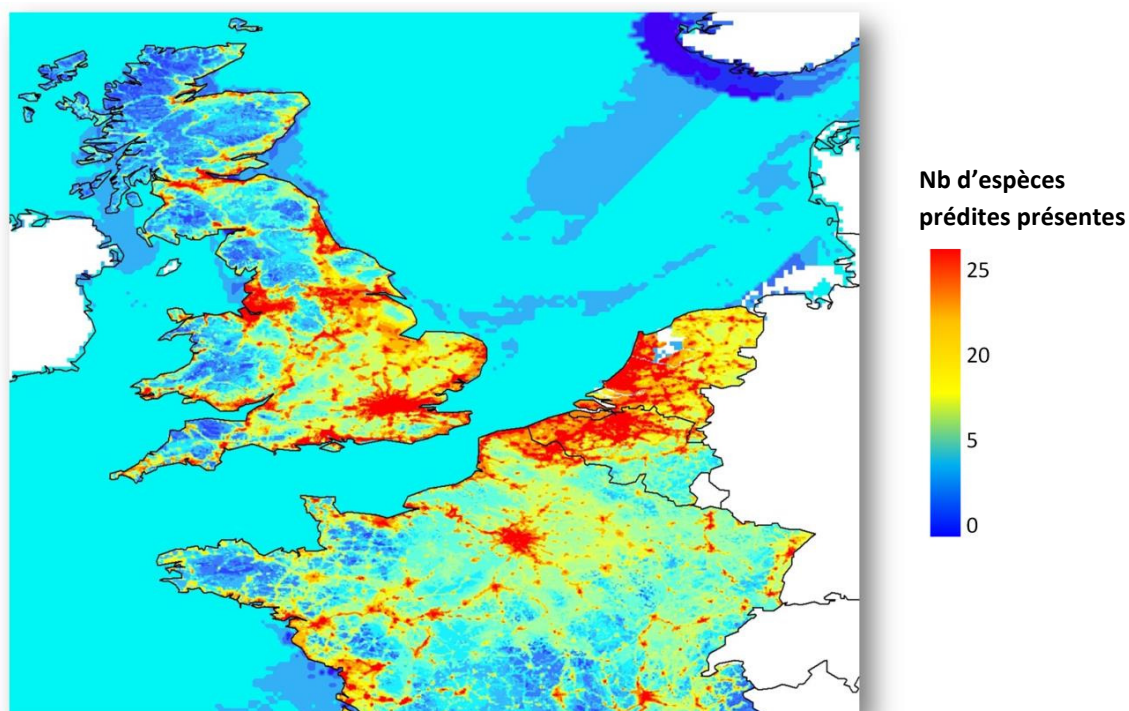


Figure 32. Carte de répartition montrant la probabilité cumulée de la présence de 42 espèces exotiques envahissantes incluses dans la Liste d'alerte des EEE.

3.3.1 Modélisation de la répartition potentielle des espèces de la liste noire

Toutes les espèces modélisées de la liste noire sont présentes dans au moins un des pays RINSE. Par opposition à la nature essentiellement préventive des cartes des EEE de la liste d'alerte, dans ce cas, les cartes d'aptitude peuvent servir a) à empêcher l'introduction des EEE dans des pays RINSE où une liste noire des EEE n'est pas encore présente, b) à évaluer la répartition potentielle des EEE en vertu d'un scénario du « pire cas », et c) à évaluer les facteurs les plus importants de leur répartition.

Plantes terrestres de la liste noire

La température a été le facteur le plus important des plantes terrestres de la liste noire. Par exemple, la température minimale du mois le plus froid a été en mesure d'expliquer plus de 60 % de la répartition du figuier des Hottentots (*C. edulis*) et du figuier de Barbarie (*O. ficus-indica*). *C. edulis* est déjà présent en Angleterre, en France et en Belgique, mais pas encore aux Pays-Bas où, selon nos modèles, les zones côtières pourraient fournir des zones propices à son expansion. De même, l'herbe de la pampa (*C. selloana*) n'a pas été encore signalée par les Pays-Bas, bien que nos modèles suggèrent que de vastes parties du pays pourraient être sensibles à son invasion (Figure 33). L'acacia dealbata (*A. dealbata*), le concombre sauvage (*E. lobata*), le figuier de Barbarie (*O. ficus-indica*) et la renoncule des Bermudes (*O. pression caprae*) sont

des plantes ornementales présentes en France qui pourraient constituer une menace pour les zones urbaines et côtières et dont la prévention envers les autres pays RINSE est fondamentale (Figure 33).

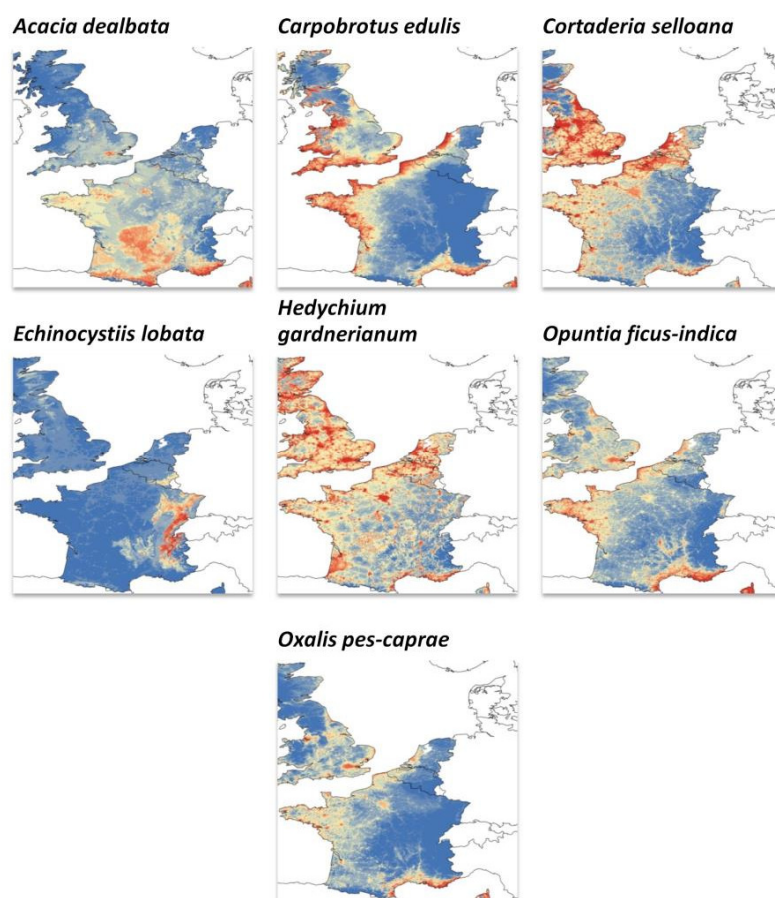


Figure 33. Répartition prédite de 7 plantes terrestres de la liste noire dans la région RINSE. La probabilité d'établissement varie de 0 % lorsque les conditions sont totalement différentes de l'aire de répartition actuelle des espèces (couleur bleue) à 100 % lorsque les conditions correspondent parfaitement (couleur rouge).

Animaux terrestres de la liste noire

La température minimale du mois le plus froid et la saisonnalité de la température ont été fondamentales pour expliquer la répartition des animaux terrestres de la liste noire. Les facteurs socio-économiques ont été dans ce cas particulièrement importants, dans l'ensemble l'indice de l'influence humaine (capable d'expliquer plus de 20 % de la répartition de la fourmi d'Argentine, *L. humile*, et de la mouche méditerranéenne des fruits, *C. capitata*) et la proximité du port (pertinente pour l'écureuil gris, *S. carolinensis* et le longicorne asiatique, *A. glabripennis*). Spatialement, l'influence des facteurs socio-économiques peut être notée dans les scores de pertinence élevés au sein des zones urbaines et le long des voies de transport comme les routes et les ports (couleurs rouges de la figure 34). La plupart des EEE évaluées sont des espèces ornementales introduites intentionnellement et qui sont finalement libérées ou échappent à la captivité, ce qui explique la forte influence des facteurs socio-économiques.

La répartition potentielle du moustique tigre asiatique (*A. albopictus*) semble être étroitement liée aux routes (Figure 34). En fait, le marché du pneumatique a souvent été souligné comme l'un des principaux vecteurs de propagation de cette espèce, qui montre une dispersion de vol limitée (200-400 km). La présence du moustique tigre en Europe centrale et du Nord est encore sporadique, sa répartition étant plutôt réservée aux pays du Sud (Italie, Grèce). Sa pertinence est néanmoins notable dans la partie sud de la France, et il a été observé en Belgique et aux Pays-Bas (Figure 34). La présence du longicorne asiatique est seulement prédite dans l'est de la France (Figure 34), bien que l'espèce ait été finalement observée dans les quatre pays (observations isolées rapidement éradiquées en Belgique et aux Pays-Bas). Des rapports sur l'aleurode du tabac (*B. tabaci*) ont également été secondaires, et l'adéquation de la région à l'espèce n'est pas notable (Figure 34). La répartition potentielle de la mouche méditerranéenne des fruits (*C. capitata*) et de la fourmi d'Argentine (*L. humile*) a été étroitement associée aux zones urbaines, aux zones perturbées et aux voies de transport (Figure 34). Toutefois, on peut s'attendre à ce que *C. capitata* présente une répartition plutôt méditerranéenne et ne soit pas susceptible de présenter une menace sérieuse pour les quatre régions au sein des pays RINSE. À l'inverse, la fourmi d'Argentine est déjà largement répandue en Europe et susceptible de continuer à se propager comme contaminant de produits naturels provenant d'Amérique du Sud ou d'autres régions infestées. La chenille processionnaire du chêne, *T. processionea*, est originaire de France et s'est probablement propagée dans d'autres pays RINSE, importée comme contaminant des chênes. Étant donné que sa répartition en Angleterre est encore limitée, son contrôle devrait être possible. Le frelon asiatique, *V. vespulina*, se propage rapidement en France où il a été détecté pour la première fois en 2004. La Belgique est le seul pays affichant des scores de risque relativement élevés pour cette espèce (Figure 34), bien que sa capacité à s'adapter à des climats plus froids ne doive pas être négligée. L'écureuil gris (*S. carolinensis*) est largement réparti en Grande-Bretagne, où il a été introduit au 19^{ème} siècle, et il pourrait représenter une menace pour le nord de la France, la Belgique et les Pays-Bas (Figure 34).

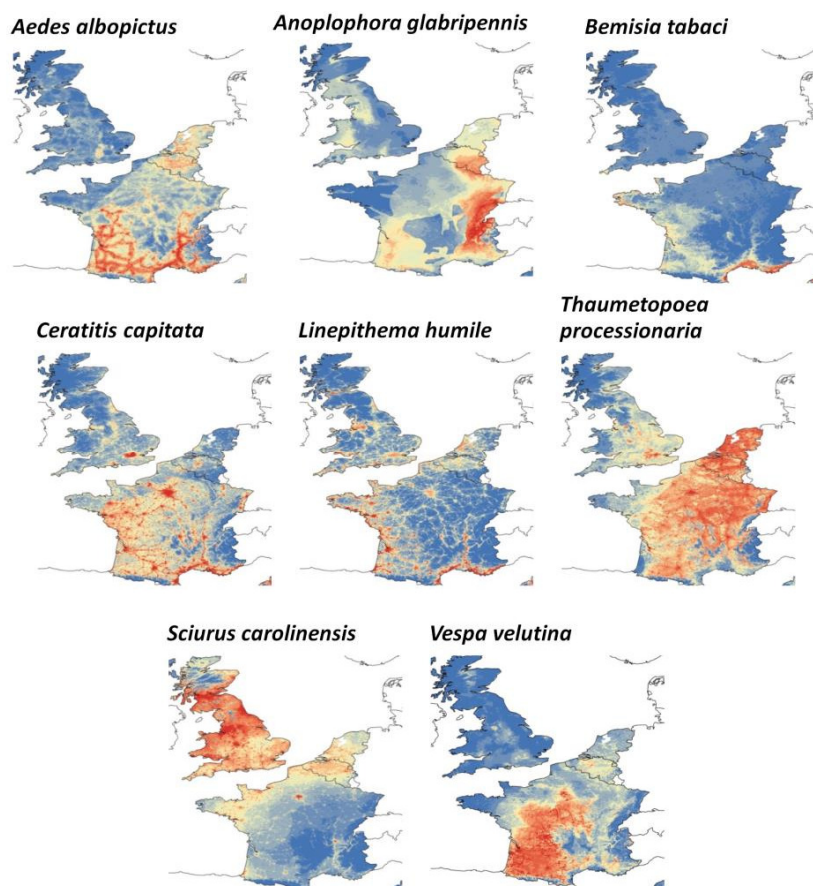


Figure 34. Répartition prédite de 9 animaux terrestres de la liste noire dans la région RINSE. La probabilité d'établissement varie de 0 % lorsque les conditions sont totalement différentes de l'aire de répartition actuelle des espèces (couleur bleue) à 100 % lorsque les conditions correspondent parfaitement (couleur rouge).

Organismes aquatiques continentaux de la liste noire

Parmi sept organismes aquatiques continentaux modélisés, le myriophylle hétérophylle (*M. heterophyllum*), le gobie à nez tubulaire (*P. marmoratus*), le nématode de la vessie natatoire de l'anguille (*A. crassus*) et la moule quagga (*D. r. Bugensis*) ont montré les scores de risque les plus élevés (Figure 35). Le gobie à nez tubulaire et les moules quagga se sont répandus à travers le corridor du Danube au cours des dernières décennies et sont récemment arrivés au Rhin inférieur, d'où ils pourraient passer en Grande-Bretagne en tant que contaminants des eaux de ballast ou encrassement des coques de bateau. La moule quagga est un envahisseur agressif avec des effets similaires à la moule zébrée, considérée comme l'une des pires espèces envahissantes dans le monde entier. Son introduction dans des régions appropriées du sud-est de l'Angleterre, de la Belgique et certaines parties de la France pourrait être potentiellement dévastatrice et devrait donc être empêchée (Figure 35). Le nématode de la vessie natatoire de l'anguille est un parasite de l'anguille dont la répartition est souvent associée à des activités aquacoles, affectant potentiellement les régions côtières des quatre pays (Figure 35). Au contraire, les modèles suggèrent des scores de risque faibles pour le Cabomba Caroliniana (*C. caroliniana*), la jacinthe d'eau (*E. crassipes*) et le gobie rond (*N. melanostomus*) (Figure 35).

