
Quel est l'impact des méthodes de gestion des espèces exotiques envahissantes sur les services écosystémiques ?

Auteur : De Baene, Gaëtan

Promoteur(s) : Monty, Arnaud

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master en bioingénieur : gestion des forêts et des espaces naturels, à finalité spécialisée

Année académique : 2021-2022

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/15210>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

QUEL EST L'IMPACT DES METHODES DE GESTION DES ESPECES EXOTIQUES ENVAHISSANTES SUR LES SERVICES ECOSYSTEMIQUES ?

GAËTAN DE BAENE

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER BIOINGÉNIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS**

ANNÉE ACADÉMIQUE 2021-2022

PROMOTEUR: ARNAUD MONTY

« Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech. »

« Le présent document n'engage que son auteur. »

QUEL EST L'IMPACT DES METHODES DE GESTION DES ESPECES EXOTIQUES ENVAHISSANTES SUR LES SERVICES ECOSYSTEMIQUES ?

GAËTAN DE BAENE

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER BIOINGÉNIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS**

ANNÉE ACADÉMIQUE 2021-2022

PROMOTEUR: ARNAUD MONTY

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier mon promoteur, Monsieur Monty Arnaud, qui m'a fait confiance pour intégrer le projet LIFE RIPARIAS en plus de me suivre et de me conseiller durant les étapes de ce mémoire.

Je remercie Marie Patinet, avec qui ce fut un réel plaisir de travailler et de collaborer tout au long du projet.

Merci à toutes les personnes qui m'ont accompagné dans ma formation universitaire, d'abord à l'Université Libre de Bruxelles et ensuite à Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège.

Merci également à Monsieur Dufrêne Marc, dont le cours sur les services écosystémiques a constitué une base solide et indispensable pour réaliser ce travail de fin d'étude.

Ma gratitude va ensuite à ceux et à celles qui ont pris le temps de remplir l'enquête dont ce mémoire faisait l'objet. Les temps de remplissage étaient parfois assez conséquents, mais la volonté des experts a permis d'obtenir les résultats escomptés.

Je remercie enfin ma famille et mes ami(e)s pour le soutien et les conseils qu'ils ou elles ont pu m'apporter.

RESUME

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet LIFE RIPARIAS et vise à évaluer l'impact que les méthodes de gestion des espèces exotiques envahissantes peuvent avoir sur les services écosystémiques. Les méthodes de gestion sélectionnées dans ce travail sont liées aux espèces ciblées par le projet, à savoir des plantes aquatiques, des plantes de berges et des écrevisses. L'évaluation de l'impact des méthodes sur les services écosystémiques a été réalisée lors d'une journée d'étude et à partir d'une enquête internationale en ligne en anglais, français et néerlandais. Les résultats sont deux matrices d'impact des méthodes de gestion sur les services écosystémiques, après un et cinq ans. Si la plupart des méthodes permettent des améliorations évidentes des services écosystémiques, certaines comme le labour, le comblement d'étangs ou l'introduction de carpes herbivores stériles semblent garder des effets négatifs sur la durée. Un intérêt particulier a aussi été porté aux méthodes dont les impacts semblent fort diverger selon les experts. Ce mémoire permet in fine de mieux comprendre les méthodes de gestion et leurs impacts sur les services écosystémiques, en plus d'ouvrir des pistes concernant certaines méthodes dont les effets mériteraient d'être étudiés de manière plus approfondie.

Mots clés : services écosystémiques, LIFE Riparias, espèces exotiques envahissantes, méthodes de gestion, plantes terrestres, plantes aquatiques, écrevisses

ABSTRACT

This thesis is part of the LIFE RIPARIAS project and aims to assess the impact that management methods for invasive alien species have on ecosystem services. The management methods selected in this work are related to the species targeted by the project, namely aquatic plants, bank plants and crayfish. The assessment of the methods impacts on ecosystem services was carried out during a one-day study session and through an international online survey in English, French and Dutch. The results are two matrices of the management methods impacts on ecosystem services, after one and five years. While most of the methods show clear improvements in ecosystem services, some, such as ploughing, pond filling or the introduction of sterile grass carp, seem to have negative effects over time. Particular attention was also paid to methods whose impacts seem to differ greatly according to the experts. In the end, this thesis provides a better understanding of management methods and their impacts on ecosystem services, in addition to open new avenues of reflexion on certain methods which effects deserve to be studied deeply.

Key words: ecosystem services, LIFE Riparias, invasive alien species, management methods, terrestrial plants, aquatic plants, crayfish

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	1
Résumé	2
Abstract	2
Table des matières	3
Liste des figures	5
Liste des tableaux	6
Abréviations	6
1. Introduction :	7
2. Synthèse bibliographique	8
2.1. Les espèces exotiques envahissantes	8
2.2. La gestion des espèces exotiques envahissantes	9
2.2.1. Les plantes aquatiques	10
2.2.2. Les plantes terrestres	12
2.2.3. Les écrevisses	13
2.2.4. Intégration des méthodes de gestion et rôle du grand public	14
2.3. Les services écosystémiques	15
2.3.1. Notions	15
2.3.2. Avantages des services écosystémiques et apports dans une analyse de risque	16
2.3.3. Évaluation des services	17
3. Objectifs	18
4. Matériel et méthode	19
4.1. Acquisition des données	19
4.1.1. Méthodes de gestion évaluées	20
4.1.2. Services écosystémiques	23
4.1.3. Évaluation des impacts sur les services écosystémiques	24
4.1.4. Organisation d'une journée d'étude et participation à la conférence internationale sur les espèces invasives aquatiques (ICAIS)	27
4.1.5. Enquête en ligne	29
4.1.6. Diffusion et networking	29
4.2. Analyses	30
4.2.1. Accord parmi les experts	30
4.2.2. Score d'impact sur les services écosystémiques	31
4.2.3. Degré de certitude	31
5. Résultats	33

5.1.	Construction de l'enquête.....	33
5.2.	Accord parmi les experts et fiabilité.....	33
5.3.	Impact des méthodes sur les services écosystémiques	35
5.3.1.	Méthodes de gestion des plantes aquatiques	35
5.3.2.	Méthodes de gestion des plantes terrestres.....	35
5.3.3.	Méthodes de gestion des écrevisses.....	35
5.4.	Évolution des services de production, de régulation et culturels	38
5.5.	Degré de certitude et fiabilité des scores par cellules	40
6.	Discussions	44
6.1.	Construction de l'enquête.....	44
6.2.	Accord parmi les experts et fiabilité.....	44
6.3.	Impact des méthodes sur les services écosystémiques et degré de certitude	45
6.3.1.	Méthodes de gestion des plantes aquatiques	45
6.3.2.	Méthodes de gestion des plantes terrestres.....	46
6.3.3.	Méthodes de gestion des écrevisses.....	47
6.4.	Intégration des impacts des méthodes sur les services écosystémiques au contexte de leur mise en place.....	47
7.	Conclusions et perspectives	49
8.	Contributions personnelles	50
9.	Bibliographie.....	51
9.	Annexes	59

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Les barrières aux invasions biologiques : évolution du lexique. D'après Richardson et al., 2020.....	8
Figure 2 Les différentes formes de plantes aquatiques exotiques envahissantes (d'après Hussner et al., 2017).....	10
Figure 3 Structure hiérarchique de la CICES version 4.3 d'après Haines-Young et Potschin, 2012	15
Figure 4 Méthodologie de l'enquête.....	19
Figure 5 Schématisation du fonctionnement de l'enquête.....	26
Figure 6 Journée d'étude du 25 mars 2022, analyse des résultats et discussions avec les participants (crédits photo : Marie Patinet).....	27
Figure 7 Workshop organisé à ICAIS le 22 avril 2022 (crédits photo : Marie Patinet).....	28
Figure 8 Matrice des impacts des méthodes de gestion sur les services écosystémiques après 1 an. Les couleurs des cellules vont de rouge (impact négatif minimum de -2) à vert foncé (impact positif maximum de +2) en passant par le jaune (impact nul). PA = Plantes aquatiques, PT = plantes terrestres, E = écrevisses.....	36
Figure 9 Matrice des impacts des méthodes de gestion sur les services écosystémiques après 5 ans. Les couleurs des cellules vont de rouge (impact négatif minimum de -2) à vert foncé (impact positif maximum de +2) en passant par le jaune (impact nul). PA = Plantes aquatiques, PT = plantes terrestres, E = écrevisses.....	37
Figure 10 Graphique en barre de la moyenne des impacts sur les services écosystémiques par catégories de SE des méthodes de gestion des plantes aquatiques.....	38
Figure 11 Graphique en barre de la somme des impacts sur les SE des méthodes de gestion des plantes terrestres	39
Figure 12 Graphique en barre de la moyenne des impacts sur les SE des méthodes de gestion des écrevisses	39
Figure 13 Répartition du niveau de connaissance des évaluateurs.....	40
Figure 14 Histogramme du nombre de cellules des matrices d'impact sur les SE en fonction de classes d'écart-type	40
Figure 15 Degré de certitude selon Jacobs et al., 2015 (ET = Écart-type de la cellule de la matrice et NC = Niveau de connaissance moyen de la cellule par les experts).....	40
Figure 16 Matrice du nombre d'évaluation par cellules de la matrice des impacts des méthodes sur les services écosystémiques après 1 an. Les couleurs représentent le degré de certitude selon l'échelle de l'IPBES : très faible (rouge), faible (orange), moyen (jaune), élevé (vert clair), très élevé (vert foncé). Les * signifient que le niveau d'accord est minimum. PA = Plantes aquatiques, PT = plantes terrestres, E = écrevisses.....	41
Figure 18 Matrice du nombre d'éva.....	42
Figure 17 Matrice du nombre d'évaluation par cellules de la matrice des impacts des méthodes sur les services écosystémiques après 5 ans. Les couleurs représentent le degré de certitude selon l'échelle de l'IPBES : très faible (rouge), faible (orange), moyen (jaune), élevé (vert clair), très élevé (vert foncé). Les * signifient que le niveau d'accord est minimum. PA = Plantes aquatiques, PT = plantes terrestres, E = écrevisses.....	42

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Impacts des méthodes de gestion des espèces exotiques envahissantes de plantes aquatiques.....	11
Tableau 2 Impacts des méthodes de gestion des espèces exotiques envahissantes de plantes terrestres.....	12
Tableau 3 Impacts des méthodes de gestion des espèces exotiques envahissantes d'écrevisses.....	13
Tableau 4 Méthodes de gestion des plantes aquatiques et leur descriptif.....	20
Tableau 5 Méthodes de gestion des plantes terrestres et leur descriptif.....	22
Tableau 6 Méthodes de gestion des écrevisses et leur descriptif.....	23
Tableau 7 Services écosystémiques de la CICES version 4.3 non évalués après concertation avec les experts, gestionnaires et parties prenantes du projet LIFE RIPARIAS lors de la journée d'étude du 25 mars 2022. Les cases des services non-évalués sont noircies.....	24
Tableau 8 Possibilités de réponses pour les services écosystémiques.....	25
Tableau 9 Représentation des matrices d'évaluation de l'enquête en ligne.....	29
Tableau 10 Degré de certitude selon Jacobs et al., 2015.....	31
Tableau 11 Coefficient alpha de Krippendorff et ICC (2, k) pour l'enquête générale et séparément pour les méthodes de gestion des plantes aquatiques, des plantes terrestres et des écrevisses.....	34
Tableau 12 Nombre de réponses moyennes, minimum et maximum pour les cellules des matrices de services écosystémiques de plantes aquatiques, des plantes terrestres et des écrevisses.....	34

ABREVIATIONS

CICES	Common International Classification of Ecosystem Services
EEE	Espèce exotique envahissante
ICAIS	International Conference on Aquatic Invasive Species
ICC	Intraclass correlation coefficient
IPBES	Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services
IRR	Inter-rater reliability (fiabilité entre évaluateurs)
ISSG	Invasive Species Specialist Group
IUCN	International Union for Conservation of Nature
MEA	Millenium Ecosystem Assessment
SE	Services écosystémiques

1. INTRODUCTION :

Les invasions biologiques ne cessent de se multiplier les dernières années en lien avec l'émergence d'un monde toujours plus connecté et doté d'une population croissante (Pyšek et al., 2020). Depuis les grandes explorations de la fin du 15^{ème} siècle (Voorhies, 2002), certaines barrières qui avaient jusque-là isolé les continents et le monde du vivant qui y était proprement associé ont été brisées avec des conséquences sur les échanges biotiques mondiaux (Mooney and Cleland, 2001). Si ces échanges étaient minoritaires au début, ils n'ont cessé de croître en lien avec l'évolution des sociétés humaines, notamment avec les innovations technologiques et le développement des moyens de communication à longue distance (Vanderhoeven, 2007). Les dernières décennies ont alors été particulièrement marquantes à la suite de la globalisation et du développement de nouveaux produits, marchés et routes d'échanges facilitant la circulation de nouvelles espèces exotiques potentiellement envahissantes (Meyerson et al., 2007).

Face à cette menace grandissante, la mise en place de méthodes de gestion des espèces exotiques envahissantes a aussi crû, en lien avec la croissance du nombre d'invasions biologiques ainsi qu'avec la prise de conscience et le développement général de l'étude des espèces exotiques envahissantes comme une discipline à part entière de l'écologie depuis les années 80 (Pyšek et al., 2004). Si les premières méthodes de gestion étaient plutôt des interventions locales improvisées, sur base des connaissances de l'espèce ciblée et du matériel disponible, elles ont évolué jusqu'à aujourd'hui grâce aux discussions entre différents gestionnaires et partenaires scientifiques (Dutartre et al., 2012).

Le projet LIFE RIPARIAS, qui s'inscrit dans ce contexte, vise alors à atteindre une gestion intégrée et rapide des espèces exotiques envahissantes. Ce projet multirégional cofinancé par l'Union européenne a débuté le 1^{er} janvier 2021 et associe différents partenaires belges actifs dans le domaine de l'environnement pour une durée de 6 ans. Les objectifs poursuivis sont notamment l'amélioration de la surveillance des EEE en vue d'une éradication rapide des espèces émergentes et d'une optimisation du contrôle pour les espèces déjà bien installées. Il vise également à évaluer l'efficacité des actions de gestion entreprises, à élaborer des directives claires pour déterminer les actions de gestion prioritaires et à agir contre les EEE de plantes aquatiques, de plantes terrestres et d'écrevisses de la zone pilote du projet. Cette dernière étant constituée des bassins versants de la Dyle, de la Senne et de la Marcq en Belgique.

Ce travail vise finalement à évaluer les impacts des méthodes de gestion potentiellement mises en place dans le cadre du projet LIFE RIPARIAS. L'approche utilisée étant celle des services écosystémiques.

Plusieurs définitions des espèces exotiques envahissantes soulignent de fait leurs impacts sur les services écosystémiques (Sarat et al, 2015). Les méthodes de gestion ont alors pour but de récupérer un maximum de SE par l'élimination ou le contrôle de l'espèce exotique envahissante ciblée et la restauration du milieu (Varray et al., 2018). Il n'existe pourtant que peu d'évaluation des services écosystémiques sur une même échelle pour les espèces exotiques envahissantes et encore moins, ou pas du tout d'évaluations, pour les méthodes qui permettent de gérer ces espèces. Il était donc pertinent, voire nécessaire, de donner une idée plus précise des impacts des méthodes de gestion sur les services écosystémiques afin d'optimiser la mise en place d'actions sur le terrain.

2. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Ce chapitre abordera respectivement les espèces exotiques envahissantes, leur gestion, la perception de la gestion par leur grand public et les services écosystémiques.

2.1. LES ESPÈCES EXOTIQUES ENVAHISSANTES

La *figure 1* représente un certain nombre de barrières à traverser avant qu'une espèce soit considérée comme envahissante (Richardson et al., 2000). Lorsqu'une espèce est introduite dans un nouvel environnement, celle-ci traverse la barrière géographique et devient une espèce exotique. Une *espèce exotique* ou *allochtone* ou *non-indigène* étant une espèce introduite accidentellement ou volontairement par l'Homme hors de son aire de répartition d'origine (IUCN France, 2015 ; Pyšek et al., 2004 ; Richardson et al., 2000).

Si cette espèce parvient à se développer et à survivre sans interventions humaines, il est fait référence d'espèce exotique acclimatée. Si les conditions écologiques du milieu d'accueil lui permettent de se reproduire et de s'implanter durablement en dépit de toutes interventions humaines, l'espèce traverse alors la barrière de la reproduction et est dite naturalisée (Monty, 2020 ; Sarat et al., 2015). Enfin, dans le cas où elle se disperse et colonise des environnements perturbés ou non, l'espèce peut être considérée comme une EEE. La barrière du milieu naturel représente alors les milieux dont les niches écologiques sont occupées et où la diversité biologique ne permet pas toujours une invasion (Monty, 2020 ; Jacquemart et al., 2009 ; Richardson et al., 2000).

Une *espèce exotique envahissante* (EEE) ou *espèce invasive*, est finalement définie comme une espèce exotique, capable de se disperser et de se reproduire sans interventions humaines et dont l'introduction, l'implantation et la propagation impactent l'environnement. Ces impacts visent les écosystèmes, les habitats et les espèces indigènes avec des conséquences variables sur l'économie, le bien-être et la santé humaine, ou encore sur les services rendus par l'environnement (Pyšek et al., 2020 ; Sarat et al., 2015 ; IUCN, 2000).

Ces impacts et nuisances causées peuvent être séparées en deux catégories. Il y a les nuisances directement apportées par l'espèce, par exemple si elle est vectrice d'allergies, et il y a les nuisances indirectes qui sont dues à une perte de services écosystémiques rendus par le milieu à cause de l'arrivée de l'espèce (Vaz et al., 2017). Parmi les menaces les plus courantes se retrouvent : l'homogénéisation de la flore mondiale, la compétition avec les espèces locales, la modification des écosystèmes avec des conséquences sur les services écosystémiques, des effets génétiques, des nuisances pour l'Homme ou encore des risques sanitaires (Monty, 2020 ; Varray et al., 2018 ; IUCN France, 2015 ; Sarat et al., 2015 ; Shackleton et al., 2019). Si les impacts négatifs que peuvent avoir les espèces exotiques envahissantes ne sont plus à démontrer, il existe peu d'études qui visent à montrer les aspects positifs ou neutres qu'elles peuvent avoir sur l'environnement, or elles en ont (Vimercati et al., 2020). Certaines espèces exotiques envahissantes d'arbres ont par exemple été

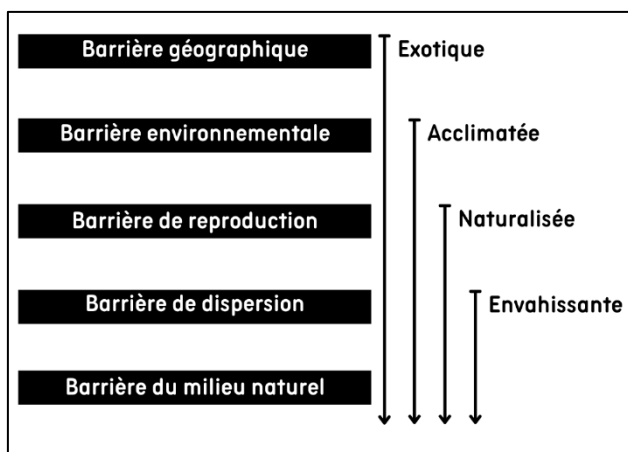


Figure 1 Les barrières aux invasions biologiques : évolution du lexique. D'après Richardson et al., 2020.

initialement introduites en vue d'améliorer la production de bois et d'autres produits dérivés (Castro-Díez, 2019). La truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*), originaire des États-Unis, a été largement introduite en dehors de son aire de répartition naturelle pour la pêche (Woodford et al., 2016) et est maintenant devenue une des 100 espèces les plus préoccupantes parmi les EEE par l'Invasive Species Specialist Group (CABI, 2018). Les EEE ont donc parfois indéniablement des impacts positifs qu'il faut considérer pour comprendre la gestion et ces enjeux.

Une autre manière de voir les impacts des EEE est aussi possible par le biais des services écosystémiques. Quelques études ont en effet déjà évalué les impacts de certaines EEE sur les services écosystémiques. Ces évaluations prennent plusieurs formes, parfois celle d'une citation des services plus ou moins impactés (Branquart et al., 2013 ; Vaz et al., 2017 ; Gallardo et al., 2019), ou parfois celle d'une évaluation de tous les services, impactés ou non (Van Winckel, 2015). Plusieurs études mentionnent également des protocoles, des bonnes pratiques ou des exemples pour évaluer les impacts sur les services écosystémiques de certaines espèces EEE (Martinez-Cillero et al., 2019 ; Eviner et al., 2012 ; Vaz et al., 2017 ; Fedele et al., 2019 ; Gallardo et al., 2019 ; Binimelis et al., 2007).