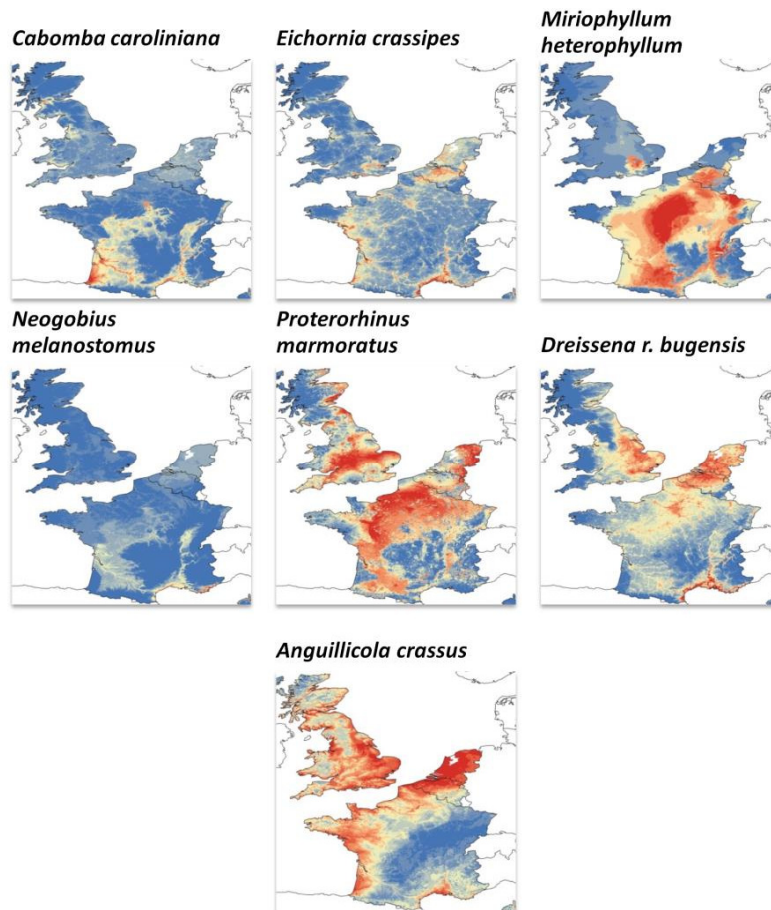


Figure 35. Répartition prédite de 7 espèces aquatiques continentales de la liste noire dans la région RINSE. La probabilité d'établissement varie de 0 % lorsque les conditions sont totalement différentes de l'aire de répartition actuelle des espèces (couleur bleue) à 100 % lorsque les conditions correspondent parfaitement (couleur rouge).

Organismes marins de la liste noire

Contrairement aux EEE marins de la liste d'alerte, la région RINSE a montré une forte aptitude pour les EEE marins de la liste noire, globalement le dinoflagellé de marée rouge (*A. catenella*), la diatomée *C. waillesi* et dans une moindre mesure le codium fragile (*C. fragile*) et le varech japonais (*U. pinnatifida*) (Figure 36). Certaines de ces espèces ont une répartition très limitée dans la région RINSE, donc leur propagation vers d'autres pays RINSE pourrait être évitée. Le risque est particulièrement élevé pour *A. catenella* (Figure 36), un dinoflagellé planctonique avec des capacités de dispersion très élevées dans les courants d'eau et des effets écologiques potentiellement dévastateurs. Le varech japonais est réparti le long de la partie méridionale de la région d'étude et les modèles suggèrent un certain potentiel d'expansion vers le nord, le long de la côte britannique (Figure 36). En revanche, *C. waillesi* et *C. fragile* sont déjà répandus dans la région d'étude, donc la gestion dans ce cas devrait être plutôt dirigée vers l'éradication locale de l'espèce si possible, plutôt que la prévention. D'autre part, la pertinence a été relativement faible pour le gland bernacle (*B. improvisus*), la datte de mer asiatique (*M. senhousia*) et la caulerpe (*C. taxifolia*) (Figure 36).

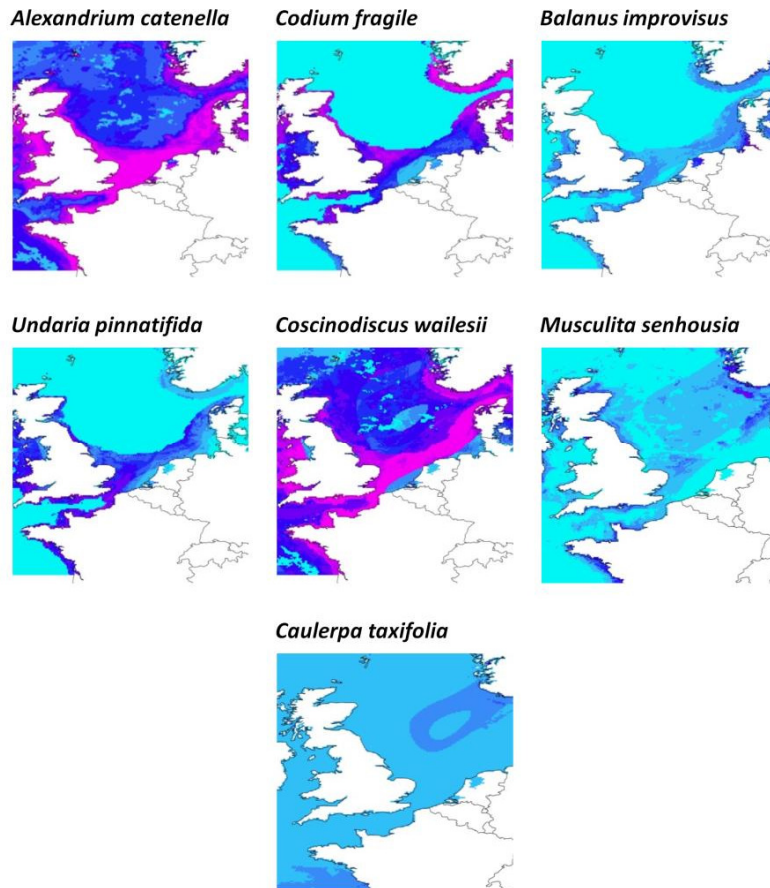


Figure 36. Répartition prédite de 7 organismes marins de la liste noire dans la région RINSE. La probabilité d'établissement varie de 0 % lorsque les conditions sont totalement différentes de l'aire de répartition actuelle des espèces (couleur bleue) à 100 % lorsque les conditions correspondent parfaitement (couleur rouge).

Carte de répartition des EEE de la liste noire

Les scores de risques cumulés ont été généralement plus élevés pour les EEE de la liste noire par rapport aux EEE de la liste d'alerte comme on pouvait s'y attendre, puisque la région RINSE a déjà prouvé être adaptée aux EEE de la liste noire. L'aptitude a généralement été plus élevée autour de la partie méridionale de la mer du Nord et a diminué vers le nord-ouest en Grande-Bretagne, et vers le sud-est en France, en Belgique et aux Pays-Bas (Figure 37). Par pays, une grande proportion de la Belgique et des Pays-Bas était adaptée pour plusieurs espèces, alors qu'en France et en Grande-Bretagne, la zone touchée était plus limitée (Figure 37). Dans les pays, les zones urbaines perturbées et côtières ainsi que les centres de transport comme les ports et les routes semblent être plus sujettes à l'invasion (Figure 37). Dans le milieu marin, l'aptitude combinée était élevée dans la partie est de la Manche et sud-ouest de la mer du Nord, le long de la côte des pays RINSE, reflétant la préférence de la plupart des espèces pour les eaux côtières, généralement chaudes, riches en nutriments, avec des substrats disponibles pour l'installation et une pression de propagule potentiellement élevée (Figure 37).

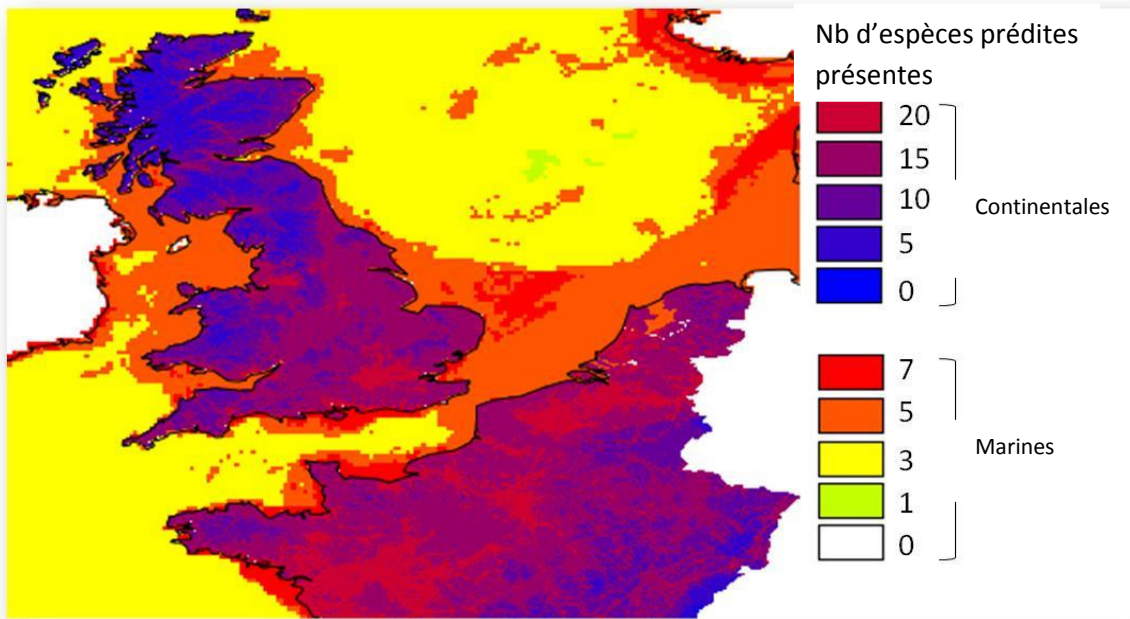


Figure 37. Carte de répartition montrant la probabilité cumulative de la présence de 31 espèces exotiques envahissantes

4. DISCUSSION

4.1 Registre des espèces exotiques

4.1.1 Répartition des espèces entre pays

Nos données indiquent que la Grande-Bretagne possède le plus grand nombre d'espèces exotiques, suivie par la France, les Pays-Bas et enfin la Belgique. Cette tendance est en corrélation avec les régions respectives des pays RINSE, à l'exception de la France, qui est de loin le plus grand pays et dont on peut donc s'attendre à ce qu'elle mène la liste.

Ce nombre relativement élevé d'EEE enregistrées en Grande-Bretagne peut être dû au fait qu'il s'agit d'une île, caractérisée par un ensemble d'espèces indigènes quelque peu différent des pays RINSE continentaux (Hulme, 2009). Sinon, le nombre relativement faible d'EEE enregistrées en France peut être dû à l'absence d'informations de ce pays à une échelle et à une qualité similaires aux autres pays. Alors que des bases de données spécifiques existent pour la Grande-Bretagne (par exemple, Great Britain Non-native Species Information Portal), la Belgique (par ex. base de données Harmonia) et les Pays-Bas (par ex. Nederlands Soortenregister) qui ont permis de compléter les informations à partir de sources plus générales (par ex. DAISIE Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe), il n'existe rien de semblable pour la France.

La mauvaise disponibilité des données est également la raison la plus probable expliquant le faible nombre d'EE dont nous avons été en mesure de confirmer la présence dans la région RINSE française. Bien que la région RINSE française soit loin d'être la plus petite des quatre pays (Figure 3), selon notre base de données, elle dispose de loin du plus petit nombre d'EE des quatre pays RINSE. Nous pensons que cette observation surprenante est un

événement causé par la mauvaise qualité des données sur la répartition géographique des espèces en France. Par exemple, le portail du Réseau national de la biodiversité britannique fournit des informations géographiques détaillées sur la présence des espèces en Grande-Bretagne, ce qui nous a permis de confirmer qu'au moins 52 % des EE présentes en Grande-Bretagne étaient situées dans la région RINSE. Pour la Belgique et les Pays-Bas nous sommes essentiellement appuyés sur trois pages Web (<http://waarnemingen.be>, <http://waarneming.nl/index.php> et <http://www.nlbif.nl/>) qui fournissent des informations actualisées sur la répartition des espèces et les observations récentes. Au moins 56 et 68 % des espèces exotiques présentes aux Pays-Bas et en Belgique pourraient ainsi être situées irréfutablement dans la région RINSE. En revanche, pour la France, aucun portail de données similaire n'a été trouvé. Le portail de l'Inventaire National du Patrimoine Naturel a d'abord semblé pertinent, mais malheureusement, il s'est avéré ne contenir que des documents limités qui ont généralement été insuffisants pour nos besoins. En conséquence, les données sur la répartition des EE à travers la France ont dû être recueillies auprès de portails internationaux tels que le Global Biodiversity Information Facility et l'Ocean Biogeographic Information System OBIS. Le pourcentage relativement faible des espèces exotiques présentes dans la région RINSE française (22 %) pourrait donc être dû à l'absence d'informations géographiques disponibles pour ce pays.

En général, il faut noter que la détermination des espèces présentes dans la région d'étude RINSE non seulement a considérablement différé entre les pays, mais a aussi été très difficile. En conséquence, nous tenons à souligner à ce stade que nous ne pouvons pas confirmer que l'une des espèces présentes dans un pays donné soit en fait absente de la région RINSE.

L'analyse typologique des coefficients de similarité de Jaccard a indiqué que la France était le pays dans lequel les inventaires d'espèces exotiques étaient les plus différents des autres pays RINSE. Cette observation s'explique plus facilement par le fait que la France contient des régions méditerranéennes qui diffèrent sensiblement en termes de conditions éco-climatiques de celles qui prévalent dans les autres pays de l'étude. En conséquence, cette région est sujette à accueillir un ensemble assez varié de flore et de faune indigènes et exotiques que les régions caractéristiques plus froides et plus humides des autres pays RINSE (voir la section d'Introduction sur l'importance des facteurs éco-climatiques sur la répartition géographique des espèces). Cet argument est en outre confirmé par les résultats de l'analyse typologique des seules espèces de la région RINSE, qui ont identifié la Grande-Bretagne comme la plus différente des quatre régions RINSE. Étant donné que les conditions éco-climatiques sont assez similaires dans l'ensemble de la région RINSE, nous pensons que cela pourrait s'expliquer par le fait que la Grande-Bretagne est une île, ce qui peut dans une certaine mesure empêcher la dispersion des espèces et le transport vers et à partir des pays RINSE continentaux. En dépit du commerce intensif et des liens de transport entre la Grande-Bretagne et le continent (Hulme, 2009), la dispersion des EE depuis et vers la Grande-Bretagne aux pays RINSE est apparemment encore plus restreinte que celle entre pays RINSE continentaux.