2.2. LA GESTION DES ESPÈCES EXOTIQUES ENVAHISSANTES

La gestion des espèces exotiques envahissantes comprend à la fois de la prévention, de la surveillance et la mise en place d'actions de lutte visant soit l'éradication des populations soit le contrôle de celles-ci (Wittenberg et al., 2001). Les espèces exotiques envahissantes étant une menace pour les écosystèmes partout dans le monde (Pyšek et al., 2020), la mise en place de méthodes de gestion pour réduire leurs impacts est également une réalité globale. S'il persiste des différences entre pays concernant les méthodes mises en place pour gérer les EEE, notamment pour des raisons légales, la concertation internationale uniformise peu à peu les actions mises en place et les bonnes pratiques. Il est en effet courant que des experts de la biologie de la conservation ou des gestionnaires travaillent ensemble pour réunir leurs connaissances et leurs expériences sous forme d'ouvrages (Hauray et al., 2020 ; Sarat et al., 2015 ; Wittenberg et al., 2001), lors de convention comme l'International Conference on Aquatic Invasive Species (ICAIS, 2022) ou encore grâce à des partenariats tel que le projet LIFE RIPARIAS.

Les méthodes de gestion des espèces exotiques envahissantes restent tout de même nombreuses, avec des objectifs, des coûts de mise en place, des efficacités ainsi que des impacts sur l'environnement différents (Varray et al., 2018). C'est pourquoi la planification d'une action nécessite habituellement de passer par la réalisation d'une série d'étapes afin d'identifier la meilleure méthode. La première étape concerne l'état des lieux et comprend la compilation d'informations bibliographiques et de données de terrain. Il faut alors définir la nature et le stade de l'invasion, identifier les enjeux du site à gérer, décrire les impacts actuels et potentiels... Ensuite peut débiter l'élaboration de la stratégie de gestion qui va évaluer les enjeux et les risques qui justifient la mise en place de la gestion, définir les objectifs, et créer un plan d'action (Varray et al., 2018). Ce dernier étant en général plus efficace quand il intègre et informe la population (Sharp et al., 2011).

Si la planification d'une action se fait globalement de la même manière pour gérer des EEE de plantes aquatiques, de plantes terrestres ou d'écrevisses, les méthodes envisageables pour parvenir à l'éradication ou au contrôle ne sont pas les mêmes.

2.2.1. Les plantes aquatiques

Les plantes aquatiques peuvent se reproduire à partir de la fragmentation végétative et/ou de graines selon les espèces. Hussner (2017) propose une séparation en trois catégories (*figure 2*) ; les plantes aquatiques enracinées dans les sédiments avec des feuilles flottantes et/ou immergées, les plantes aquatiques enracinées ou non et aux feuilles immergées, les plantes aquatiques flottantes. Ces catégories affectant la capacité des méthodes de gestion à être efficaces.

Il existe ensuite une multitude de type d'habitats aquatiques qui vont également influencer l'efficacité des méthodes de gestion (Hussner et al., 2017), une distinction pouvant par exemple être faite entre les eaux stagnantes et les eaux courantes. Les eaux courantes favorisant à la fois la dispersion par la fragmentation des végétaux (Durand et al., 2016) et par les graines qui peuvent se maintenir en dormance dans les sédiments durant des années (Hofstra et al., 1999).

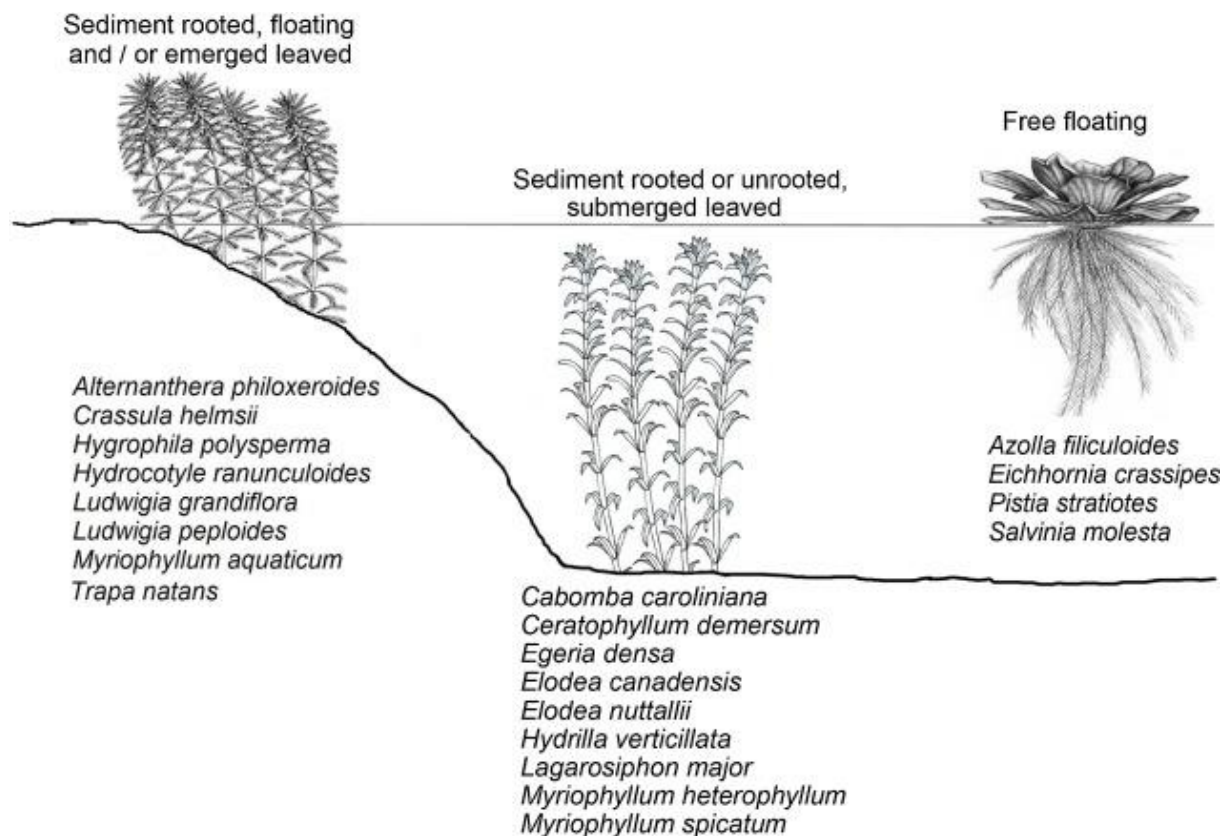


Figure 2 Les différentes formes de plantes aquatiques exotiques envahissantes (d'après Hussner et al., 2017)

Les méthodes de gestion qui reviennent le plus dans la littérature pour gérer les EEE de plantes aquatiques sont l'introduction d'herbivores, l'introduction de pathogènes, les biocides, l'arrachage manuel, l'arrachage mécanique, l'assèchement, la privation de lumière, la remise en suspension et le retrait de substrat (Crepin, 2021). Ces dernières ayant des coûts, des efficacités et des impacts variables selon l'espèce aquatique ciblée ou selon le contexte d'application.

Le *tableau 1* aborde de manière non exhaustive les dégâts potentiels des différentes actions de gestion possibles. Il est par exemple reconnu que certaines méthodes comme les mises en assec ont des impacts importants sur la sédimentation, ainsi que sur le milieu et les espèces indigènes qui peuvent encore s'y trouver. Les interventions mécaniques sont également traumatisantes pour les milieux et affectent les organismes vivants, la qualité de l'eau par de la remise en suspension momentanée de particules ainsi que les sols par compaction selon les machines utilisées. D'autres méthodes comme l'arrachage manuel sont en revanche beaucoup plus sélectives avec des

perturbations du milieu très faibles. Enfin, l'utilisation de la plupart des biocides est encadrée, limitée ou interdite en Belgique (voir le règlement UE 528/2012 concernant la mise à disposition sur le marché et l'utilisation des produits biocides¹, l'arrêté royal relatif à la mise à disposition sur le marché et à l'utilisation des produits biocides²). La raison de ces réglementations étant des impacts environnementaux réputés destructeurs sur les communautés vivantes non ciblées, dont les humains, ou sur la qualité des eaux par leur contamination.

Tableau 1 Impacts des méthodes de gestion des espèces exotiques envahissantes de plantes aquatiques

	Impacts potentiels
Privation de lumière	Peut rétablir la concurrence par les indigènes tout comme favoriser les espèces les plus compétitives au détriment des indigènes (Varray et al., 2018).
Arrachage manuel	Très sélective et impacte peu le milieu (Varray et al., 2018 ; Haury et al., 2010 ; IUCN, 2015).
Arrachage mécanique	Peut conduire à la perte d'habitats ou d'espèces, à la remise en suspension de sédiments en plus d'être peu sélective (Varray et al., 2018 ; IUCN, 2015). Perturbations du milieu (Fernandez, 2013). Compaction des sols lors de l'utilisation de machines terrestres (Adriaens et al., 2018).
Introduction de carpes herbivores stériles	Peut impacter les organismes vivants natifs (Adriaens et al., 2018). Peut changer la chimie des sédiments (Pípalová, 2006).
Retrait de substrat : curage mécanique	Perte des fonctionnalités du milieu aquatique comme la capacité hydraulique ou biotique. Le milieu devient peu accueillant pour la faune et la flore benthique (Varray et al., 2018 ; Haury et al., 2010).
Comblement d'étangs et changement de l'habitat	Très fortes perturbations du milieu (IUCN, 2015).
Biocides	Très toxiques pour les communautés vivantes non ciblées en plus de contaminer et d'altérer la qualité des eaux (Sarat et al., 2015)

¹ Règlement (UE) No 528/2012 du parlement européen et du conseil du 22 mai 2012

² Arrêté royal du 4 avril 2019

2.2.2. Les plantes terrestres

Lors de la gestion de plantes exotiques envahissantes terrestres, il convient de faire particulièrement attention à la manière dont la gestion sera réalisée afin de ne pas propager l'EEE ciblée par ses graines, rhizomes ou fragments de tiges (Halford, 2009). Le stockage et la destruction des résidus fait donc partie intégrante de la gestion.

Les méthodes citées dans la littérature pour gérer les espèces exotiques envahissantes de plantes terrestres sont l'arrachage manuel, l'arrachage mécanique, la fauche/coupe, la débroussailleuse l'introduction d'herbivores ou pâturage, le bâchage, le brulis, les biocides ou tout autres moyens de lutte (IUCN, 2016 ; Halford et al., 2009).