4.1.2 Répartition des espèces à travers les embranchements et les environnements

Le plus grand nombre d'EE dans notre base de données appartient de loin à l'embranchement des arthropodes, comptant environ trois fois plus d'EE que le deuxième groupe le plus important, les chordés, et quatre fois plus que les angiospermes. Bien que le nombre important d'arthropodes exotiques semble excessif au premier abord, nous le considérons en fait comme une sous-estimation relative par rapport à la plupart des autres taxons. Ceci est dû au fait qu'à l'échelle mondiale, les arthropodes représentent plus de 80 % de toutes les espèces vivantes décrites (Mora *et al.*, 2011). En comparaison, les plantes ne représentent que 10 % environ, et les chordés même moins de 1 % des espèces. Dans ce contexte, on peut s'attendre à ce que le nombre réel d'arthropodes exotiques présents dans les pays RINSE dépasse les 1785 répertoriés dans notre base de données d'au moins 1000 autres espèces. Certains de ces arthropodes peuvent en fait être répertoriés dans des bases de données que nous avons décidé de ne pas considérer pour cet embranchement (par ex. NNSS, voir Tableau 3) pour des raisons expliquées dans la section Résultats. Toutefois, d'autres espèces d'arthropodes exotiques peuvent ne pas avoir été enregistrées du tout dans l'un des quatre pays, en dépit de leur présence.

Une autre curiosité de nos données est que par rapport aux autres embranchements comme les chordés, les angiospermes et plusieurs autres, seule une petite partie des arthropodes répertoriés comme présents dans les pays RINSE a pu être confirmée pour les quatre régions RINSE. Nous pensons que la principale raison de cette observation est susceptible d'être une différence dans la qualité des données sur la répartition entre embranchements. Les arthropodes sont un peu plus difficiles à identifier et sans doute moins « attractifs » que la plupart des espèces de chordés. Il n'est donc pas particulièrement surprenant que ces traits conduisent à un décompte moins complet de leur répartition comme d'autres groupes d'invertébrés moins étudiés.

Plus de trois quarts des EE présentes dans les pays RINSE vivent dans des habitats terrestres. Dans une certaine mesure, cette dominance des espèces terrestres peut être un sous-produit de la tendance des chordés et en particulier des espèces de mammifères dans la base de données. Autrement dit, une surreprésentation des mammifères qui peuplent presque exclusivement les habitats terrestres entraînera automatiquement une surreprésentation des espèces terrestres. D'autre part, on s'attendrait à ce que la sous-représentation précitée des arthropodes – encore une fois, y compris presque exclusivement des espèces terrestres – contrecarre ce biais. Nous soutenons donc que la grande majorité des EE dans les pays RINSE habitent en effet dans des écosystèmes terrestres plutôt que marins ou d'eau douce. Les proportions d'espèces d'eau douce et marines relativement importantes en se concentrant seulement sur les quatre régions RINSE au sein des pays, d'autre part, reflètent la forte proportion des habitats aquatiques de RINSE.

4.1.3 Listes ciblées

Presque tous les ansériformes (oies, canards, cygnes), mammifères, poissons osseux et plantes à fleurs ont été délibérément introduits dans les pays RINSE, et surtout pour des raisons ornementales ou des activités de loisirs comme la pêche. Pour les plantes, la dispersion naturelle secondaire à partir d'autres populations introduites a également joué un rôle considérable. Beaucoup des espèces introduites ont fini à l'état sauvage en s'échappant de captivité, mais une proportion considérable - en particulier des poissons - a été disséminée volontairement par l'homme. La solution pour mettre fin à la majorité de ces introductions semble donc simple : « Ne pas les introduire en premier lieu ».

En regardant les dates d'introduction, cependant, il semble que le pic d'importation de ces chordés et espèces végétales soit passé depuis longtemps et remonte à entre 30 et 100 ans. En outre, comme le montre notre travail d'analyse prospective, les mammifères introduits ne posent généralement pas de menace écologique ou économique sérieuse aux pays RINSE (Tableau 7). Cela peut être dû à leur taux de propagation relativement faible et au fait que la plupart d'entre eux soient herbivores. La même chose est vraie pour les oies exotiques et apparentés, mais il existe des exceptions comme la bernache du Canada envahissante (Unckless & Makarewicz, 2007 ; Rehfisch *et al.*, 2010). D'autre part, les poissons exotiques impliquent certains des pires envahisseurs, en particulier dans les environnements d'eau douce des pays RINSE (Pinder *et al.*, 2005). Nos données indiquent qu'ils se propagent rapidement et la plupart d'entre eux se nourrissent de prédateurs, ce qui pourrait être une cause de leurs effets marqués sur les espèces indigènes et les écosystèmes.

Les mollusques ont montré des taux de dispersion aussi élevés que les poissons, mais ils sont différents sur un point important. Contrairement à tous les autres groupes ciblés, la plupart des mollusques ont été apportés de manière involontaire dans les pays RINSE. C'est le cas pour les écosystèmes aquatiques et terrestres, et les mollusques se nourrissant par filtration et herbivores. Empêcher de nouvelles introductions et la propagation de mollusques exotiques est donc susceptible de s'avérer beaucoup plus difficile que pour les autres embranchements du groupe ciblé. Toutefois, étant donné les énormes impacts qu'ils peuvent avoir (Ricciardi *et al.*, 1998 ; Hakenkamp *et al.*, 2001 ; Connelly *et al.*, 2007, Tableau 7), il semble qu'il vaille la peine d'essayer.

4.1.4 Autres commentaires sur la qualité des bases de données disponibles

- La qualité et la quantité des données incluses dépendent de la qualité et de la quantité des informations disponibles auprès d'autres sources. Notre impression est que, globalement, DAISIE offre le meilleur portail, ce qui est conforme à l'avis de tous les experts consultés, mais il est encore assez limité.

- Des écarts dans les informations fournies par différentes sources ont fréquemment été identifiés. Les différences dans les cartes de répartition (i.e. présence/absence dans les pays RINSE et la région RINSE de chaque pays) et les

dates d'introduction ont été particulièrement courantes.

- Certaines bases de données fournissent tout simplement de fausses informations. Par exemple, dans les portails [waarneming \(en\)](http://waarnemingen.be), les espèces exotiques et indigènes sont régulièrement mal identifiées. Sur <http://waarnemingen.be>, *Potamopyrgus antipodarum* et *Dreissena polymorpha* ne sont pas correctement répertoriées comme « indigènes », tandis que *Nucella lapillus*, *Janua pagenstecheri* et diverses autres espèces indigènes peuvent être trouvées sous les espèces « exotiques ».

4.2 Analyse prospective des espèces exotiques envahissantes

La plupart des espèces identifiées comme les pires envahisseurs par l'ensemble des organisations nationales et internationales listées dans le tableau 4 étaient déjà présentes dans au moins un des pays RINSE (77 %) et ont donc été attribuées à la liste noire des EEE. Les 23 % des espèces restantes ont formé la liste d'alerte des EEE absentes de la région RINSE.

4.2.1 La liste d'alerte des EEE

Dans la liste d'alerte, les plantes ont généralement produit des scores de risque plus élevés en comparaison avec d'autres types d'organismes. Les plantes sont certainement capables de modifier leur habitat en réduisant l'espace et les ressources disponibles pour d'autres espèces (par ex. Vilà *et al.*, 2006), de modifier les cycles des nutriments et les régimes d'inflammabilité (par ex. Ehrenfeld, 2003 ; Brooks *et al.*, 2004), d'affecter la composition des communautés indigènes produisant souvent une perte nette d'espèces et/ou un changement envers un écosystème plus adapté aux perturbations (par ex. Manchester & Bullock, 2000 ; Hulme & Bremner, 2006), de s'hybrider avec les espèces indigènes (par ex. Vilà *et al.*, 2000), d'affecter la disponibilité des ressources pour les niveaux trophiques supérieurs, y compris les pollinisateurs clés (par ex. Moragues et Traveset, 2005), de changer la perception culturelle des paysages humains (par ex. Charles & Dukes, 2007), et d'affecter la production commerciale des produits agricoles et forestiers (DAISIE, 2009). Le risque d'invasion d'une plante est élevé dans les zones densément peuplées telles que RINSE, compte tenu dans l'ensemble que la majorité des plantes exotiques envahissantes en Europe ont été introduites intentionnellement et cultivées pour l'horticulture et à des fins ornementales (58 % des plantes envahissantes selon DAISIE, 2009). Une fois établies, les plantes exotiques envahissantes sont compliquées à éradiquer ; cette éradication est stratégiquement difficile, très souvent non réalisable, extrêmement coûteuse et peut finalement produire peu d'avantages, comme Mack et Lonsdale (2002) l'ont conclu après avoir examiné les campagnes d'éradication dans des îles. Les plantes ont donc des répercussions environnementales et économiques considérables, une pression des propagules à fort potentiel et sont très difficiles à contrôler et à éradiquer, ce qui explique très bien les meilleurs scores de risque qui leur ont été attribués pendant l'analyse prospective.

Les 12EEE de la liste d'alerte les plus importantes avec les scores de risque les plus élevés incluent un mélange de producteurs primaires (*I. cylindrica*, *M. quinquenervia* et *P. montana lobata*), herbivores (*A. plannipenis*, *C. canadensis* et *P. canaliculata*), prédateurs (*A. amurensis*, *N. gymnotrachelus*, *P. glenii*, *R. nomadica* et *S. invicta*) et filtreurs (*P. amurensis*). Même si bon nombre de ces espèces sont actuellement réparties sur la plupart des régions tropicales à subtropicales (par ex. en Asie, en Australie et en Afrique), le risque d'invasion ne devrait pas être sous-estimé en raison de leur grande tolérance environnementale et de leur plasticité phénotypique (Davidson *et al.*, 2011).

La plupart des 12 EEE de la liste d'alerte les plus importantes étaient non seulement absentes de la zone RINSE mais n'étaient pas non plus encore présentes ailleurs en Europe, ce qui pourrait réduire le risque d'introduction dans la zone RINSE. Les exceptions ont été quatre EEE présentes dans des pays aussi proches que l'Allemagne et la Pologne : le gobie coureur (*N. gymnotrachelus*), le goujon de l'amour (*P. glenii*), le castor canadien (*C. canadensis*) et la blady grass (*I. cylindrica*) (Tableau 8). À l'exception du gobie coureur, dont l'introduction est associée à la construction de canaux et à la navigation, le commerce d'ornement/animaux est un des vecteurs les plus importants pour les EEE de la liste d'alerte. L'introduction délibérée d'EEE dans la région RINSE peut être contrôlée par une meilleure application des lois existantes et la coordination des pays voisins. L'importance de la réglementation du commerce a été reconnue par la Commission européenne en 2007 en publiant une liste des EEE interdites à l'importation en Europe. La réglementation du commerce a été fortement recommandée pour les espèces non encore présentes dans une région particulière, ce qui dans le cas de la région RINSE et concerne au moins 30 des espèces de la liste d'alerte comme le kudzu (*P. lobata montana*), l'écureuil de Finlayson (*C. finlaysonii*), la tortue peinte (*C. picta*), la sérieole babiane (*S. fasciata*) et la berce Sosnowski (*H. Sosnowsky*) (voir la liste complète des EEE de la liste d'alerte avec l'indication de leur inscription sur la liste noire européenne à l'annexe D).

Un exemple flagrant de l'absence d'application de la loi est fourni par la blady grass (*I. cylindrica*, également connue sous le nom de Baron Rouge, Rubra ou sang japonais). La blady grass affecte la structure de l'habitat, les cycles nutritifs, les communautés microbiologiques des sols, les taux de décomposition, déplace les espèces indigènes, constitue une grave menace pour les espèces indigènes menacées, augmente la probabilité d'incendie et réduit les rendements agricoles (voir une description complète des impacts sur www.issg.org). En dépit de son identification par l'UICN comme l'une des pires mauvaises herbes du top 10 mondial, nous confirmons que la blady grass peut être facilement achetée en ligne (par ex. sur Amazon, www.edenproject.com, www.rhsplants.co.uk, www.ornamentalgrass.co.uk). Le commerce sur Internet a grandement facilité la vente non réglementée de plantes de jardin et d'aquarium qui se traduit par l'introduction et la propagation de plantes exotiques très envahissantes. À titre d'exemple, une étude réalisée aux États-Unis a révélé qu'il était facile de trouver à la vente chaque plante aquatique visée

par le gouvernement comme nuisible dans un ou plusieurs États (Kay & Hoyle, 2001). Considérant les impacts

environnementaux et économiques attribués à la blady grass (et résumés dans le tableau 8), une application plus rigoureuse des lois et règlements en vigueur est nécessaire pour éviter de nouvelles introductions dans les régions non envahies comme la région RINSE.

En ce qui concerne le gobie coureur (*N. gymnotrachelus*), une étude récente a mis en garde contre le risque que cette espèce entre dans le Rhin inférieur, d'où il est susceptible d'être transporté vers les ports britanniques comme salissures des coques de navires (Gallardo & Aldridge, 2012). Les gobies se nourrissent de petits poissons et d'œufs de truite de lac, déplaçant des espèces indigènes et provoquant une perte significative de la biodiversité (GSEE, www.issg.org). Un autre facteur de risque est la large diffusion dans la zone RINSE d'un autre envahisseur, la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*), qui sert d'habitat et de nourriture au gobie coureur (Gaygusuz *et al.*, 2007). La réglementation sur l'eau de ballast, l'inspection des navires et les programmes de sensibilisation pour éduquer les pêcheurs à l'usage raisonné des appâts vivants et la reconnaissance des espèces exotiques envahissantes sont recommandés pour éviter l'introduction du gobie coureur.

Une autre espèce de la liste d'alerte nécessitant une mention spéciale est l'agrile du frêne (AF, *A. plannipenis*). L'AF est un ravageur forestier très envahissant qui a le potentiel de se propager et de tuer des frênes indigènes (*Fraxinus sp.*), déjà gravement endommagés en Europe à la suite du dépérissement des frênes provoqué par le champignon *Chalara fraxinea* (Pautasso *et al.*, 2013). On estime les coûts économiques de la mortalité liée à l'AF au Canada à environ 524 millions de dollars canadiens (McKenney *et al.*, 2012), tandis que le coût estimé du traitement des frênes, de leur retrait et de leur remplacement au nord-est des États-Unis a été de 10,7 millions de dollars US (Kovacs *et al.*, 2010). Ces estimations sont prudentes, car elles évaluent seulement une partie des coûts associés à l'organisme nuisible et pourtant leur ampleur suggère une justification considérable pour des investissements visant à prévenir l'introduction de l'agrile du frêne. Les efforts pour contrôler le dépérissement des frênes en Europe ont été considérés comme tardifs et très insuffisants, ce qui entraîne des pertes économiques considérables. Cela devrait souligner la nécessité de mettre en place un plan stratégique européen pour empêcher l'importation d'Amérique du Nord d'arbres infestés d'agrile du frêne avant qu'il ne soit trop tard pour réagir.