Le *tableau 2* permet d'illustrer de manière non exhaustive les impacts environnementaux potentiels de certaines de ces méthodes de gestion. Pour rappel, l'utilisation de la plupart des biocides est encadrée, limitée ou interdite en Belgique.

Tableau 2 Impacts des méthodes de gestion des espèces exotiques envahissantes de plantes terrestres

	Impacts potentiels
Arrachage manuel	Très sélective et impacte peu le milieu (Varray et al., 2018 ; Haury et al., 2010 ; IUCN, 2015).
Labour ou fauche mécanique	Perturbations du milieu (Fernandez, 2013).
Débroussailleuse	Peut rétablir la concurrence par les indigènes tout comme favoriser les espèces les plus compétitives au détriment des indigènes (IUCN, 2015).
Introduction d'herbivores	Peut favoriser le bouturage (Fernandez, 2013)
Biocides	Affecte la biodiversité et la santé humaine (Tassin, 2017). Peut affecter la vitesse de transformation de la litière (Subich et Vilalta, 2013)

2.2.3. Les écrevisses

Les EEE d'écrevisses sont pour la plupart caractérisées par une fécondité élevée, une croissance rapide, et une maturité atteinte à une petite taille. Leur capacité à se reproduire et à se disperser, couplée aux difficultés rencontrées pour les détecter dans leur environnement rend leur éradication et leur contrôle compliqué et coûteux (Gherardi et al., 2017). Une difficulté supplémentaire pour leur gestion réside dans le fait que certaines espèces d'écrevisses, comme *Procambarus clarkii* (Girard), sont capables de vivre en dehors de l'eau, par exemple dans un terrier ou dans une zone humide, pendant des périodes assez longues allant jusqu'à plusieurs mois (Krieg et al., 2020 ; Gherardi et al., 2011).

Les méthodes les plus citées dans la littérature pour les gérer sont l'introduction de pathogènes ou de parasites, l'introduction de prédateurs, les biocides, l'assèchement ou le drainage temporaire, la pêche au filet, la pêche électrique, les pièges appâtés et non appâtés ainsi que la stérilisation des mâles (Crepin, 2021 ; Krieg et al., 2020 ; Piazza et al., 2015).

Le *tableau 3* permet de montrer de manière non exhaustive les impacts environnementaux les plus cités pour ces méthodes. Pour rappel, l'utilisation de la plupart des biocides est encadrée, limitée ou interdite en Belgique.

Tableau 3 Impacts des méthodes de gestion des espèces exotiques envahissantes d'écrevisses

	Impacts potentiels
Pièges appâtés ou non	Méthode partiellement sélective et respectueuse de l'environnement (Varray et al., 2018 ; Adriaens et al., 2018).
Assèchement/ drainage temporaire	Très impactant pour la biocénose, les sédiments et le milieu (Varray et al., 2018 ; Haury et al., 2010).
Introduction ou renforcement des populations de poissons prédateurs indigènes	Peut impacter les organismes vivants natifs (Adriaens et al., 2018), notamment les populations d'amphibiens (Krieg et al., 2020)
Biocides	Contamination d'autres espèces non ciblées (Sarat et al., 2015). Affecte la biodiversité et la santé humaine (Tassin, 2017).
Stérilisation des mâles adultes	Ne cause pas de contaminations environnementales et n'a pas d'impacts indésirables (Gherardi et al., 2011)

2.2.4. Intégration des méthodes de gestion et rôle du grand public

Il est finalement important d'insister sur le fait que la perception des espèces exotiques envahissantes et de leurs avantages ou impacts diverge au sein de la population et peut négativement se répercuter sur les actions de gestion. Il existe en effet une compréhension générale différente du terme d'espèce exotique, et donc indirectement du terme d'espèce exotique envahissante, par le grand public et les experts de la conservation (Kapitza et al., 2019). Les connaissances que la population a à propos d'une EEE et de ses potentiels impacts influence son comportement et sa capacité ou volonté à agir, affectant la gestion globale de l'espèce (Shackleton et al., 2019 ; Crowley et al., 2017). Il est par exemple reconnu que les pépinières sont des points d'entrée importants pour l'introduction et la dispersion des plantes exotiques envahissantes (Cronin et al., 2017 ; Mayer et al., 2017). La non-information du grand public se rendant en pépinière pour acheter des plantes, combinée à des négligences volontaires ou accidentelles concernant les réglementations et les interdictions de vendre des EEE (Cronin et al., 2017) exemplifie bien le rôle que peut jouer le public dans l'efficacité de la gestion de ces dernières.

De plus, il a été démontré que la préférence pour certains aspects physiques d'EEE de la faune ou de la flore peut perturber l'opinion de la population et son approbation concernant l'éradication. Une plante avec des atouts décoratifs pour le jardin ou la nature, par exemple parce qu'elle a de belles fleurs, sera parfois acceptée et bien perçue malgré son caractère invasif. Ce phénomène a notamment pu être observé pour *Impatiens glandulifera* dans de nombreux pays lors de son introduction et avant de connaître les dégâts que cette plante pouvait induire (Jernelöv, 2017). Le capital sympathie d'une espèce exotique envahissante comme l'écureuil gris (*Sciurus carolinensis*) ou le raton laveur (*Procyon lotor*) peut aussi réduire la volonté du grand public à participer à la gestion (Shackleton et al., 2019 ; Fabry, 2017). L'opposition des citoyens pouvant se manifester par une collaboration faible pour localiser les individus, par des rassemblements ou encore du vandalisme sur les pièges (Bertolino, 2019). La sensibilisation de la population est donc indispensable pour gérer efficacement les EEE (García-Llorente et al., 2011), et ce particulièrement pour des espèces qui sont potentiellement appréciées du grand public.

2.3. LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

2.3.1. Notions

Les services écosystémiques ont bénéficié de différentes définitions, typologies et appellations au cours des vingt-cinq dernières années. En 1997, Daily G.C. les définit comme étant les conditions et les processus à travers lesquels les écosystèmes naturels, et les espèces qui les composent, soutiennent et supportent la vie humaine. Plus tard, en 2002, de Groot et al. utilisent plutôt le concept de fonctions de l'écosystème. En 2005 sort alors le Millenium Ecosystem Assessment (MEA), un rapport demandé par l'Organisation des Nations Unies. Ce dernier identifie différents services qui bénéficient à l'homme et les séparent dans les catégories suivantes : production, régulation, culture, support. Après plusieurs années d'évolution, paraît en 2013 la version 4.3 de la CICES, référentiel de 47 services sous forme hiérarchique proposé par Haines-Young et Potschin. Cette typologie étant parfois adaptée, notamment en Belgique sous le nom de Wal-ES. Enfin, en 2018, l'IPBES propose sur base d'arguments variés (Diaz et al., 2018) et plus ou moins défendables (Kenter et al., 2018 ; Ellis et al., 2019) de renommer les services écosystémiques par les contributions de la nature à l'Homme. Si la liste des différentes typologies et appellations présentée ci-avant n'est pas exhaustive, elle démontre bien qu'il est important de définir la façon dont les services écosystémiques seront abordés ensuite.

La typologie qui sera utilisée dans ce travail sera celle de la version 4.3 de la CICES. Cette dernière, illustrée par Potschin et Haines-Young sous le nom de cascade des services écosystémiques, fonctionne de la manière suivante. Les services de support ou les fonctions écologiques sont ici à la base des processus qui donnent naissance aux services écosystémiques (CICES, 2022). Ces derniers vont ensuite contribuer au bien-être humain en leur fournissant directement ou indirectement des biens et des bénéfices. Ces biens et bénéfices pouvant ensuite être évalués selon des processus développés dans le prochain chapitre.

La version 4.3 de la CICES se structure de la manière suivante (*figure 3*). Il y a tout d'abord les sections qui reprennent les trois catégories principales de services écosystémiques, à savoir les services de production, de régulation et culturels. Il y a ensuite les divisions, qui reprennent des processus ou des grands types de productions comme la nourriture ou l'énergie. Les divisions se séparent alors en 20 groupes qui se subdivisent eux-mêmes en 47 classes puis en types de classes, ces derniers donnant des indications sur les moyens de mesurer les classes (Haines-Young et Potschin, 2012).

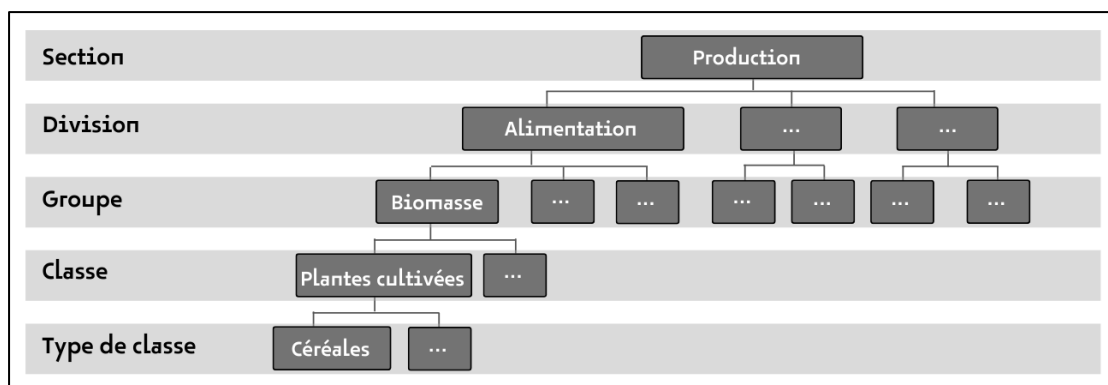


Figure 3 Structure hiérarchique de la CICES version 4.3 d'après Haines-Young et Potschin, 2012

En plus des descriptions, il est intéressant d'analyser ce que représentent ces services et les échelles de leur application (Campagne, 2018). Les services de production ont en effet une application plutôt locale, avec une capacité à fournir de l'eau, de la nourriture ou autre au niveau d'un champ ou d'une mare par exemple. Les services de régulations peuvent eux être intégrés à des niveaux allant du local pour la régulation de la composition des sols à des niveaux régionaux voir globaux pour la régulation

climatique. Les services culturels s'inscrivent enfin aussi bien à des niveaux locaux, par exemple grâce aux bénéfices d'un bois ou d'un parc pour les loisirs, qu'à des niveaux beaucoup plus globaux, par exemple avec la conservation d'une espèce emblématique. Cette échelle d'application des services est importante pour comprendre et interpréter les impacts des méthodes de gestion sur les SE qui seront développés dans la suite de ce travail.