4.2.2 La liste noire des EEE

La plupart des EEE de la liste noire (56 %) étaient présentes dans les quatre pays RINSE (Grande-Bretagne, France, Belgique et Pays-Bas), ce qui illustre le niveau élevé des échanges biologiques résultant de l'intensité des échanges, des transports et des déplacements entre les régions. La possibilité de prévenir l'introduction de ces espèces dans d'autres pays RINSE a donc été perdue depuis longtemps. Suivant les conclusions de Williams *et al.* (2010), il est important d'éradiquer les EEE qui ont actuellement un impact le plus tôt possible,

afin de limiter la propagation des EEE établies localement ou régionalement, tout en n'ignorant pas la nécessité de

réduire l'impact des EEE propagées qui ont les coûts les plus élevés. Seulement 16 % des EEE de la liste noire étaient présentes dans un seul pays, le plus souvent en France. Certaines de ces EEE françaises se sont adaptées au climat méditerranéen, ce qui expliquerait leur absence

dans le reste des pays RINSE. Par exemple, l'ivraie Siam (*C. odorata*) est adaptée aux environnements tropicaux/subtropicaux, l'acacia noir (*A. mearnsii*) pousse à une altitude > 600 m, le fondule (*G. affinis*) préfère les eaux chaudes, et le cactus- raquette australien (*O. stricta*) est cultivé dans les pays du sud à des fins médicinales.

Au moins 7 espèces de la liste noire n'étaient présentes qu'en Grande-Bretagne, bien que leur présence à l'état sauvage soit accessoire et puisse ne pas représenter une menace sérieuse pour les autres pays RINSE. Par exemple, les espèces tropicales/arides comme l'escargot terrestre géant d'Afrique (*A. fulica*), le gingembre kahili (*H. gardnerianum*) et le trogodermite (*T. granarium*) ont été vraisemblablement introduites à des fins ornementales et ne sont pas adaptées au climat tempéré de la région RINSE. Bien que le nématode du pin (*B. xylophilus*) ait été intercepté occasionnellement (d'où son inclusion dans la liste noire sont des envahisseurs bien connus de la région RINSE), l'Organisation européenne de protection des plantes (OEPP, www.eppo.int) a jusqu'ici déterminé son absence dans la région OEPP. Selon NOBANIS, le risque d'introduction du ver plat de Nouvelle-Zélande (*A. triangulatus*) est le plus grand du commerce en tant que contaminant des plantes ornementales vivaces, mais le commerce du jardin domestique constitue également un risque important.

Aux Pays-Bas, plusieurs espèces aquatiques continentales peuvent présenter un risque pour la Grande-Bretagne : Chattonella (*C. verruculosa*), deux amphipodes ponto-caspiens (*C. robustum*, *D. bispinosus*), les marmokrebs (*P. fallax*) et le gobie à nez tubulaire (*P. marmoratus*). Le risque associé à certaines de ces espèces est extrêmement élevé en Grande-Bretagne en raison de leur similitude en termes de climat et d'échange de navigation, comme décrit par Gallardo et Aldridge (2012, 2013a). En Belgique, un amphipode (*B. marinus*) et deux insectes (*L. geometricus*, *L. hasselti*) peuvent se propager à d'autres pays RINSE.

Les 12 espèces qui ont obtenu le plus grand nombre de voix dans la liste noire sont des envahisseurs bien connus de RINSE avec des conséquences environnementales et économiques remarquables. La seule exception est l'algue marine Caulerpe (*C. taxifolia*), actuellement présente dans la partie méditerranéenne de la France seulement. Sept des 12 principales EEE de la liste noire sont des producteurs primaires (plantes aquatiques ou terrestres ou algues) avec des conséquences potentiellement graves sur le réseau trophique. Par origine, l'Asie et l'Amérique du Nord semblent être les principales sources des pires EEE de la liste noire.

Compte tenu de la large extension des 12 principales EEE de la liste noire (sauf *C. taxifolia*) dans la région RINSE, les efforts devraient se concentrer sur le contrôle de leur propagation et leur impact. Les pays RINSE ont en fait mis en œuvre des plans de gestion pour certaines d'entre elles, et la collaboration entre pays serait d'une grande utilité pour partager les expériences. À titre d'exemple, la bernache du Canada (*B. canadensis*) est contrôlée en Grande-Bretagne à travers l'inhibition du processus de sélection (par ex. Baxter & Robinson, 2007) ; une variété de

méthodes mécaniques, chimiques et biologiques est utilisée pour contrôler la crassule de Helm de Nouvelle-Zélande (*C. helmsii*), la balsamine de l'Himalaya (*I. glandulifera*) et la berce Sosnowski (*H. mantegazzianum*) (par ex. Dawson, 1996 ; Wadsworth *et al.*, 2000) ; des insecticides sont utilisés pour la coccinelle asiatique (*H. axyridis*) (par ex. Kenis *et al.*, 2008) ; alors que le piégeage, la chasse et le tir sont les options privilégiées pour les animaux terrestres tels que l'écureuil gris (*S. carolinensis*) et le vison d'Amérique (*M. vison*) (par ex. Bonesi & Palazon, 2007).

4.2.3 Limites de l'analyse prospective

La hiérarchisation des EEE des listes d'alerte et noire a été basée sur une consultation d'experts, qui a fourni une évaluation vraisemblablement impartiale et économique des risques associés à chaque espèce. Cependant, la hiérarchisation ne doit pas être considérée comme close, car i) d'autres espèces exotiques envahissantes non incluses dans les listes consultées des pires EEE (énumérées dans le tableau 4) peuvent poser un risque important dans RINSE, ii) la perception du risque pour une région donnée peut changer en fonction de l'évolution des espèces et iii) la hiérarchisation dépend fortement des experts consultés. Pour réduire les biais potentiels et l'incertitude des scores de risque, nous compterions idéalement sur au moins trois séries de scores de risque par espèce. Malheureusement, les contraintes de temps pour ce projet n'ont pas permis d'obtenir davantage d'évaluations, globalement pour les groupes taxonomiques les moins étudiés tels que les nématodes et les champignons. En outre, il peut être utile de garder à l'esprit que cette évaluation des risques est basée sur les preuves disponibles sur le moment, et une nouvelle preuve scientifique substantielle devrait conduire à une réévaluation des risques.

4.3 Modélisation de la répartition

4.3.1 Démêler les facteurs environnementaux et socio-économiques des invasions biologiques

Les modèles de répartition des espèces (MRE) ont affiché des performances élevées pour toutes les EEE des

listes d'alerte et noire modélisées, et ont permis d'étudier l'influence partielle des facteurs environnementaux et socio-économiques sur la répartition mondiale actuelle des pires EEE.

L'importance de la permutation des variables environnementales s'est située entre 70 et 82 % des espèces terrestres, et a atteint 99 % pour les organismes marins, car nous ne pouvions inclure qu'une variable d'influence humaine pour ce groupe d'espèces (Annexe E). En comparaison, la pertinence des facteurs socio-économiques a été beaucoup plus modérée (18-30 % des espèces terrestres, avec une importance moyenne de 22,42 %). L'importance des facteurs socio-économiques dans les EEE peut s'expliquer par leur relation avec les vecteurs et les voies d'introduction des espèces exotiques envahissantes. En effet, les espèces exotiques envahissantes se caractérisent par leur capacité à surmonter les limites de leur dispersion, grâce au développement de certaines activités humaines (par ex. le commerce des espèces horticoles/animales, le transport, la chasse, la pêche) associé à la

densité de la population, aux routes, aux chemins de fer ou aux rivières navigables, qui ont tous été considérés dans la présente étude.

Parmi les facteurs climatiques, les variables liées à la température ont été les facteurs les plus importants de répartition des EEE, en accord avec des études précédentes dans la région (par ex. Gallardo & Aldridge 2012, 2013b, a). La température influe sur la taille du corps, la reproduction, la croissance, le rôle écologique et la survie des espèces (Gillooly *et al.*, 2001), et il s'agit d'un facteur de succès déterminant dans les stades de colonisation et d'établissement de l'invasion (Theoharides & Dukes, 2007). La température détermine non seulement les attributs de l'espèce, mais aussi l'habitat et les ressources disponibles pour les espèces ainsi que les communautés naturelles avec lesquelles elle devra interagir. Dans ce contexte, nous pouvons affirmer que la température fixe les limites les plus élémentaires de la répartition des espèces envahissantes et peut entraîner leur défaillance immédiatement lors de la colonisation.

Cela dit, la plasticité phénotypique et les niveaux élevés de variabilité génétique peuvent permettre aux espèces exotiques envahissantes de s'adapter à des conditions moins favorables (Theoharides & Dukes, 2007), globalement lorsque la pression des propagules est élevée. Cela se reflète dans le nombre d'EEE tropicales et subtropicales déjà présentes dans les régions tempérées de RINSE, comme l'oie égyptienne (*A. aegyptiacus*), l'herbe de la pampa (*C. selloana*), l'aleurode du tabac (*B. tabaci*) ou le crabe de vase des Caraïbes (*M. japonicas*) (liste noire des EEE, Annexe D). L'importance de la température annuelle minimale dans nos modèles suggère que le réchauffement climatique pourrait accroître la répartition de certaines des espèces évaluées vers le nord en augmentant les données minimales hivernales (Gallardo & Aldridge, 2013B). L'interaction du changement climatique et des espèces exotiques envahissantes doit donc être considérée lors de l'élaboration des stratégies à long terme de gestion de l'environnement.

Dans le milieu marin, la température de l'eau a également été le principal moteur des invasions biologiques, suivie en importance par la concentration en nitrates et en chlorophylle-a. Les différences dans la tolérance thermique des organismes marins ont été étudiées par Zerebecki et Sorte (2011), qui ont observé que les espèces envahissantes avaient tendance à habiter dans des plages plus vastes de température d'habitat et à des températures maximales supérieures aux indigènes. La concentration en nitrate et en chlorophylle-a indique la disponibilité des ressources, ce qui explique leur influence sur la répartition des espèces exotiques envahissantes. En outre, l'augmentation des niveaux d'eutrophisation a été observée après l'invasion de certaines espèces marines (dinoflagellés en floraison minimale *Prorocentrum minimum* dans la mer Baltique, Pertola *et al.*, 2005 ; par ex. les méduses *Mnemiopsis leidyi* dans le sud de la mer Caspienne, Kideys *et al.*, 2008), donc la chlorophylle-a peut être à la fois la cause et la conséquence des invasions marines.

Malgré l'effet important de la température, les facteurs socio-économiques semblent affecter de manière significative la répartition spatiale des EEE. En dépit de la faible importance relative de la permutation des facteurs socio-économiques (voir l'Annexe E), des scores d'adéquation visiblement plus élevés ont pu être observés dans des

zones densément peuplées, à proximité de la côte et dans une relation claire avec les itinéraires de transport. De même, dans une récente étude, l'ajout des facteurs socio-économiques aux MRE n'a pas affecté les scores de précision déjà élevée, mais ont abouti à 20 % d'amplification des scores de risque dans les régions très développées de la Grande-Bretagne et d'Irlande (Gallardo & Aldridge, 2013a).

Les réseaux de transport (par ex. les autoroutes, voies ferrées, etc.) favorisent la dispersion des espèces exotiques en modifiant les habitats, en stressant les espèces indigènes et en fournissant des corridors de déplacement (Trombulak & Frissell, 2000 ; Hulme, 2009). En outre, les routes favorisent également l'accroissement de la chasse, la pêche, du harcèlement passif des animaux et des modifications du paysage (Trombulak & Frissell, 2000). Les voies de transport améliorent par conséquent le taux d'immigration des nouvelles espèces et la propagation de celles déjà existantes (Vila et Pujadas, 2001). Bien que le rôle des routes ait été étudié principalement chez les plantes (par ex. Flory & Clay, 2009 ; Mortensen *et al.*, 2009 ; Joly *et al.*, 2011), certaines études révèlent leur pertinence pour expliquer l'invasion des vers de terre (par ex. Cameron & Bayne, 2009), des amphibiens (par ex. Urban *et al.*, 2008) et des insectes (par ex. Roques *et al.*, 2009), entre autres. Plusieurs des EEE modélisées des listes d'alerte et noire ont montré une répartition clairement influencée par l'emplacement des voies de transport, globalement les plantes exotiques envahissantes comme la jacinthe d'eau (*E. crassipes*), le kudzu (*P. montana lobata*) et le gingembre Kahili (*H. gardnerianum*). Selon les MRE, la probabilité d'invasion est la plus élevée à 2 km des routes et diminue fortement au-delà. L'importance des routes a été particulièrement notable dans le cas du kudzu, dont la répartition s'est en grande partie expliquée par la seule proximité des routes (57 % d'importance de permutation, Annexe E).

Les espèces modélisées ont montré une réponse logistique cohérente pour l'indice d'influence de l'homme (HII) qui suggère que plus le niveau de l'influence humaine est élevé, plus les probabilités d'invasion sont grandes (Gallardo & Aldridge, 2013a). C'est parce que les activités humaines responsables de l'introduction d'espèces exotiques envahissantes telles que l'horticulture, le commerce d'animaux, la chasse ou la pêche sont plus fréquentes dans les zones densément peuplées, la pression d'utilisation des terres peut diminuer la capacité des milieux naturels à amortir les invasions biologiques et les voies de transport fournissent des voies d'introduction le long desquelles les espèces peuvent se disperser, chacun de ces facteurs étant compris dans le HII. Parmi les EEE modélisées dans cette étude, les insectes ont été les plus touchés par le HII, globalement l'aleurode du tabac (*B. tabaci*), la mouche méditerranéenne des fruits (*C. capitata*), la fourmi d'Argentine (*L. humile*) et la chenille processionnaire du chêne (*T. processionea*). La plupart de ces insectes prospèrent dans les habitats perturbés, ils peuvent voler sur de courtes distances et sont aussi portés par le vent et les animaux, mais leur principale dispersion sur longue distance est assistée par l'homme, en tant que contaminants des plantes, de la terre, des fleurs ou des fruits importés. Compte tenu de l'importance du HII, les études futures de répartition potentielle des insectes envahissants devraient envisager d'utiliser ces indicateurs ou d'autres similaires sur l'intensité des perturbations humaines pour améliorer leurs prédictions.