2.3.2. Avantages des services écosystémiques et apports dans une analyse de risque

Du point de vue de la biologie de la conservation, il est pertinent de se poser la question « Quel est l'apport des services écosystémiques ? » lorsqu'il faut choisir une méthode de gestion pour une espèce exotique envahissante. De nombreuses publications ont montré que les services écosystémiques représentaient un concept à grand potentiel pour mieux gérer les espaces naturels et les ressources qui y sont associées (Jacobs et al., 2015 ; Abson et al., 2014 ; Müller et al., 2010 ; MEA, 2005 ; Costanza et Folke, 1997). Les évaluations de services écosystémiques sont également des indicateurs très utiles dans les prises de décisions, notamment politiques, concernant la biodiversité de la conservation, la gestion des ressources naturelles ou l'aménagement du territoire (Dufrêne, 2020 ; van Oudenhoven et al., 2018 ; Ingram et al., 2012).

Elles constituent de plus une approche complémentaire aux outils traditionnels, permettant notamment de mieux cerner l'équilibre entre besoins humains et subsistance des systèmes naturels. Si bien utilisés, les services écosystémiques constituent finalement un véritable avantage dans certains processus décisionnels, que ce soit à un niveau local ou global (Ranganathan et al., 2008). Il faut cependant être prudent car les services écosystémiques ont tendance à sous-estimer l'importance de certaines espèces, écosystèmes ou processus écologiques (Ingram et al., 2012), d'où son rôle d'approche complémentaire à une analyse de risque, par exemple dans le cadre de la gestion des espèces exotiques envahissantes.

Il existe également d'autres limites dans les approches méthodologiques évaluant les services écosystémiques. Tout d'abord, la présentation des services écosystémiques sous forme de liste donne l'impression qu'ils peuvent tous être rendus en même temps, alors que dans bien des situations, il s'agit plutôt d'une capacité à fournir différents services sans que ceux-ci puissent automatiquement tous être rendus totalement selon la gestion de l'écosystème (Turkelboom et al., 2018). Il y a ensuite d'autres biais qui peuvent se présenter dans l'utilisation des services écosystémiques, notamment à cause de l'hétérogénéité spatiale d'un espace appartenant à un type d'écosystème (Jacobs et al., 2015) ou à cause de la généralisation plus ou moins importante du type d'écosystème dont les services sont évalués (Campagne et Roche, 2019). Les services écosystémiques fournis par une forêt seront par exemple différents des services écosystémiques fournis par une forêt de feuillus ou une forêt de conifères. Il existe enfin des interactions entre services écosystémiques qui peuvent être compliquées à intégrer dans une matrice de services écosystémiques (Mouchet et al., 2014). Ces interactions se traduisant par exemple par l'augmentation d'un service en lien avec l'augmentation/diminution d'un ou d'autres services ou par la diminution d'un service en lien avec l'augmentation/diminution d'un ou d'autres services.

Les limites présentées ci-avant ne signifient pas que les évaluations des SE ne sont pas pertinentes, tout dépend en effet de ce à quoi elles sont destinées et comment elles seront utilisées. Certaines de ces limites ne s'appliqueront de plus pas à l'évaluation des impacts des méthodes de gestion sur les services écosystémiques. En avoir conscience permet cela dit de mieux percevoir les limites possibles de cette étude. La généralisation des écosystèmes pouvant par exemple s'apparenter aux généralisations réalisées pour les méthodes de gestion des espèces exotiques envahissantes évaluées.

2.3.3. Évaluation des services

La valeur attribuée à la biodiversité et à l'environnement en général va dépendre du point focal, plus ou moins anthropocentré, choisi (Jax et al., 2013). Il existe un grand nombre de méthodes qui permettent d'évaluer les services écosystémiques (Harrisson et al., 2018), avec des valeurs de services attribuées selon des procédures variées. Trois grands groupes peuvent être définis concernant les types de valeurs attribuées aux SE : les valeurs biophysiques, les valeurs sociales et les valeurs économiques (Barton et al., 2017). Les évaluations biophysiques sont obtenues à partir de données quantitatives, de mesure de flux, de capacité à fournir quantitativement un service (Dufrene, 2020). Les évaluations sociales sont obtenues à partir de la valeur que les différents acteurs de la société attribuent à chaque services écosystémiques (Felipe-Lucia et al., 2015). Ces derniers attribuant très certainement des valeurs en fonction de leurs sensibilités, de leurs expériences propres ou de leurs préférences (Martín-López et al., 2012). Les évaluations économiques sont quant à elles estimées à partir de la valeur monétaire potentielle d'usage ou de non-usage d'un service rendu, cette valeur pouvant être fixée par différentes méthodes (Feuillette et al., 2015).

Ces trois approches ne sont cependant pas toujours distinctes et plutôt chevauchantes (Burkhard et Maes, 2017). Dans ce travail par exemple, l'évaluation effectuée à partir des matrices de services écosystémiques remplies par des experts est de type hybride et s'approche d'une évaluation biophysique sans en être une. Les experts évaluent en effet les impacts sur la capacité à fournir les services écosystémiques, et les scores qu'ils établissent ont pour but d'être une estimation de la réalité. Il a d'ailleurs déjà été montré que les évaluations de services écosystémiques à partir de l'élicitation d'expert s'apparentaient aux résultats qui pouvaient être obtenus à partir de modèles biophysiques ou d'estimations quantitatives (Roche et Campagne, 2019). Certains services écosystémiques, notamment culturels, feront cependant automatiquement appel aux préférences des experts et amèneront l'évaluation dans une approche plus sociale.

Globalement, la réalisation d'une matrice sur base de l'élicitation d'experts peut se faire selon une méthodologie assez uniforme et proposée par Campagne et Roche en 2018. Il y a premièrement la phase préparatoire qui va permettre de fixer les services écosystémiques, l'échelle de score, les évaluateurs et les objets de l'évaluation, par exemple les écosystèmes ou les méthodes de gestion pour ce travail. Deuxièmement, il est conseillé d'organiser une journée d'étude. Celle-ci permet de vérifier la compréhension des objectifs et/ou de la matrice par les experts et les éventuelles parties prenantes. Il est ensuite nécessaire de poser certains choix qui vont orienter les résultats comme la manière de remplir la matrice ou le fait de réaliser une évaluation sur base d'une matrice déjà complétée ou vide. Enfin, il faut compiler les matrices, vérifier la pertinence et présenter les résultats (Campagne, 2018). Habituellement, les scores des différents experts sont condensés en réalisant la moyenne de ceux-ci, même si des tentatives d'utilisation de bootstrapping ou des méthodes Bayésiennes ont déjà été testées avec des résultats similaires (Campagne et al., 2017).

Il existe évidemment des limites aux matrices de services écosystémiques réalisées à partir de l'élicitation d'experts comme les variabilités liées à la subjectivité (Wolff et al., 2015) ainsi qu'au niveau de connaissance, à l'opinion ou à l'expérience personnelle des évaluateurs (Hou et al., 2013). La compréhension globale de l'évaluation qui est demandée aux experts est aussi une source possible de variabilité. Les méthodes faisant appel au jugement d'experts restent néanmoins efficaces pour fournir des estimations fiables concernant les services écosystémiques (Campagne, 2018), et ce malgré les compromis entre simplicité/complexité et précision/incertitude qu'elles augurent (Jacobs et al., 2015).

3. OBJECTIFS

Le premier objectif de ce travail est lié au projet LIFE RIPARIAS et vise la production de matrices évaluant l'impact de plusieurs méthodes de gestion des espèces exotiques envahissantes sur les services écosystémiques. Le second objectif a été défini en fonction du premier. Il s'agit de répondre à la question de recherche de ce travail de fin d'étude qui est « Quel est l'impact des méthodes de gestion des espèces exotiques envahissantes sur les services écosystémiques ? ». Afin d'atteindre ces deux objectifs, une adaptation des méthodes habituelles d'évaluation des services écosystémiques pour les écosystèmes a été réalisée. Il est important de préciser que les impacts plus ou moins négatifs des méthodes n'ont pas pour but de discréditer les plus négatives. Toutes les méthodes de gestion évaluées sont en effet déjà des bonnes pratiques, il s'agit donc simplement d'en améliorer la compréhension et d'avoir un outil supplémentaire pour identifier la meilleure à appliquer en fonction du contexte nécessitant une intervention.

4. MATÉRIEL ET MÉTHODE

4.1. ACQUISITION DES DONNÉES

La *figure 4* permet d'illustrer les différentes étapes qui ont marqué ce travail de fin d'étude. Il a premièrement fallu choisir les services écosystémiques, les méthodes de gestion et la structure de la matrice qui allait servir de base pour l'évaluation des SE. L'objectif était ensuite de réunir des parties prenantes et des experts de la gestion des espèces exotiques envahissantes ou des services écosystémiques lors d'une journée d'étude, afin d'identifier d'éventuelles failles ou manquements dans l'évaluation. Cette dernière a alors été améliorée et le protocole revu pour la conférence ICAIS, qui a permis d'avoir des retours internationaux et une dernière validation avant le lancement de l'enquête internationale en ligne. Finalement, les matrices ont pu être compilées et les résultats analysés puis mis en forme.

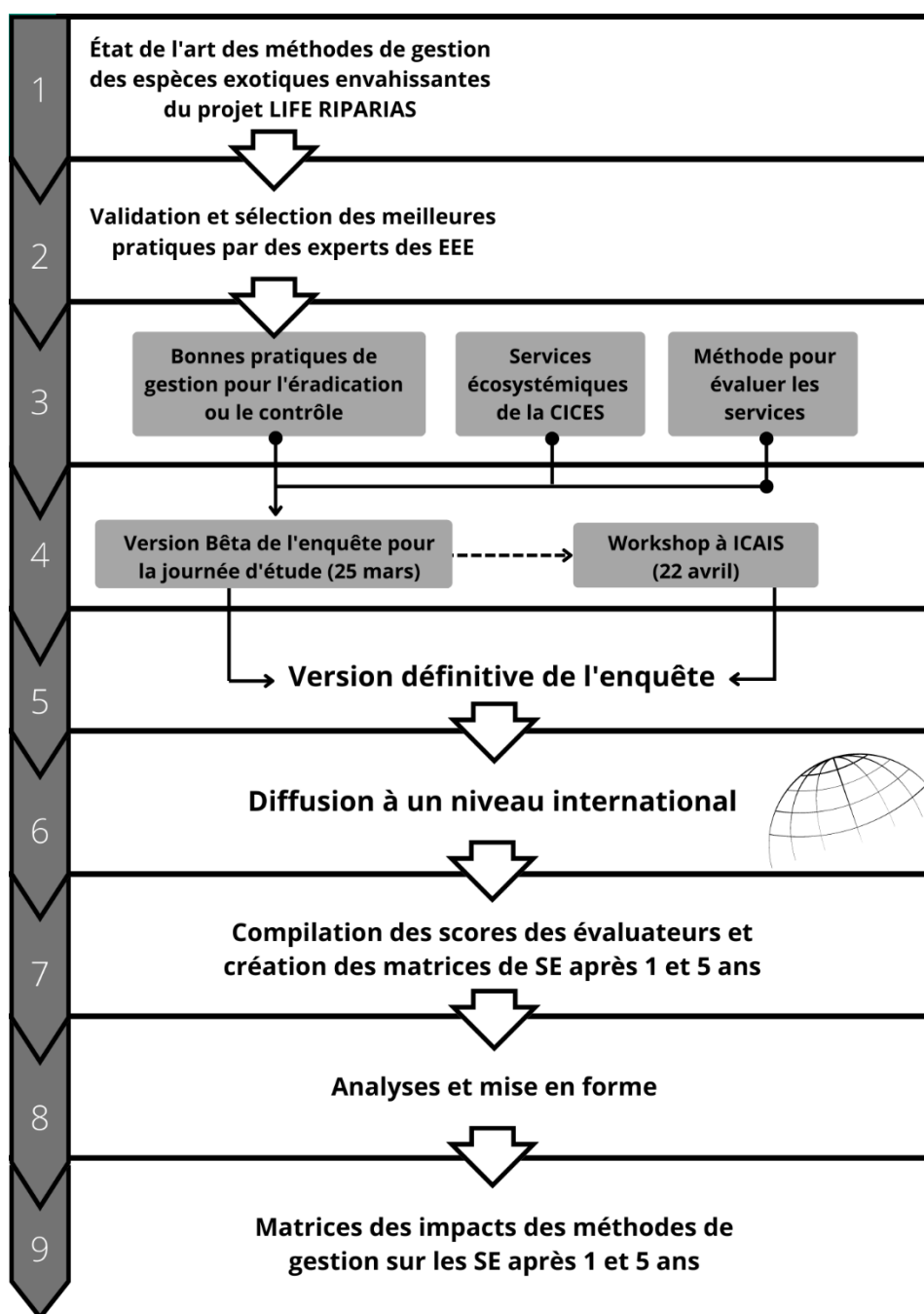


Figure 4 Méthodologie de l'enquête

4.1.1. Méthodes de gestion évaluées

Le projet LIFE RIPARIAS s'intéresse principalement à des espèces exotiques envahissantes liées aux milieux aquatiques ou aux berges en Belgique. Ces espèces peuvent être séparées dans trois catégories. Les espèces d'écrevisses : *Orconectes virilis* (Hagen), *Procambarus virginalis* (Lyko), *Procambarus clarkii* (Girard). Les espèces de plantes aquatiques : *Hydrocotyle ranunculoides* (Linnaeus filius, 1782), *Ludwigia spp.*, *Myriophyllum aquaticum* (Verdcourt, 1973), *Myriophyllum heterophyllum* (Michaux, 1803), *Cabomba caroliniana* (A. Gray, 1848), *Elodea spp.*, *Lagarosiphon major* (R. Moss, 1928). Les espèces de plantes terrestres : *Heracleum spp.*, *Impatiens glandulifera* (Royle, 1835). Il est important de préciser que si les méthodes de gestion évaluées dans ce travail ont été choisies sur base de ces espèces, elles ne sont absolument pas exclusives à ces dernières.

L'état des lieux des méthodes de gestion des espèces exotiques envahissantes ciblées par le projet LIFE RIPARIAS a été effectué à partir de la littérature scientifique lors d'un travail de fin d'étude (Crepin, 2021). Ce même travail a également été effectué pour la littérature grise. Les informations reprises étaient les suivantes ; l'espèce ciblée, l'option de gestion, la catégorie de méthode, si elle avait été testée sur le terrain, la description, l'efficacité, le coût, le domaine d'application, la période d'action et enfin la référence bibliographique. Cet état des lieux a ensuite servi de base afin d'identifier des bonnes pratiques de gestion avec des experts de la gestion des espèces exotiques envahissantes d'écrevisses ou de plantes. Si les bonnes pratiques de gestion concernent parfois les actions liées à la prévention et à la gestion avec le contrôle ou l'éradication de l'espèce (Mooney et al., 2005), les bonnes pratiques seront ici plutôt définies comme des méthodes permettant d'atteindre le contrôle ou l'éradication de l'espèce ciblée. Il va cependant de soi que la prévention est une bonne pratique à avoir en tant que gestionnaire, puisque comme le dit cette maxime bien connue de la médecine, mieux vaut prévenir que guérir, ce qui vaut également pour la gestion des espèces exotiques envahissantes. Les méthodes de gestion qui seront évaluées sont citées et décrites dans les *tableaux 4, 5 et 6* ci-dessous, respectivement pour les plantes aquatiques, les plantes terrestres et les écrevisses.

Tableau 4 Méthodes de gestion des plantes aquatiques et leur descriptif

Méthodes	Descriptif
Privation de lumière: couverture flottante	Description : des feuilles de PVC noires flottantes sont installées au-dessus des masses de végétaux pour empêcher la lumière d'atteindre l'espèce exotique envahissante traitée, limitant ainsi la croissance de la plante et empêchant la production de fleurs et de graines. Matériel : Couvertures plastiques noires ou bâches PVC noires. Pour les jussies: bâches en polyéthylène noires et opaques, aquascreen (fibre de verre enduite de PVC). Durée : 4 mois. Entretien manuel durant 3 ans. Objectif : éradication. Exemples d'espèce ciblée : <i>Ludwigia spp.</i> , <i>Cabomba caroliniana</i>
Privation de lumière: couverture de fond	Description : Une bâche (aussi connue sous le nom d'écran de fond, de barrière benthique) est posée sur le substrat dans le fond d'un plan d'eau, compressant les plantes aquatiques et bloquant les rayons du soleil. La bâche est déployée depuis un bateau à la surface de l'eau avant de couler dans le fond ou est placée directement dans le fond par des plongeurs. Matériel : Les matériaux possibles sont variés comme les bâches en jute décomposable, toile de jute, plastiques PVC, polyesters feutrés et synthétiques tissés, les géotextiles. Des produits tels que le « papier stabilisant » en fibre de verre, utilisés dans la construction routière, ont également été testés avec succès. Durée : 4 mois. Entretien manuel durant 3 ans. Objectif : éradication. Exemples d'espèce ciblée : <i>Lagarosiphon</i>

	<i>major, Cabomba caroliniana, Myriophyllum aquaticum, M. heterophyllum</i>
Arrachage manuel en milieu aquatique	Description : La méthode implique de retirer manuellement les plantes avec les racines, soit en pataugeant dans des eaux peu profondes, soit par le biais de plongeurs. Matériel : Pour la sécurité des opérateurs il est recommandé d'utiliser une bêche/houe, des gants, des cuissardes, voire une embarcation dans certaines conditions (boues, cariçaie, enfoncement dans la vase). Il est également conseillé d'utiliser un croc/grappin pour acheminer les résidus de gestion vers la berge ainsi qu'un outil coupant (serpe italienne) pour les matelas de végétaux denses. Durée : 3 ans. Objectif : éradication ou bon niveau de contrôle. Exemples d'espèce ciblée : <i>Ludwigia spp.</i> , <i>Lagarosiphon major</i> , <i>Cabomba caroliniana</i> , <i>Myriophyllum heterophyllum</i> , <i>M. aquaticum</i> , <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> .
Arrachage mécanique : machines flottantes	Description : déracinement mécanique et collecte des plantes à partir de machines. Matériel : godets faucardeurs, griffes installées sur des engins flottants, barge flottante munie d'une griffe/pince à végétaux, porte-outil amphibie, motoculteur aquatique, excavatrice mécanique, chalut attaché à une pelle hydraulique, bateau à fond plat équipé d'une fourche. Hydro-venturi. Durée : quelques jours. Entretien manuel durant 3 ans. Objectif : éradication ou bon niveau de contrôle. Exemples d'espèce ciblée : <i>Ludwigia spp.</i> , <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> , <i>Myriophyllum aquaticum</i> , <i>M. heterophyllum</i> .
Arrachage mécanique : machines terrestre	Description : Déracinement mécanique et ramassage des plantes avec des machines terrestres depuis les rives. Entretien manuel. Matériel : godets faucardeurs, griffes installées sur des engins terrestres, pelleteuse, herse sur une pelle mécanique, excavatrice mécanique. Durée : quelques jours. Entretien manuel durant 3 ans. Objectif : éradication ou bon niveau de contrôle. Exemples d'espèce ciblée : <i>Heracleum spp.</i> , <i>Impatiens glandulifera</i> , <i>Lysichiton americanus</i> .
Introduction de carpes herbivores stériles	Description : Introduction de carpes herbivores stériles dans un environnement clos et contrôlé. Entretien manuel. Matériel : Les carpes triploïdes d'une longueur de minimum 25 cm sont introduites à un taux de 30 à 60 individus par hectares végétalisés. Seuls les poissons pesant plus de 500 grammes consommeront des quantités importantes de végétaux. Durée : 2 à 3 ans. Entretien manuel durant 3 ans. Objectif : éradication ou bon niveau de contrôle. Exemples d'espèce ciblée : <i>Cabomba caroliniana</i> , <i>Lagarosiphon major</i> , <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> .
Retrait de substrat : curage mécanique	Description : Le curage est une forme de contrôle mécanique dans les cours d'eau pour enlever les sédiments du fond avec les racines, rhizomes ou toute autre partie de la plante exotique envahissante ciblée. L'utilisation d'un panier faucardeur permet de racler la couche superficielle molle des sédiments. Cette méthode est souvent précédée d'une mise en assec partielle ou totale. Matériel : Panier faucardeur, pelleteuse munie de bras articulés, bulldozers, pelleteuse godet... Durée : Deux fois par an durant 2 à 3 ans. Entretien manuel durant 3 ans. Objectif : éradication ou bon niveau de contrôle. Exemples d'espèce ciblée : <i>Ludwigia spp.</i> , <i>Cabomba caroliniana</i> , <i>Myriophyllum aquaticum</i>
Comblement d'étangs et changement de l'habitat	Description : Comblement d'un étang avec des machines. Des plantations et semis de plantes terrestres indigènes sont réalisés. Matériel : engins de chantier. Durée : permanente. Objectif : éradication. Exemples d'espèce ciblée : <i>Cabomba caroliniana</i> , <i>Lagarosiphon major</i> , <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> , <i>Ludwigia spp.</i> , <i>Myriophyllum aquaticum</i> , <i>Elodea spp.</i>