La proximité des ports a été identifiée comme un important facteur prédictif pour les espèces aquatiques continentales (par ex. *A. dispar*, *C. batrachus*, *G. fasciatus*, *D. bugensis*, *M. heterophyllum*, *P. marmoratus*, *A. crassus*), mais également pour certaines plantes (*S. terebinthifolius*, *T. ramosissima*, *H. gardnerianum*), des animaux (*C. canadensis*, *C. picta*, *C. finlaysonii*) et des insectes (*C. capitata*, *L. humile*, *A. glabripennis*). L'importance des ports comme portails des espèces exotiques envahissantes est bien connue, avec au moins 10000 espèces estimées transportées dans le monde entier à bord des navires (Bax *et al.*, 2003). Les espèces exotiques envahissantes sont transportées comme des marchandises et délibérément libérées ou s'échappent de captivité, ou elles peuvent être transportées involontairement comme contaminants ou clandestins (Hulme, 2009 ; Keller *et al.*, 2009). La proximité de port reflète aussi la proximité du littoral. Les paysages côtiers sont transformés en conséquence de la demande croissante d'infrastructures pour soutenir les activités résidentielles, commerciales et touristiques. Ainsi, les habitats marins intertidaux et peu profonds sont largement remplacés par une variété de substrats artificiels (par ex. brise-lames, digues, jetées) qui sont très sensibles à l'invasion (Airolidi & Bulleri, 2011).

De façon inattendue, la densité de la population et l'utilisation des terres ont plutôt été sans objet dans les MRE, souvent abandonnées lors de la sélection de variable. Cela est surprenant, car les deux facteurs sont souvent cités dans la littérature comme des déterminants importants de la répartition des oiseaux (par ex. Blair, 1996), des amphibiens (par ex. Brum *et al.*, 2013), des plantes (par ex. Vila & Pujadas, 2001 ; Pauchard & Alaback, 2004) et des insectes (par ex. Roques *et al.*, 2009). Parce que nous avons utilisé une élimination arrière des variables par étapes, le fait que l'utilisation des terres et la densité de population aient été rejetées au profit d'autres indicateurs socio-économiques montre que leurs effets ont été déjà pris en compte par des facteurs tels que le HII, la proximité de la route et du port.

4.3.2 Identifier les envahisseurs actuels et futurs de RINSE les plus inquiétants

Bien que les plantes de la liste d'alerte aient montré les scores les plus à risque pendant l'analyse prospective, les MRE ont suggéré que leur risque d'invasion pourrait être limité à la région RINSE. C'est le cas du niaouli (*M. quinquenervia*) ou de la blady grass (*I. cylindrica*). L'explication la plus simple de cette observation est l'origine essentiellement méditerranéenne/tropicale des plantes de la liste d'alerte modélisées, qui définirait la région RINSE tempérée comme inadaptée. Cependant les plantes exotiques envahissantes ont une grande plasticité phénotypique et peuvent finalement coloniser climatiquement de nouveaux environnements (Schlichting et Levin, 1986), comme le prouve la présence de l'herbe de la pampa (*C. selloana*) ou la goyave de Cattley (*P. cattleianum*), toutes deux d'origine subtropicale d'Amérique du Sud. Comme cela a été soutenu auparavant, les plantes sont généralement introduites délibérément à des fins ornementales et pourraient donc avoir la chance de s'adapter aux conditions environnementales locales de la région RINSE avant de se disperser dans la nature. Par conséquent, le risque d'invasion des plantes de la liste d'alerte ne doit pas être sous-estimé uniquement sur la base des modèles MRE.

Au moins trois plantes de la liste d'alerte ont obtenu des scores de risque et adéquation très élevés à travers la région RINSE comme indiqué par l'évaluation d'expert et les MRE respectivement (Annexe D). Les trois espèces sont en même temps considérées parmi les pires plantes exotiques envahissantes de la planète : la framboise sauvage d'Asie (*R. ellipticus*, Risque total = 3), le faux poivrier (*S. terebinthifolius*, RT = 2,8) et le tamaris asiatique (*T. ramossissima*, RT = 3,3). Tous les trois sont des généralistes en termes de préférence d'habitat et peuvent être trouvés à la fois dans des habitats perturbés (par ex. bords de route, zones urbaines, canaux, zones humides drainées) et naturels (par ex. forêts naturelles, prairies, estuaires). Ils sont généralement introduits comme plantes ornementales et échappent finalement aux environnements de jardin.

En comparaison avec les plantes, les animaux terrestres ont montré des scores d'adéquation beaucoup plus élevés dans les pays RINSE. En particulier, l'écureuil de Finlayson (*C. finlaysonii*) et l'escargot pomme (*P. canaliculata*) pourraient être adaptés à coloniser la majeure partie de la région RINSE et particulièrement des zones urbaines et côtières. Toutefois, le risque d'invasion de l'écureuil a été jugé relativement faible selon l'analyse prospective (Risque total = 2,4, Annexe D). L'escargot pomme colonise généralement les champs de riz (Halwart, 1994), mais il pourrait se propager à des zones humides naturelles et à des estuaires et se nourrir de végétation aquatique si on lui donne une possibilité d'invasion (Carlsson *et al.*, 2004).

Trois des animaux terrestres modélisés de la liste noire ont combiné les pires envahisseurs actuels de la région RINSE tout en étant considérés comme l'une des pires EEE dans la région RINSE (Annexe D) : l'écureuil gris (*S. carolinensis*), le frelon asiatique (*V. velutina*) et la chenille processionnaire du chêne (*T. procesionea*). Avec 71 % des voix des experts participant à l'enquête de la liste noire (Annexe D), l'écureuil gris endommage des arbres en mangeant l'écorce et a causé l'extinction locale de l'écureuil roux (*S. vulgaris*) à travers la rivalité et la maladie (Reynolds, 1985 ; Kenward & Parish, 1986). Considérant les dommages écologiques et économiques causés par cette espèce en Grande-Bretagne, il est fondamental d'empêcher sa propagation vers les zones adaptées du continent. En deuxième place avec 43 % des votes (dans l'enquête sur la liste noire, Annexe D) se trouve le frelon asiatique, une guêpe-abeille prédatrice qui se répand en France depuis 2004 (Villemant *et al.*, 2006 ; Tan *et al.*, 2007). Non seulement les abeilles, mais aussi les humains peuvent être menacés par le frelon asiatique, qui peut provoquer un choc anaphylactique lors de piqûres multiples (de Haro *et al.*, 2010). La niche écologique du frelon asiatique en Europe a été récemment étudiée par Villemant *et al.* (2011), mettant en avant une répartition potentielle en France très similaire à celle obtenue ici (Figure 34). Les contraintes climatiques suggèrent un risque relativement faible d'invasion dans le nord de la France, la Belgique, les Pays-Bas et la Grande-Bretagne, bien que la propagation vers le nord des espèces doive être surveillée avec précaution. La chenille processionnaire du chêne est une effeuilleuse majeure du chêne en Europe (Laurent-Hervouet, 1986) qui a été identifiée par 14 % des experts comme l'une des pires EEE dans RINSE. Les larves (chenilles) se nourrissent du feuillage de nombreuses espèces de chênes et sont recouvertes de poils irritants qui causent des irritations cutanées et des réactions allergiques (Lamy *et al.*, 1986). La chenille processionnaire du chêne s'étend vers le nord, probablement en réponse au changement

climatique (Benigni & Battisti, 1999 ; Battisti *et al.*, 2005). Elle est désormais solidement établie dans le nord de la France et aux Pays-Bas, et elle a été rapportée à Londres. Les facteurs socio-économiques s'expliquent à hauteur de 23 % dans sa répartition en fonction des MRE (Annexe E). En fait, l'activité humaine, y compris les mouvements commerciaux des arbres de pépinière infestés, a été récemment soupçonnée d'être responsable de sa propagation en France (Groenen & Meurisse, 2012).

Les organismes aquatiques continentaux de la liste d'alerte ont constitué le seul groupe combinant des scores élevés de risque et d'aptitude à travers la région RINSE (2 fois) (Figures 29 et 35), qui pourraient être liés à l'origine essentiellement européenne des espèces choisies pour la modélisation. Parmi les EEE montrant des scores élevés d'aptitude dans RINSE, nous aimerions souligner le gobie coureur (*N. gymnotrachelus*), le myriophylle (*M. heterophyllum*) et la moule quagga (*D. r. Bugensis*). Ces trois espèces ont été incluses dans les 12 principales EEE des listes d'alerte et noire et ont également été mentionnées dans une liste des envahisseurs potentiels les plus préoccupants des eaux britanniques (Gallardo & Aldridge, 2013a).

La pertinence de la région marine de RINSE par rapport aux organismes marins d'alerte a été très faible, ce qui peut s'expliquer par leur origine, principalement l'océan Pacifique et la mer Méditerranée. Au contraire, les organismes marins de la liste noire ont démontré une grande aptitude pour les eaux de la région RINSE, affichant les scores de risque les plus élevés de la Manche. Il est possible que le type d'espèces ait influencé cette tendance. La plupart des organismes marins d'alertes sont des crustacés, des poissons ou des algues de relativement grande taille, dont l'introduction est essentiellement volontaire (à des fins de mariculture) et facile à détecter. En revanche, la liste des EEE marines noires comprend plusieurs organismes de petite taille tels que les dinoflagellés, les algues, les escargots, les vers, les balanes ou les patelles. Ces espèces sont beaucoup plus susceptibles d'être introduites accidentellement comme salissures des navires ou contaminants de produits de mariculture. Il semble donc que les envahisseurs marins les plus plausibles des listes des pires espèces aient déjà atteint la région RINSE et tandis que de nouveaux arrivants ne sont pas attendus à court terme, une autre propagation secondaire des espèces déjà présentes peut être anticipée.

Il est à noter que nous n'avons pas pu étudier la répartition potentielle de l'une des espèces terrestres qui à notre avis pourrait entraîner les conséquences les plus graves dans la région RINSE: l'agrile du frêne (AF, *A. plannipennis*). Cette espèce est une source de problèmes économiques graves dans des pays de climat tempéré comme les États-Unis et le Canada, ce qui suggère que le climat ne constituerait pas un obstacle à son éventuelle colonisation de la région RINSE. Trois autres espèces présentent des scores élevés de risque, mais n'ont malheureusement pas été modélisées, dont le goujon de l'amour (*P. glenii*), la méduse nomade (*R. nomadica*) et la fourmi de feu rouge (*S. invicta*). Après avoir examiné les préférences environnementales de ces trois espèces (sur www.issg.org), nous avons conclu qu'elles sont adaptées à des climats plus chauds et ne sont donc pas censées représenter une grave menace pour la région RINSE.

4.3.3 Délimiter les zones RINSE les plus vulnérables aux invasions multiples

Les cartes de présence et d'absence prédite individuelles ont été combinées pour former deux cartes de répartition indiquant le nombre total d'EEE des listes d'alerte et noire dont la présence est respectivement prévue (Figures 32 et 37). Les cartes de répartition synthétisent les informations concernant les risques associés à un ensemble diversifié d'organismes aquatiques et terrestres présentant un large éventail d'origines, de voies d'introduction et de préférences en matière d'habitat. Selon les cartes thermiques, le sud-est de l'Angleterre et les zones côtières de la Belgique et des Pays-Bas sont exposés au plus grand risque d'invasions multiples, avec un risque décroissant progressivement vers l'extérieur, soit au nord et à l'ouest de la Grande-Bretagne, et au sud et à l'est du continent. Comme nous l'avons évoqué auparavant à plusieurs reprises, l'emplacement de nombreux ports commerciaux d'importance internationale (i.e. une forte pression de propagules) avec des routes, des voies ferrées et des canaux navigables aux réseaux bien développés, une forte densité de population et l'utilisation intensive des paysages à des fins industrielles, d'urbanisation ou de loisirs, amplifient davantage le potentiel d'invasion. On peut donc considérer la partie nord-est de la région RINSE (2 fois) (et en particulier les zones urbaines adjacentes aux grands ports comme Londres, Ostende, Zeebruges, Rotterdam et Anvers) comme un point chaud d'invasion.

La répartition géographique de l'invasion affichée par les cartes de répartition (4 fois) d'alerte et noire a coïncidé avec cette dernière, montrant de toute évidence des scores d'adéquation beaucoup plus élevés pour les espèces déjà présentes dans la région. Une telle ressemblance des cartes thermiques d'alerte et noire a été plutôt surprenante, car elles sont basées sur un ensemble d'envahisseurs tout autre. Au total, les cartes thermiques suggèrent qu'il y a de la place pour la propagation des envahisseurs actuels tandis que dans le même temps, l'arrivée des nouveaux arrivants constitue un énorme défi en termes de prévention et de gestion. Cela est dû au fait que les espèces peuvent modifier leur habitat pour faciliter des invasions ultérieures (au sens d' « invasion destructrice », Simberloff & Von Holle, 1999). Une telle invasion destructrice implique une accumulation plus rapide des espèces exotiques envahissantes, dont les effets combinés sont encore plus grands que leurs effets indépendants (Simberloff & Von Holle, 1999). L'arrivée de nouveaux envahisseurs interagissants peut également affecter l'efficacité des plans pour contrôler la propagation secondaire d'espèces envahissantes actuelles.

Dans le milieu marin, l'aptitude pour les EEE de la liste noire a été la plus élevée dans les ports de la Manche et la partie méridionale de la mer du Nord. Au contraire, les eaux de RINSE ont été prédites comme impropres à toute une variété d'espèces marines d'alerte. Pourtant frappante, cette observation est en accord avec une récente étude sur le risque des invasions marines causées par le transport mondial (Seebens *et al.*, 2013). En dépit de leur volume de trafic maritime important, aucun port européen n'a été inclus dans le classement des 20 ports avec le risque d'invasion le plus élevé, un fait que les auteurs attribuent à l'absence de correspondance dans des conditions environnementales entre ports donateurs et ports hôtes. Cela confirme notre prévision que le risque de nouvelles invasions marines dans les eaux de RINSE est relativement faible, au moins de la part de certains des pires

envahisseurs de la planète listés à l'Annexe D.

4.3.4 Considérations du modèle

Il y a un certain nombre de facteurs qui peuvent affecter les résultats des MRE, y compris la qualité et la quantité des points des espèces d'occurrence (Marmion *et al.*, 2009 ; Rodriguez-Castaneda *et al.*, 2012), le nombre et la signification écologique des variables utilisées comme variables indépendantes (Costa *et al.*, 2008), le choix de l'algorithme (Elith *et al.*, 2006), la régularisation (Phillips & Dudik, 2008), et la sélection de pseudo-absence (Barbet-Massin *et al.*, 2012). Dans cette étude, nous avons modélisé une large variété d'espèces, affichant une répartition géographique et une qualité de données très différentes. Par exemple, les espèces ayant un grand nombre d'occurrences réparties sur plusieurs continents, certaines loin du cœur de la répartition de l'espèce, sont susceptibles de produire de faibles scores d'adéquation parce que leur enveloppe environnementale n'est pas clairement définie (Marmion *et al.*, 2009). Au contraire, les espèces pour lesquelles la disponibilité des données est limitée à une région bien localisée ont une niche clairement délimitée, et sont susceptibles de produire des scores de pertinence dans des environnements similaires. Il est donc important de garder à l'esprit que les prévisions des MRE sont une représentation de la probabilité d'une invasion basée sur nos informations (probablement incomplètes) au sujet des préférences des espèces et par conséquent, il existe un niveau d'incertitude élevé qui leur est associé.