Tableau 5 Méthodes de gestion des plantes terrestres et leur descriptif

Méthode	Descriptif
Arrachage manuel	Description : Cette méthode regroupe la coupe sous le collet et l'arrachage manuel. La coupe sous le collet consiste à sectionner les racines à 15-20 cm sous la surface du sol, à l'aide d'une houe ou d'une bêche à bord tranchant. La plante sera ensuite extraite du sol (Berce). En ce qui concerne la balsamine, la plante entière est déracinée, fermement depuis la base si possible. La balsamine de l'Himalaya a un réseau racinaire relativement petit et peu profond qui est facilement retiré avec le reste de la plante. Matériel : Houe ou bêche à bord tranchant, brouettes, fourches, râtaux. Durée : 2 à 3 fois par an pendant minimum 3 ans. Objectif : éradication. Exemples d'espèce ciblée : <i>Heracleum spp.</i> , <i>Impatiens glandulifera</i> , <i>Lysichiton americanus</i>
Labour ou fauche mécanique	Description : Utilisation de machines agricoles pour détruire les plantes. Matériel : faucheuse mécanique, tracteur avec charrue, charrue, tondeuse, crochet, fléau, fourche, tondeuse à fléaux. Durée : 2 à 3 fois par an pendant minimum 3 ans. Objectif : contrôle. Exemples d'espèce ciblée :
Débroussailleuse	Description : Coupe des plantes au niveau du sol. Matériel : débroussailleuse. Durée : 3 fois par an durant 3 ans. Objectif : éradication. Exemples d'espèce ciblée : <i>Impatiens glandulifera</i>
Introduction d'herbivores	Description : Utilisation du bétail adapté pour brouter les plantes. Matériel : Moutons, vaches et chèvres principalement. Pour la gestion des berces, il faut choisir des animaux avec une peau pigmentée, qui ne subira pas ou peu les effets de la plante, comme les moutons à tête noire ou les bœufs Galloway. D'autres espèces animales conviennent également. Durée : permanente. Objectif : contrôle. Exemples d'espèce ciblée : <i>Heracleum spp.</i> , <i>Impatiens glandulifera</i>

Tableau 6 Méthodes de gestion des écrevisses et leur descriptif

Méthodes	Descriptif
Pièges appâtés ou non	Description : Utilisation de pièges adaptés (pièges en pyramide, coniques, à maille ...) ou de nasses régulièrement pour enlever autant d'individus que possible. Peu de prises d'autres espèces. Durée : permanent. Objectif : contrôle. Exemples d'espèce ciblée : <i>Faxonius virilis</i> , <i>Procambarus virginalis</i> , <i>Procambarus clarkii</i>
Pêche à la seine	Description : La pêche à la seine ou senne, consiste à utiliser une senne en nylon pour capturer les écrevisses pendant la journée. Deux individus tirent de courts traits de seine, sondant toute la végétation à l'aide de la senne. Les traits de seine mesurent en moyenne 30 m2. Si un grand nombre d'écrevisses sont capturées, la même zone est sillonnée à plusieurs reprises. Tous les poissons sont remis dans le courant. Technique à appliquer dans certains milieux comme les canaux ou étangs mais pas dans les rivières. Durée : quelques jours. Objectif : contrôle. Exemples d'espèce ciblée : <i>Faxonius virilis</i> , <i>Procambarus virginalis</i> , <i>Procambarus clarkii</i>
Drainage temporaire	Description : Les étangs sont drainés et/ou l'eau évacuée par pompage. Une barrière est installée autour des étangs pour éviter que les écrevisses s'enfuient vers d'autres plans d'eau et aussi faciliter la capture à la main après drainage. De la chaux vive peut être utilisée dans les poches d'eaux restantes, ou à l'entrée des terriers identifiés. Matériel : moine d'évacuation ou pompe (vidange) + barrière physique (bâche plastique) avec des seaux de ramassage. Chaux vive. Durée : 2 ans ou plus. Objectif : éradication. Exemples d'espèce ciblée : <i>Faxonius virilis</i> , <i>Procambarus virginalis</i> , <i>Procambarus clarkii</i>
Introduction ou renforcement des populations de poissons prédateurs indigènes	Description : Introduction ou renforcement des populations de perches, brochets, anguilles. Durée : permanent. Objectif : contrôle. Exemples d'espèce ciblée : <i>Faxonius virilis</i> , <i>Procambarus virginalis</i> , <i>Procambarus clarkii</i>

Il est important de préciser que les différents descriptifs ci-dessus sont indicatifs et assez généraux. Ils avaient en effet pour but d'aider les experts à se projeter dans des situations similaires et il est évident que les durées de mise en place ou le matériel utilisé peuvent varier. Il existe en plus de nombreuses situations où les méthodes appliquées sont combinées (Crepin, 2021), même si ces combinaisons ne sont pas abordées dans ce mémoire car elles sont multiples et difficiles à généraliser en vue d'une évaluation des impacts.

4.1.2. Services écosystémiques

La typologie de services écosystémique utilisée dans ce travail, comme il l'a déjà été évoqué précédemment, est la version 4.3 de la CICES. Le choix de la typologie de la CICES s'est rapidement montré comme un choix évident dans le cadre d'une enquête internationale. La version utilisée n'étant pas la plus récente pour des raisons de compatibilités liées au projet LIFE RIPARIAS. De plus, il a été décidé d'évaluer les services écosystémiques au niveau des 20 groupes et non des 47 classes, le niveau de précision des classes étant un peu trop élevé et peu pertinent au niveau de l'enquête, en plus d'augmenter grandement le temps qu'il aurait fallu pour les évaluateurs afin de compléter les matrices. Enfin, certains services écosystémiques ont été jugés non pertinents à évaluer en concertation avec les parties prenantes du projet LIFE RIPARIAS et des experts ou gestionnaires des EEE lors de la journée d'étude du 25 mars 2022. Il s'agit des SE dont les cases sont noircies dans le

tableau 7. Les raisons justifiant de retirer ces SE étaient majoritairement le manque de représentation d'une situation où les services pourraient être évalués et apporter quelque chose à l'enquête. L'objectif était également de réduire le nombre de services à évaluer lors de l'enquête pour ne pas décourager les participants.

Tableau 7 Services écosystémiques de la CICES version 4.3 non évalués après concertation avec les experts, gestionnaires et parties prenantes du projet LIFE RIPARIAS lors de la journée d'étude du 25 mars 2022. Les cases des services non-évalués sont noircies.

		Méthodes de gestion		
		Plantes aquatiques	Plantes terrestres	Écrevisses
Production	Biomasse pour l'alimentation			
	Eau potable			
	Biomasse comme matériaux			
	Eau			
	Production de sources d'énergie			
	Énergie mécanique			
Régulation	Régulation par les organismes vivants			
	Régulation par les écosystèmes			
	Régulation des flux de masse, contrôle des flux d'érosion			
	Régulation des flux hydrologiques : cycle de l'eau, protection aux inondations			
	Régulation des flux d'air : protection aux tempêtes, ventilation			
	Maintien des habitats et protection des gènes			
	Contrôles des maladies et des ravageurs			
	Composition et formation des sols			
	Qualité de l'eau			
	Composition atmosphérique et régulation du climat			
Culturel	Interactions physiques et expérimentales avec la faune/flore, les écosystèmes, le paysage			
	Interactions intellectuelles avec la faune/flore, les écosystèmes, les paysages			
	Interactions spirituelles, symboliques avec la faune/flore, les écosystèmes ou les paysages			
	Environnement comme source de bonheur et transmission aux générations futures			

4.1.3. Évaluation des impacts sur les services écosystémiques

L'évaluation des SE grâce à l'élicitation d'experts a pour avantage de faire converger les opinions selon les temporalités des méthodes, leur mise en place, leurs particularités tout en faisant appel au travail de généralisation des experts, nécessaire dans cette étude. Afin de récolter les opinions des experts, il a fallu créer le squelette de l'enquête qui allait permettre de quantifier les services écosystémiques de manière pertinente pour les méthodes de gestion des EEE.

Premièrement, les méthodes de gestion induisent des impacts qui varient pendant et après la mise en place. Il a donc fallu choisir d'évaluer les impacts des méthodes de gestion sur les services écosystémiques à plusieurs moments, à savoir après 1 et 5 ans. La première année étant une année charnière lors de la mise en place d'une méthode et la cinquième année permettant d'avoir une idée de l'impact sur le long terme après la mise en place des méthodes, même si des actions de contrôle

peuvent encore persister. Le fait d'avoir 2 moments fixes pour toutes les méthodes permet de faciliter la comparaison entre méthodes et la projection dans le temps pour les évaluateurs de l'enquête.

Deuxièmement, il a fallu réfléchir au moyen d'évaluer les services, et ce 1 an et 5 ans après le début de la gestion. Pour cela, le choix a été posé de mesurer non pas des valeurs de services à un moment, mais bien une évolution par rapport à une situation typique d'invasion. Les méthodes de gestion ont en effet des impacts positifs, négatifs ou nuls sur la récupération de services écosystémiques mais n'en fournissent pas en elles-mêmes, comme les écosystèmes peuvent le faire (Maebe et al., 2019). Il a donc fallu évaluer des deltas de services induits par les méthodes, plutôt qu'une capacité à fournir ou non un service. L'échelle choisie pour cette évaluation a été inspirée de la littérature. Habituellement, les matrices de services écosystémiques ont des échelles de score à cinq valeurs (Campagne et al., 2018), allant de 0 ou 1 si le service est rendu de manière minimale, à 4 ou 5 si le service est bien rendu. Dans cette évaluation, l'échelle ne correspond pas car il y a des valeurs positives et des valeurs négatives. Il a néanmoins été décidé de garder cinq valeurs chiffrées, à savoir -2, -1, 0, +1 et +2.