Bien qu'il soit généralement admis que la qualité des données puisse considérablement changer des prédictions, il n'y a aucune directive claire sur les bonnes pratiques et la plupart des auteurs utilisent simplement les réglages par défaut. Dans cette étude, nous avons testé plusieurs solutions de modélisation afin d'optimiser les prévisions des résultats. La régularisation du réglage a permis de calibrer un modèle plus ou moins adapté autour de l'enveloppe environnementale de l'espèce qui a optimisé la prédiction correcte de l'espèce. L'occurrence divisée en 70 % de calibrage et 30 % d'essais a contribué à compenser les anomalies des données. La sélection arrière des variables a permis d'éliminer les variables indépendantes redondantes ou sans importance qui peuvent fausser la répartition potentielle des espèces. Alors que les MRE ont été sensibles aux différents paramètres du modèle et que nous ne pouvons pas garantir que nos modèles soient exempts de biais, des projections spatiales de certains modèles ont prédit de façon correcte la variété actuelle des espèces et ont été écologiquement plausibles d'après nos connaissances sur les espèces, donc sans doute adaptées pour représenter leur répartition potentielle.

Dans cette étude, nous avons calculé que les facteurs socio-économiques contribuent en moyenne à 23 % de la répartition des espèces terrestres. Ces pourcentages peuvent être néanmoins affectés par le nombre inégal des facteurs environnementaux (neuf variables) et socio-économiques (cinq) considérés. On peut aussi s'attendre à un niveau élevé d'inter-corrélation entre les facteurs (par ex. parmi les variables climatiques et entre la densité de la population et l'influence humaine), qui peuvent affecter les prédictions du modèle de manière inconnue. Pour

contourner cette limite, nous avons appliqué une élimination arrière des variables (i.e. une réévaluation graduelle des statistiques du modèle en éliminant les variables qui n'augmentent pas de manière significative l'ajustement du modèle). Cette procédure a permis d'éliminer les deux variables qui n'étaient pas pertinentes pour expliquer la répartition actuelle des espèces et des variables dont l'effet était redondant. Le déséquilibre des variables environnementales et socio-économiques a été le plus notable dans l'environnement marin, où nous n'avons pas pu inclure un facteur socio-économique (impacts humains sur les écosystèmes marins). Même si ce facteur résume l'effet de multiples activités humaines qui ont un impact direct ou indirect sur les écosystèmes marins (par ex. les transports, la pêche, la pollution), son importance de transformation a plutôt été modeste, ce qui laisse penser que la correspondance entre les caractéristiques physico-chimiques du donneur et des eaux réceptrices est la plus importante des invasions marines.

Une des conséquences de l'inclusion des facteurs socio-économiques dans les MRE a été l'apparition de modèles spatiaux artificiels dans les modèles de production, par opposition aux gradients lisses typiques des prédictions basées sur le climat. Ceci est causé par l'aspect très artificiel des cartes socio-économiques telles que la densité de population ou les routes de transport (Figure 6), caractérisées par un noyau et des bandes denses dans les régions urbaines, entourées par des extensions plutôt éparses. Une telle artificialité est transférée sur le résultat final des MRE, avec des scores de pertinence élevés autour des zones densément peuplées et des itinéraires de transport.

Bien que cette étude fournisse des informations précieuses sur l'effet conjugué des conditions environnementales et du développement socio-économique sur les espèces envahissantes, l'inclusion d'autres indicateurs plus directement liés à la pression des propagules et à la dispersion des espèces peuvent encore améliorer la prévisibilité des modèles. Malheureusement, aucun ensemble de données mondial n'a encore été recueilli sur la chimie de l'eau, l'intensité de la pêche, de la chasse ou de la navigation de plaisance, bien que ces informations aient été utilisées avec succès pour informer le contrôle et la gestion des espèces envahissantes à l'échelle locale (par exemple, Copp *et al.*, 2007 ; Elith *et al.*, 2010). En outre, les zones écologiquement adaptées peuvent ne jamais être occupées en raison de limites historiques, liées à la dispersion ou biotiques (Jiménez-Valverde *et al.*, 2011), en particulier dans le cas des espèces aquatiques pour des raisons évidentes. Dans le but de prévenir les invasions d'espèces, il est néanmoins préférable de surestimer leur répartition potentielle plutôt que de la sous-estimer (Jiménez-Valverde *et al.* 2011).

En dépit de ces diverses mises en garde, des modèles ont prédit correctement l'aire de répartition naturelle de toutes les espèces et ont fourni une prédiction écologiquement significative qui, avec des scores élevés de précision, suggèrent que ces modèles offrent un moyen pour une évaluation des risques significative.

5. CONCLUSIONS

L'analyse prospective avec le registre des espèces suggère que la région RINSE est un point chaud d'espèces envahissantes. Au moins 30 % de toutes les espèces exotiques enregistrées en Europe par DAISIE (www.europe-aliens.org) sont présentes dans la région des Deux-Mers, bien que représentant seulement 9,7 % de sa superficie. Par ailleurs, 77 % des pires EEE identifiées dans cette étude ont déjà été détectées dans la région RINSE. Pour établir une référence, le nombre d'espèces exotiques enregistrées dans la région RINSE est trois fois plus élevé que celui du Mexique (env. 1000 espèces selon www.conabio.gov.mx), sept fois le nombre des EEE en Argentine (652 espèces, www.inbiar.org.ar) et deux fois celle de l'Australie (2241 espèces, Pimentel *et al.*, 2001). Le nombre d'espèces exotiques enregistrées dans la région RINSE est en fait dépassé par les États-Unis (9808 espèces, Pimentel *et al.*, 2000 ; Pimentel *et al.*, 2001) et l'Afrique du Sud (8818 espèces, Pimentel *et al.*, 2001). Toutefois, ces chiffres proviennent d'une variété de sources et dépendent dans une grande mesure du fait qu'elles comprennent des espèces naturalisées/envahissantes, la totalité/une sélection des groupes taxonomiques, sont basés sur des rapports ou des estimations actuels etc., et devraient dès lors être considérés avec prudence. En tout cas, sur la base des données recueillies dans cette étude, il est évident que la région RINSE accueille un certain nombre remarquablement élevé d'espèces envahissantes, l'identifiant comme un point chaud mondial des EEE. Au sein de RINSE, la sud-est de l'Angleterre, la Belgique et les Pays-Bas (et en particulier les zones urbaines adjacentes aux grands ports comme Londres, Ostende, Zeebruges, Rotterdam et Anvers) ont affiché une très grande aptitude à une gamme variée d'envahisseurs potentiels, y compris des plantes, des animaux terrestres et aquatiques.

L'intensité des échanges et des déplacements dans la région RINSE, avec plusieurs ports d'importance internationale, les rivières navigables telles que la Tamise et le Rhin, la forte densité de la population et les paysages utilisés de façon intensive, expliquent la pression des propagules historiquement élevée de la région (Hulme, 2009 ; Seebens *et al.*, 2013). En d'autres termes, un grand nombre d'espèces envahissantes a peut-être eu l'occasion d'être introduit dans les pays RINSE. Bien que nombre d'entre elles puissent ne pas avoir trouvé des conditions environnementales optimales, le climat tempéré de RINSE est susceptible d'être adapté à un large éventail d'espèces envahissantes provenant des régions tempérées d'Amérique du Nord, d'Asie du sud-est, d'Amérique du Sud et d'Australie. La dégradation environnementale des écosystèmes naturels peut aussi avoir contribué au succès des espèces envahissantes dans la région RINSE, étant donné que les communautés indigènes affaiblies sont moins en mesure d'empêcher l'établissement des nouveaux arrivants et que de nombreuses espèces envahissantes sont connues pour prospérer dans des environnements perturbés (MacDougall & Turkington, 2005). Enfin, le réseau de transports dense des régions d'Europe du Nord, l'utilisation récréative des habitats naturels et la population dense ont peut-être facilité la propagation secondaire d'espèces dans la région RINSE (Hulme, 2009 ; Leuven *et al.*, 2009 ; Johnson *et al.*, 2012) . Dans l'ensemble, les caractéristiques environnementales et socio-économiques de RINSE suggèrent une forte pression historique des propagules, une forte vulnérabilité des écosystèmes dégradés et des possibilités de propagation secondaire qui peuvent expliquer le scénario actuel de grande richesse des EEE

observées dans cette étude.

En combinaison, l'analyse prospective et la modélisation de la répartition constituent un puissant outil pour concevoir des plans d'urgence afin d'empêcher l'introduction et l'établissement d'espèces exotiques, réduisant ainsi les énormes coûts habituellement liés à leur éradication. Dans cette étude, nous avons identifié les principales pires EEE actuelles et futures dans la région RINSE, leur origine, les voies d'introduction potentielles et leurs impacts. Le pourcentage élevé des pires EEE déjà présentes dans RINSE souligne l'urgence de mettre en œuvre des stratégies efficaces pour prévenir davantage l'installation des EEE.

6. RÉFÉRENCES

- Agence de l'eau Artois Picardie (2005) Les espèces végétales invasives des milieux aquatiques et humides du Bassin Artois Picardie. p. 37. Conservatoire Botanique National de Bailleul
- Agence de l'eau Rhin Meuse (2005) Plantes invasives des milieux aquatiques et des zones humides du Nord-est de la France. Une menace pour notre environnement. p. 20
- Airoldi, L. & Bulleri, F. (2011) Anthropogenic disturbance can determine the magnitude of opportunistic species responses on marine urban infrastructures. *Plos One*, **6**, e22985.
- Banks, A., Wright, L., Maclean, I.M., Hann, C. & Rehfisch, M.M. (2009) *Review of the status of introduced non-native waterbird species in the area of the African-Eurasian Waterbird Agreement: 2007 update*. British Trust for Ornithology.
- Barbet-Massin, M., Jiguet, F., Albert, C.H. & Thuiller, W. (2012) Selecting pseudo-absences for species distribution models: how, where and how many? *Methods in Ecology and Evolution*, **3**, 327-338.
- Battisti, A., Stastny, M., Netherer, S., Robinet, C., Schopf, A., Roques, A. & Larsson, S. (2005) Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures. *Ecological Applications*, **15**, 2084-2096.
- Bax, N., Williamson, A., Aguero, M., Gonzalez, E. & Geeves, W. (2003) Marine invasive alien species: a threat to global biodiversity. *Marine Policy*, **27**, 313-323.
- Baxter, A.T. & Robinson, A.P. (2007) Monitoring and influencing feral Canada goose (*Branta canadensis*) behaviour to reduce birdstrike risks to aircraft. *International Journal of Pest Management*, **53**, 341-346.
- Beaumont, L.J., Gallagher, R.V., Thuiller, W., Downey, P.O., Leishman, M.R. & Hughes, L. (2009) Different climatic envelopes among invasive populations may lead to underestimations of current and future biological invasions. *Diversity and Distributions*, **15**, 409-420.
- Benigni, M. & Battisti, A. (1999) Climate change and the pine processionary caterpillar: adaptation of a defoliator to changing environmental conditions. *Italia Forestale e Montana*, **54**, 76-86.
- Beran, L. & Horsák, M. (2007) Distribution of the alien freshwater snail *Ferrissia fragilis* (Tryon, 1863)(Gastropoda: Planorbidae) in the Czech Republic. *Aquatic Invasions*, **2**, 45-54.
- Blair, R.B. (1996) Land use and avian species diversity along an urban gradient. *Ecological Applications*, **6**, 506-519.
- Bonesi, L. & Palazon, S. (2007) The American mink in Europe: status, impacts, and control. *Biological Conservation*, **134**, 470-483.
- Bouquerel, J. (2008) Les canaux: des milieux privilégiés pour les macroinvertébrés invasifs. In: *Étude de la région Nord/Pas-de-Calais*, p. 82
- Broennimann, O. & Guisan, A. (2008) Predicting current and future biological invasions: both native and invaded ranges matter. *Biology Letters*, **4**, 585-589.
- Brooks, M.L., D'ANTONIO, C.M., Richardson, D.M., Grace, J.B., Keeley, J.E., Ditomaso, J.M., Hobbs, R.J., Pellant, M. & Pyke, D. (2004) Effects of invasive alien plants on fire regimes. *Bioscience*, **54**, 677-688.
- Brum, F.T., Gonçalves, L.O., Cappelatti, L., Carlucci, M.B., Debastiani, V.J., Salengue, E.V., dos Santos Seger, G.D., Both, C., Bernardo-Silva, J.S. & Loyola, R.D. (2013) Land use explains the distribution of threatened new world amphibians better than climate. *Plos One*, **8**, e60742.
- Butler, D.R. (1989) The failure of beaver dams and resulting outburst flooding: a geomorphic hazard of the southeastern Piedmont. *Geographical Bulletin*, **31**, 29-38.
- Cameron, E.K. & Bayne, E.M. (2009) Road age and its importance in earthworm invasion of northern boreal forests. *Journal of Applied Ecology*, **46**, 28-36.
- Carlsson, N.O., Brönmark, C. & Hansson, L.A. (2004) Invading herbivory: the golden apple snail alters ecosystem functioning in Asian wetlands. *Ecology*, **85**, 1575-1580.

- Connelly, N.A., O'Neill Jr, C.R., Knuth, B.A. & Brown, T.L. (2007) Economic impacts of zebra mussels on drinking water treatment and electric power generation facilities. *Environmental Management*, **40**, 105-112.
- Conseil General du Finistere (2008) Plantes invasives un danger pour la biodiversité du Finistère. 16.
- Copp, G.H., Templeton, M. & Gozlan, R.E. (2007) Propagule pressure and the invasion risks of non-native freshwater fishes: a case study in England. *Journal of Fish Biology*, **71**, 148-159.
- Costa, C. (2005) Atlas des espèces invasives présentes sur le périmètre du Parc Naturel Régional de Camargue, p. 217. Parc Naturel Régional de Camargue
- Costa, G.C., Wolfe, C., Shepard, D.B., Caldwell, J.P. & Vitt, L.J. (2008) Detecting the influence of climatic variables on species distributions: a test using GIS niche-based models along a steep longitudinal environmental gradient. *Journal of Biogeography*, **35**, 637-646.
- Charles, H. & Dukes, J.S. (2007) Impacts of invasive species on ecosystem services. *Biological Invasions*, pp. 217-237. Springer.
- DAISIE (2009) *Handbook of alien species in Europe*. Springer, Knoxville, TN (USA).
- Davidson, A.M., Jennions, M. & Nicotra, A.B. (2011) Do invasive species show higher phenotypic plasticity than native species and, if so, is it adaptive? A meta-analysis. *Ecology Letters*, **14**, 419-431.
- Dawson, F. (1996) *Crassula helmsii*: attempts at elimination using herbicides. *Management and Ecology of Freshwater Plants*, pp. 241-245. Springer.
- de Haro, L., Labadie, M., Chanseau, P., Cabot, C., Blanc-Brisset, I. & Penouil, F. (2010) Medical consequences of the Asian black hornet (*Vespa velutina*) invasion in Southwestern France. *Toxicon*, **55**, 650-652.
- De Prins, W. (1998) Catalogue of the Lepidoptera of Belgium. *Studiedocumenten Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen*, **92**, 1-236.
- Delbart, E. & N. Pieret, M.G. (2007) Guide de reconnaissance des principales plantes invasives le long des cours d'eau et plans d'eau en Région wallonne. In. Direction des Cours d'Eau
- Dewarumez, J.-M., Gévaert, F., Massé, C., Foveau, A., Desroy, N. & Grulois, D. (2011) Les espèces marines animales et végétales introduites dans le bassin Artois-Picardie.
- Ehrenfeld, J.G. (2003) Effects of exotic plant invasions on soil nutrient cycling processes. *Ecosystems*, **6**, 503-523.
- Elith, J. & Leathwick, J.R. (2009) Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, pp. 677-697.
- Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y.E. & Yates, C.J. (2010) A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, **17**, 43-57.
- Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R.J., Huettmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L.G., Loiselle, B.A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J.M., Peterson, A.T., Phillips, S.J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R.E., Soberon, J., Williams, S., Wisz, M.S. & Zimmermann, N.E. (2006) Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, **29**, 129-151.
- FAO (2012) Introduction of species. Database on Introductions of Aquatic Species. In: *Fisheries and Aquaculture topics*. Food and Agriculture Organisation (Fisheries and Aquaculture Department), Rome.
- Flory, S.L. & Clay, K. (2009) Effects of roads and forest successional age on experimental plant invasions. *Biological Conservation*, **142**, 2531-2537.
- Froese, R. & Pauly, D. (2008) FishBase.
- Gallardo, B. & Aldridge, D.C. (2012) Priority setting for invasive species management: integrated risk assessment of multiple Ponto Caspian invasive species into Great Britain. *Ecological Applications*, **23**, 352-364.

- Gallardo, B. & Aldridge, D.C. (2013a) The 'dirty dozen': socio-economic factors amplify the invasion potential of 12 high risk aquatic invasive species in Great Britain and Ireland. *Journal of Applied Ecology*, doi: **10.1111/1365-2664.12079**
- Gallardo, B. & Aldridge, D.C. (2013b) Evaluating the combined threat of climate change and biological invasions on endangered species. *Biological Conservation*, **160**, 225-233.
- Gallardo, B., Errea, M. & Aldridge, D.C. (2012) Application of bioclimatic models coupled with network analysis for risk assessment of the killer shrimp, *Dikerogammarus villosus*, in Great Britain. *Biological Invasions*, **14**, 1265–1278.
- Gaygusuz, O., Gaygusuz, C.G., Tarkan, A.S., Acipinar, H. & Türer, Z. (2007) Preference of zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, in the diet and effect on growth of gobiids: a comparative study between two different ecosystems. *Ekoloji* **17**, 1-6.
- Gillooly, J.F., Brown, J.H., West, G.B., Savage, V.M. & Charnov, E.L. (2001) Effects of size and temperature on metabolic rate. *Science*, **293**, 2248-2251.
- Gollasch, S., Haydar, D., Minchin, D., Wolff, W.J. & Reise, K. (2009) Introduced aquatic species of the North Sea coasts and adjacent brackish waters. *Biological Invasions in Marine Ecosystems*, pp. 507-528. Springer.
- Gordon, D.R., Gantz, C.A., Jerde, C.L., Chadderton, W.L., Keller, R.P. & Champion, P.D. (2012) Weed risk assessment for aquatic plants: modification of a New Zealand system for the United States. *Plos One*, **7**, e40031.
- Groenen, F. & Meurisse, N. (2012) Historical distribution of the oak processionary moth *Thaumetopoea processionea* in Europe suggests recolonization instead of expansion. *Agricultural and Forest Entomology*, **14**, 147-155.
- Guisan, A. & Thuiller, W. (2005) Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, **8**, 993-1009.
- Hakenkamp, C.C., Ribblett, S.G., Palmer, M.A., Swan, C.M., Reid, J.W. & Goodison, M.R. (2001) The impact of an introduced bivalve (*Corbicula fluminea*) on the benthos of a sandy stream. *Freshwater Biology*, **46**, 491-501.
- Halwart, M. (1994) The golden apple snail *Pomacea canaliculata* in Asian rice farming systems: present impact and future threat. *International Journal of Pest Management*, **40**, 199-206.
- Hanley, J.A. & McNeil, B.J. (1982) The meaning and use of the Area Under a Receiver Operating Characteristic (ROC) curve. *Radiology*, **1**, 29-36.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. & Jarvis, A. (2005) Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, **25**, 1965-1978.
- Hopkin, S.P. (2007) *A key to the Collembola (springtails) of Britain and Ireland*. FSC Publications.
- Hudin, S. & Vahrameev, P. (2010) Guide d'identification des plantes exotiques envahissant les milieux aquatiques et les berges du bassin Loire-Bretagne, p. 45. Fédération des Conservatoires d'espaces naturels
- Hulme, P.E. (2009) Trade, transport and trouble: managing invasive species pathways in an era of globalization. *Journal of Applied Ecology*, **46**, 10-18.
- Hulme, P.E. & Bremner, E.T. (2006) Assessing the impact of *Impatiens glandulifera* on riparian habitats: partitioning diversity components following species removal. *Journal of Applied Ecology*, **43**, 43-50.
- Jeschke, J.M. & Strayer, D.L. (2005) Invasion success of vertebrates in Europe and North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **102**, 7198-7202.
- Jiménez-Valverde, A., Peterson, A., Soberón, J., Overton, J., Aragón, P. & Lobo, J. (2011) Use of niche models in invasive species risk assessments. *Biological Invasions*, **13**, 2785-2797.
- Johnson, L., Brawley, S. & Adey, W. (2012) Secondary spread of invasive species: historic patterns and underlying mechanisms of the continuing invasion of the European rockweed *Fucus serratus* in eastern North America. *Biological Invasions*, **14**, 79-97.
- Joly, M., Bertrand, P., Great Britainangou, R.Y., White, M.-C., Dube, J. & Lavoie, C. (2011) Paving the

- B. Gallardo, A. Zieritz et D. C. Aldridge (2013) way for invasive species: road type and the spread of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*). *Environmental Management*, **48**, 514-522.
- Kay, S.H. & Hoyle, S.T. (2001) Mail order, the Internet, and invasive aquatic weeds. *Journal of Aquatic Plant Management*, **39**, 88-91.
- Keller, R.P., Lodge, D.M. & Finnoff, D.C. (2007) Risk assessment for invasive species produces net bioeconomic benefits. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **104**, 203-207.
- Keller, R.P., Ermgassen, P. & Aldridge, D.C. (2009) Vectors and timing of freshwater invasions in Great Britain. *Conservation Biology*, **23**, 1526-1534.
- Kenis, M., Roy, H.E., Zindel, R. & Majerus, M.E. (2008) Current and potential management strategies against *Harmonia axyridis*. *From Biological Control to Invasion: the Ladybird Harmonia axyridis as a Model Species*, pp. 235-252. Springer.
- Kenward, R. & Parish, T. (1986) Bark-stripping by Grey squirrels (*Sciurus carolinensis*). *Journal of Zoology*, **210**, 473-481.
- Kideys, A.E., Roohi, A., Eker-Develi, E. & Beare, D. (2008) Increased chlorophyll levels in the southern Caspian Sea following an invasion of jellyfish. *International Journal of Ecology*, **2008**
- Kovacs, K.F., Haight, R.G., McCullough, D.G., Mercader, R.J., Siegert, N.W. & Liebhold, A.M. (2010) Cost of potential emerald ash borer damage in US communities, 2009–2019. *Ecological Economics*, **69**, 569-578.
- Kumschick, S. & Nentwig, W. (2010) Some alien birds have as severe an impact as the most effectual alien mammals in Europe. *Biological Conservation*, **143**, 2757-2762.
- Lacroix, P., Le Bail, J., Geslin, J. & Hunault, G. (2008) Liste des plantes vasculaires invasives, potentiellement invasives et à surveiller en région Pays de la Loire. *Conservatoire National Botanique de Brest, Antenne régionale des Pays-de-Loire*, **55**
- Lamy, M., Pastureaud, M.-H., Novak, F., Ducombs, G., Vincedeau, P., Maleville, J. & Texier, L. (1986) Thaumetopoein: An urticating protein from the hairs and integument of the pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa*, Lepidoptera, Thaumetopoeidae). *Toxicon*, **24**, 347-356.
- Laurent-Hervouet, N. (1986) Measurement of radial growth losses in some Pinus species caused by two forest defoliators. Part 1: The pine processionary caterpillar in the Mediterranean region. *Annales des Sciences Forestieres* (ed by, pp. 239-262.
- Leen, V., Vanhoorne, B., Decock, W., Trias-Verbeek, A., Dekeyzer, S., Colpaert, S. & Hernandez, F. (2013) World Register of Marine Species.
- Leuven, R., van der Velde, G., Baijens, I., Sniijders, J., van der Zwart, C., Lenders, H.J.R. & de Vaate, A.B. (2009) The River Rhine: a global highway for dispersal of aquatic invasive species. *Biological Invasions*, **11**, 1989-2008.
- Lever, C. (1985) *Naturalized mammals of the world*. Longman.
- Liu, C.R., Berry, P.M., Dawson, T.P. & Pearson, R.G. (2005) Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*, **28**, 385-393.
- Long, J. (2003) *Introduced mammals of the world: their history, distribution and influence*. CSIRO Publishing.
- Lützen, J., Faasse, M., Gittenberger, A., Glenner, H. & Hoffmann, E. (2012) The Japanese oyster drill *Ocenebrellus inornatus* (Récluz, 1851)(Mollusca, Gastropoda, Muricidae), introduced to the Limfjord, Denmark. *Aquatic Invasions*, **7**, 181-191.
- MacDougall, A.S. & Turkington, R. (2005) Are invasive species the drivers or passengers of change in degraded ecosystems? *Ecology*, **86**, 42-55.
- MacIsaac, H.J., Herborg, L.M. & Murhead, J.R. (2007) Modeling biological invasions of inland waters. *Biological invaders in inland waters: profiles, distribution and threats* (ed. by F. Gherardi), p. 733. Springer, Knoxville, Tennessee.

- Mack, R. & Lonsdale, W. (2002) Eradicating invasive plants: hard-won lessons for islands. *Turning the tide: the eradication of invasive species*, 164-172.
- Manchester, S.J. & Bullock, J.M. (2000) The impacts of non-native species on UK biodiversity and the effectiveness of control. *Journal of Applied Ecology*, **37**, 845-864.
- Marmion, M., Luoto, M., Heikkinen, R.K. & Thuiller, W. (2009) The performance of state-of-the-art modelling techniques depends on geographical distribution of species. *Ecological Modelling*, **220**, 3512-3520.
- McKenney, D.W., Pedlar, J.H., Yemshanov, D., Barry Lyons, D., Campbell, K.L. & Lawrence, K. (2012) Estimates of the potential cost of emerald ash borer (*Agrilus planipennis*, Fairmaire) in Canadian municipalities. *Arboriculture and Urban Forestry*, **38**, 81.
- Mokany, K. & Ferrier, S. (2010) Predicting impacts of climate change on biodiversity: a role for semi-mechanistic community-level modelling. *Diversity and Distributions*, **17**, 374-380.
- Molnar, J.L., Gamboa, R.L., Revenga, C. & Spalding, M.D. (2008) Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **6**, 485-492.
- Mora, C., Tittensor, D.P., Adl, S., Simpson, A.G. & Worm, B. (2011) How many species are there on Earth and in the ocean? *Plos Biology*, **9**, e1001127.
- Moragues, E. & Traveset, A. (2005) Effect of *Carpobrotus* spp. on the pollination success of native plant species of the Balearic Islands. *Biological Conservation*, **122**, 611-619.
- Mortensen, D.A., Rauschert, E.S.J., Nord, A.N. & Jones, B.P. (2009) Forest roads facilitate the spread of invasive plants. *Invasive Plant Science and Management*, **2**, 191-199.
- Nentwig, W., Kuhnel, E. & Bacher, S. (2010) A generic impact-scoring system applied to alien mammals in Europe. *Conservation Biology*, **24**, 302-311.
- Nummi, P. & Hahtola, A. (2008) The beaver as an ecosystem engineer facilitates teal breeding. *Ecography*, **31**, 519-524.
- Observatoire de la Biodiversité et du Patrimoine Naturel en Bretagne (2010) Les espèces marines invasives en Bretagne. 44 pp.
- Oreska, M. & Aldridge, D. (2011) Estimating the financial costs of freshwater invasive species in Great Britain: a standardized approach to invasive species costing. *Biological Invasions*, **13**, 305-319.
- Panov, V.E., Alexandrov, B., Arbačiauskas, K., Binimelis, R., Copp, G.H., Grabowski, M., Lucy, F., Leuven, R.S.E.W., Nehring, S., Paunović, M., Semenchenko, V. & Son, M.O. (2009) Assessing the risks of aquatic species invasions via european inland waterways: from concepts to environmental indicators. *Integrated Environmental Assessment and Management*, **5**, 110-126.
- Paradis, G., Hugo, L. & Spinosi, P. (2008) Les plantes envahissantes: une menace pour la biodiversité. *Stantari*, **13**, 18-26.
- Parrot, D., Roy, S., Baker, R., Cannon, R., Eyre, D., Hill, M., Wagner, M., Roy, H., Preston, C., Beckmann, B., Copp, G.H., Edmonds, N., Ellis, J., Laing, I., Britton, J.R. & Gozlan, R.E. (2009) Horizon scanning for new invasive non-native animal species in England, p. 121pp. Natural England Commissioned Report NECR009
- Pauchard, A. & Alaback, P.B. (2004) Influence of elevation, land use, and landscape context on patterns of alien plant invasions along roadsides in protected areas of South-Central Chile. *Conservation Biology*, **18**, 238-248.
- Pautasso, M., Aas, G., Queloz, V. & Holdenrieder, O. (2013) European ash (*Fraxinus excelsior*) dieback—A conservation biology challenge. *Biological Conservation*, **158**, 37-49.
- Pertola, S., Kuosa, H. & Olsonen, R. (2005) Is the invasion of *Prorocentrum minimum* (Dinophyceae) related to the nitrogen enrichment of the Baltic Sea? *Harmful Algae*, **4**, 481-492.
- Phillips, S.J. & Dudik, M. (2008) Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, **31**, 161-175.

- Phillips, S.J., Anderson, R.P. & Schapire, R.E. (2006) Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, **190**, 231-259.
- Pimentel, D., Lach, L., Zuniga, R. & Morrison, D. (2000) Environmental and economic costs of nonindigenous species in the United States. *Bioscience*, **50**, 53-65.
- Pimentel, D., McNair, S., Janecka, J., Wightman, J., Simmonds, C., O'connell, C., Wong, E., Russel, L., Zern, J. & Aquino, T. (2001) Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **84**, 1-20.
- Pinder, A.C., Gozlan, R.E. & Britton, J. (2005) Dispersal of the invasive topmouth gudgeon, *Pseudorasbora parva* in the UK: a vector for an emergent infectious disease. *Fisheries Management and Ecology*, **12**, 411-414.
- Plantlife (2010) Here today, here tomorrow? Horizon scanning for invasive non-native plants. 19 pp.
- Preisler, R.K., Wasson, K., Wolff, W.J. & Tyrrell, M.C. (2009) Invasions of estuaries vs the adjacent open coast: a global perspective. *Biological invasions in marine ecosystems*, pp. 587-617. Springer.
- Rabitsch, W. (2008) Alien true bugs of Europe (Insecta: Hemiptera: Heteroptera). *Zootaxa*, **1827**, 1-44.
- Rehfishch, M., Allan, J. & Austin, G. (2010) The effect on the environment of Great Britain's naturalized greater Canada *Branta canadensis* and Egyptian geese *Alopochen aegyptiacus*. *BOU Proceedings—The Impacts of Non-native Species*,
- Reseau regional des Gestionnaires des Milieux Aquatiques (2009) Plantes Envahissantes. Guide d'identification des principales espèces aquatiques et de berges en Provence et Languedoc. In, p. 112 pp
- Reynolds, J. (1985) Details of the geographic replacement of the red squirrel (*Sciurus vulgaris*) by the grey squirrel (*Sciurus carolinensis*) in eastern England. *The Journal of Animal Ecology*, 149-162.
- Ricciardi, A., Neves, R.J. & Rasmussen, J.B. (1998) Impending extinctions of North American freshwater mussels (Unionoida) following the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) invasion. *Journal of Animal Ecology*, **67**, 613-619.
- Rodriguez-Castaneda, G., Hof, A.R., Jansson, R. & Harding, L.E. (2012) Predicting the fate of biodiversity using species' distribution models: enhancing model comparability and repeatability. *Plos One*, **7**
- Roques, A., Rabitsch, W., Rasplus, J.-Y., Lopez-Vaamonde, C., Nentwig, W. & Kenis, M. (2009) Alien terrestrial invertebrates of Europe. *Handbook of alien species in Europe*, pp. 63-79. Springer.
- Roy, H.E., Bacon, J., Beckmann, B., Harrower, C.A., Hill, M.O., Isaac, N.J.B., Preston, C.D., Rathod, B., Rorke, S.L., Marchant, J.H., Musgrove, A., Noble, D., Sewell, J., Seeley, B., Sweet, N., Adams, L., Bishop, J., Jukes, A.R., Walker, K.J. & Pearman, D. (2012) Non-native species in Great Britain: establishment, detection and reporting to inform effective decision making. In, p. 110. Centre for Ecology & Hydrology and others
- Salminen, R., Batista, M.J., Bidovec, M., Demetriades, A., De Vivo, B., De Vos, W., Duris, M., Gilucis, A., Gregorauskiene, V., Halamic, J., Heitzmann, P., Lima, A., Jordan, G., Klaver, G., Klein, P., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mazreku, A., O'Connor, P.J., Olsson, S.Å., Ottesen, R.-T., Petersell, V., Plant, J.A., Reeder, S., Salpeteur, I., Sandström, H., Siewers, U., Steenfelt, A. & Tarvainen, T. (2005) The geochemical baseline of Europe. Background Information, methodology and maps. *Geochemical Atlas of Europe*. Geological Survey of Finland, Espoo, Finland.
- Schlichting, C.D. & Levin, D.A. (1986) Phenotypic plasticity: an evolving plant character. *Biological Journal of the Linnean Society*, **29**, 37-47.
- Seebens, H., Gastner, M.T. & Blasius, B. (2013a) The risk of marine bioinvasion caused by global shipping. *Ecology Letters*, **16**, 782-790.
- Simberloff, D. & Von Holle, B. (1999) Positive interactions of nonindigenous species: invasional meltdown? *Biological Invasions*, **1**, 21-32.
- Simon-Bouhet, B., Garcia-Meunier, P. & Viard, F. (2006) Multiple introductions promote range

- B. Gallardo, A. Zieritz et D. C. Aldridge (2013) expansion of the mollusc *Cyclope neritea* (Nassariidae) in France: evidence from mitochondrial sequence data. *Molecular Ecology*, **15**, 1699-1711.
- Soes, D.M., Glöer, P. & de Winter, A.J. (2009) *Viviparus acerosus* (Bourguignat, 1862)(Gastropoda: Viviparidae), a new exotic snail species for the Dutch fauna. *Aquatic Invasions*, **4**, 373-375.
- SprinGreat Britainorn, M., Romagosa, C.M. & Keller, R.P. (2011) The value of nonindigenous species risk assessment in international trade. *Ecological Economics*, **70**, 2145-2153.
- Tan, K., Radloff, S., Li, J., Hepburn, H., Yang, M.-X., Zhang, L. & Neumann, P. (2007) Bee-hawking by the wasp, *Vespa velutina*, on the honeybees *Apis cerana* and *A. mellifera*. *Naturwissenschaften*, **94**, 469-472.
- Theoharides, K.A. & Dukes, J.S. (2007) Plant invasion across space and time: factors affecting nonindigenous species success during four stages of invasion. *New Phytologist*, **176**, 256-273.
- Trombulak, S.C. & Frissell, C.A. (2000) Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, **14**, 18-30.
- Tyberghain, L., Verbruggen, H., Pauly, K., Troupin, C., Mineur, F. & De Clerck, O. (2012) Bio-ORACLE: a global environmental dataset for marine species distribution modelling. *Global Ecology and Biogeography*, **21**, 272-281.
- Unckless, R.L. & Makarewicz, J.C. (2007) The impact of nutrient loading from Canada geese (*Branta canadensis*) on water quality, a mesocosm approach. *Hydrobiologia*, **586**, 393-401.
- Urban, M.C., Phillips, B.L., Skelly, D.K. & Shine, R. (2008) A toad more traveled: the heterogeneous invasion dynamics of cane toads in Australia. *The American naturalist*, **171**, E134-E148.
- Verlaque, M., Ruitton, S., Mineur, F. & Boudouresque, C.F. (2007) CIESM Atlas of exotic macrophytes in the Mediterranean Sea. *Rapp. Comm. int. Mer Médit*, **38**, 14.
- Verloove, F. (2006) *Catalogue of neophytes in Belgium (1800-2005)*.
- Vila, M. & Pujadas, J. (2001) Land-use and socio-economic correlates of plant invasions in European and North African countries. *Biological Conservation*, **100**, 397-401.
- Vilà, M., Weber, E. & Antonio, C.M. (2000) Conservation implications of invasion by plant hybridization. *Biological Invasions*, **2**, 207-217.
- Vilà, M., Tessier, M., Suehs, C.M., Brundu, G., Carta, L., Galanidis, A., Lambdon, P., Manca, M., Médail, F. & Moragues, E. (2006) Local and regional assessments of the impacts of plant invaders on vegetation structure and soil properties of Mediterranean islands. *Journal of Biogeography*, **33**, 853-861.
- Villemant, C., Haxaire, J. & Streito, J.-C. (2006) Premier bilan de l'invasion de *Vespa velutina* Lepelletier en France (Hymenoptera, Vespidae). *Bulletin de la Société entomologique de France*, **111**, 535-538.
- Villemant, C., Barbet-Massin, M., Perrard, A., Muller, F., Gargominy, O., Jiguet, F. & Rome, Q. (2011) Predicting the invasion risk by the alien bee-hawking Yellow-legged hornet *Vespa velutina nigrithorax* across Europe and other continents with niche models. *Biological Conservation*, **144**, 2142-2150.
- von Holle, B. & Simberloff, D. (2005) Ecological resistance to biological invasion overwhelmed by propagule pressure. *Ecology*, **86**, 3212-3218.
- Wadsworth, R., Collingham, Y., Willis, S., Huntley, B. & Hulme, P. (2000) Simulating the spread and management of alien riparian weeds: are they out of control? *Journal of Applied Ecology*, **37**, 28-38.
- Warren, D.L., Glor, R.E. & Turelli, M. (2010) ENMTools: a toolbox for comparative studies of environmental niche models. *Ecography*, **33**, 607-611.
- Welter-Schultes, F. (2005) AnimalBase: early zoological literature online.
- Williams, F., Eschen, R., Harris, A., Djeddour, D., Pratt, C., Shaw, R. S., Murphy, S. T. (2010) *The economic cost of invasive non-native species on Great Britain*. CABI report, 198pp.
- Williamson, M.H. (1996) *Biological invasions*. Chapman & Hall, London, UK.

- Wolff, W.J. (2005) *Non-indigenous marine and estuarine species in The Netherlands*. Nationaal Natuurhistorisch Museum.
- Zambettakis, C. & Magnanon, S. (2008) Identification des plantes vasculaires invasives de Basse-Normandie. 25 pp. Conservatoire Botanique National de Brest, Conseil régional Basse-Normandie, DIREN Basse-Normandie.
- Zerebecki, R.A. & Sorte, C.J. (2011) Temperature tolerance and stress proteins as mechanisms of invasive species success. *Plos One*, **6**, e14806.

7. ANNEXES

Liste des Annexes :

ANNEXE A. Références utilisées pour compléter la répartition indigène et exotique envahissante connue des espèces sélectionnées pour la modélisation (la liste complète des espèces peut être consultée dans le **Tableau 6**).

ANNEXE B. Registre RINSE des espèces exotiques (EE). Fichier Excel contenant une liste de toutes les EE enregistrées au cours du présent projet. Le fichier comprend des informations taxonomiques (nom scientifique et anglais, embranchement et classe), géographiques (présence confirmée dans des pays et des régions RINSE) et environnementales (préférence d'habitat principal).

ANNEXE C. Listes ciblées des espèces exotiques dans la région RINSE.

Annexe C.1. Liste ciblée des pires angiospermes exotiques dans les pays RINSE.

Annexe C.2. Liste ciblée des mollusques exotiques dans les pays RINSE.

Annexe C.3. Liste ciblée des ostéichthyes exotiques dans les pays RINSE.

Annexe C.4. Liste ciblée des ansériformes exotiques dans les pays RINSE.

ANNEXE D. Listes d'analyse prospective des EEE. Le fichier Excel contient deux fiches : la liste d'alerte des EEE et la liste noire des EEE. La Liste d'alerte contient des informations sur 79 envahisseurs absents de la région RINSE, y compris : des informations sur la taxonomie de chaque espèce, des scores de risque attribués par des experts, les caractéristiques des espèces, les listes des pires EEE consultées et l'inclusion dans liste d'alerte des 12 principales espèces. La liste noire couvre 361 espèces déjà présentes dans au moins un des pays RINSE, avec des informations sur : la taxonomie des espèces, la présence confirmée dans des pays RINSE, les caractéristiques des espèces, les listes des pires EEE consultées, le pourcentage de votes reçus lors de la consultation des experts et l'inclusion dans la liste noire des 12 principales espèces.

ANNEXE E. Statistiques de résultat des modèles de répartition des espèces (MRE). Le fichier Excel comprend cinq fiches correspondant à la définition des termes, aux plantes terrestres, aux animaux terrestres, aux organismes aquatiques continentaux et aux organismes marins. Chaque fiche comprend des statistiques de modélisation pour toutes les EEE d'alerte et noire modélisées, ainsi que les scores moyens.

ANNEXE F. Dossier contenant les cartes de résultat SIG de toutes les espèces modélisées. Deux fichiers sont fournis pour chaque espèce, codés comme suit :

ScientificName_RINSE.tif : carte comprenant des scores de pertinence continus (de 0 à 100 % avec correspondance de la répartition actuelle de l'espèce)

ScientificName_RINSE_thresholded.tif : présence/absence prédite (codée 0/1). Cette carte est calculée en appliquant à la carte continue le seuil maximisant la sensibilité et la spécificité du modèle.

En outre, ces cartes de répartition sont également incluses dans ce dossier, nommées :

ALERT_heatmap_marine.tif

ALERT_heatmap_continental.tif

BLACK_heatmap_marine.tif

BLACK_heatmap_continental.tif

REMERCIEMENTS

RINSE est financé par le Programme Interreg IVA 2 Mers Seas Zeeën de l'Union européenne, avec le soutien du Fonds européen de développement régional. Le programme promeut une coopération transfrontalière entre les régions côtières de quatre États membres : France (Nord-Pas-de-Calais), Angleterre (sud-ouest, sud-est), Belgique (Flandre) et Pays-Bas (région côtière sud). Les auteurs tiennent à remercier Mike Sutton-Croft (coordinateur technique du projet RINSE) pour son soutien ainsi que ses commentaires et suggestions très utiles au cours de ce projet. Ce rapport reflète les opinions de ses auteurs et les Autorités du Programme ne sont pas responsables de l'usage qui pourrait être fait des informations qui y figurent.

Auteurs de ce rapport :

Alexandra Zieritz
Aquatic Ecology Group
Department of Zoology
University of Cambridge
Downing St. CB2 3EJ, Cambridge (RU)
e-mail : Alexandra.zieritz@cantab.net

Belinda Gallardo Aquatic
Ecology Group
Department of Zoology
University of Cambridge
Downing St. CB2 3EJ, Cambridge (RU)
e-mail : galla82@hotmail.com

David C. Aldridge
Aquatic Ecology Group
Department of Zoology
University of Cambridge
Downing St. CB2 3EJ, Cambridge (RU)
e-mail : da113@cam.ac.uk / d.aldridge@zoo.cam.ac.uk

Veillez citer ce document sous :

Gallardo B, Zieritz A, Aldridge DC (2013) Targeting and Prioritisation for INS in the RINSE Project Area. University of Cambridge, Cambridge, UK, pp. 98