En plus des cinq scores possibles, il fallait tenir compte du fait que lors d'une enquête en ligne, les experts n'ont pas toujours les connaissances nécessaires ou peuvent se retrouver dans une situation où ils ne sont pas capables, voire ne veulent pas répondre (Fenneteau, 2015). Afin de palier à cette éventualité, il était pour toutes les cases d'évaluation possible d'indiquer non pertinent si le service ne l'était pas selon l'expert. Il était également possible de laisser blanc si l'expert ne souhaitait pas ou ne savait pas répondre. Ces deux possibilités ayant pour but d'éviter la création de biais par contrainte de réponse (Fenneteau, 2015). L'ensemble des possibilités de réponse est récapitulé dans le *tableau 8*.

Tableau 8 Possibilités de réponses pour les services écosystémiques

+2	Amélioration importante du service par rapport à la situation d'invasion
+1	Amélioration intermédiaire du service
0	Pas de modification du service par rapport à la situation d'invasion
-1	Détérioration intermédiaire du service
-2	Détérioration importante du service par rapport à la situation d'invasion
Non pertinent	Le service n'existe pas selon vous
Blanc	Vous ne savez pas vous prononcer

La *figure 5* permet d'illustrer le fonctionnement de l'enquête. Le point de départ de l'évaluation est un écosystème à un stade d'invasion avancé. Les services écosystémiques ne sont pas fixés car en fonction du SE considéré et de l'espèce, l'impact potentiel sur le SE peut aussi bien être positif que négatif ou neutre. Une méthode de gestion est alors mise en place dans ce cadre d'invasion avancée. Une première évaluation de l'évolution des services écosystémiques est réalisée après 1 an de gestion par rapport à la situation d'invasion avancée. La seconde évaluation de l'évolution des services écosystémiques est réalisée après 5 ans de gestion, toujours par rapport à la situation d'invasion avancée.

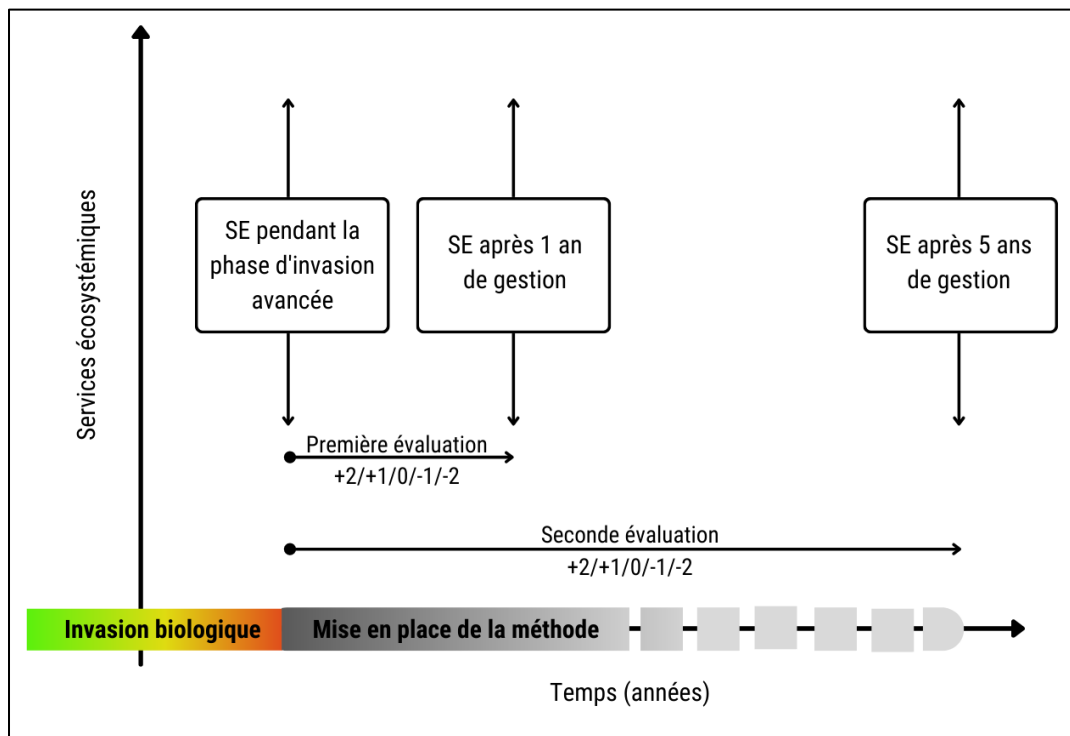


Figure 5 Schématisation du fonctionnement de l'enquête

Les différentes évaluations étaient encadrées par plusieurs hypothèses :

- Les méthodes de gestion sont appliquées d'une manière qui permet d'atteindre les objectifs d'éradication ou de contrôle.
- Les méthodes de gestion sont appliquées dans des situations de stade très avancé d'invasion
- L'évaluation des services écosystémiques comprend l'impact de l'application des différentes méthodes ainsi que l'impact suivant le contrôle ou l'éradication de l'EEE ciblée
- Une même méthode de gestion peut être considérée pour plusieurs espèces
- Les méthodes de gestion sont réalisées dans des situations typiques.

Toutes ces hypothèses ont également été énoncées dans la partie d'introduction de l'enquête en ligne.

Il est finalement recommandé dans ce type d'évaluation de permettre aux évaluateurs de pouvoir donner leur incertitude sous forme d'une échelle de confiance ou d'un niveau de connaissance (Campagne et al., 2017). Les niveaux de connaissance des méthodes de gestion sont donc les suivants ; pas de connaissances, très peu de connaissances, connaissances basiques et pas d'expérience de terrain, connaissances avancées et/ou expérience de terrain. Les niveaux de

connaissance des services écosystémiques sont quant à eux les suivants ; pas de connaissances, très peu de connaissances, connaissances intermédiaires, connaissances avancées.

4.1.4. Organisation d'une journée d'étude et participation à la conférence internationale sur les espèces invasives aquatiques (ICAIS)

Une journée d'étude a été organisée le 25 mars 2022 à Gembloux Agro-Bio Tech. Cette dernière avait pour objectif de tester une première version du questionnaire et de vérifier que les questions étaient comprises, le vocabulaire adapté, les modalités de réponses exhaustives et les consignes claires (Lugen, 2018). Le questionnaire était néanmoins très semblable à la version définitive qui sera détaillée dans le paragraphe suivant. Les différences majeures étant l'absence de la partie "informations personnelles", certaines modifications du lexique et un plus grand nombre de services à évaluer vu qu'aucun tri n'avait encore été effectué. Le séminaire visait également à récolter des premières données d'évaluation des services écosystémiques.

Pour cette journée d'étude, une liste d'environ 45 parties prenantes et experts de la gestion des espèces exotiques envahissantes ou des services écosystémiques a été élaborée. Toutes les personnes de cette liste ont ensuite reçu une invitation groupée au workshop un mois à l'avance grâce à Mailchimp (2022). Certaines ont également été conviées oralement car elles étaient partenaires du projet ce qui facilitait la communication. Une dizaine de personnes ont alors pu confirmer leur présence le 25 mars 2022. Ces dernières ont reçu un dossier préparatoire d'une trentaine de pages avec un plan détaillé de la journée d'étude, des explications du fonctionnement de l'évaluation des impacts sur les services écosystémiques, des descriptifs et des illustrations des méthodes de gestion évaluées ainsi que des descriptifs et des exemples des services écosystémiques de la CICES. Étant donné que le dossier préparatoire comprend de nombreuses illustrations dont certaines ne sont pas libres de droit pour une publication, il n'a pas été intégré aux annexes de ce mémoire. Les informations qui s'y trouvaient sont néanmoins toutes présentes dans ce mémoire, que ce soient les explications de l'enquête dans les chapitres précédents, les descriptions des méthodes (*tableaux 4 à 6*) ou les descriptifs des services écosystémiques (*annexe 5*).

La journée d'étude comprenait l'introduction à la matrice des SE, le remplissage des matrices pour les méthodes de gestion des plantes aquatiques, des plantes terrestres et des écrevisses ainsi que des moments pour analyser les résultats et en discuter (*figure 6*).



Figure 6 Journée d'étude du 25 mars 2022, analyse des résultats et discussions avec les participants (crédits photo : Marie Patinet)

Durant la journée d'étude, une attention particulière a été portée à éviter la création de biais dans les données. Les participants avaient en effet le droit de communiquer et d'échanger leurs connaissances ou expériences de gestion, mais l'établissement des scores dans les matrices était lui totalement personnel. Le but étant de garder des évaluations indépendantes les unes des autres. De plus, l'influence d'un groupe peut mener à une distorsion du jugement personnel d'un individu (Asch, 1951). C'est pourquoi les réponses n'étaient pas affichées ou transmises avant que tout le monde eu fini de remplir, notamment pour ne pas orienter les personnes qui seraient moins confiantes des leurs. Les participants étaient également encouragés à ne pas compléter lorsqu'ils ne savaient pas quoi répondre.

La prochaine étape était l'organisation d'un workshop à ICAIS et avait pour but, en plus de la présentation du projet LIFE RIPARIAS dans sa globalité, de finaliser l'enquête en l'introduisant à des experts internationaux de la gestion des espèces exotiques envahissantes. Le questionnaire avait en effet jusque-là été créé en Belgique par des personnes étant majoritairement confrontées à de la gestion en Belgique. Le processus de validation et de vérification de la faisabilité de l'enquête avait également été réalisé en Belgique lors de la journée d'étude du 25 mars et par des parties prenantes ou des experts principalement liés à la gestion dans ce pays. Il était donc nécessaire de vérifier la pertinence des choix à l'international avant de publier et de relayer l'enquête en ligne à ce niveau. Il s'agissait par exemple de vérifier les dénominations des méthodes, le système d'évaluation des services écosystémiques, la lisibilité ainsi que tout élément qui aurait pu être incompréhensible pour des raisons de manque d'inclusivité et un éventuel belgo-centrisme.



Figure 7 Workshop organisé à ICAIS le 22 avril 2022 (crédits photo : Marie Patinet)

4.1.5. Enquête en ligne

Une fois les différents retours et commentaires de la journée d'étude du 25 mars et du workshop organisé à ICAIS intégrés, l'enquête en ligne a pu être finalisée dans les trois langues choisies, à savoir le français, le néerlandais et l'anglais. Le questionnaire commençait par la récolte d'informations personnelles pour identifier les experts si besoin, notamment le nom, le prénom, le pays principal d'activité professionnelle, l'activité professionnelle et s'ils/elles travaillaient en lien avec un organisme en particulier (ONG, Université, bureau privé...). Il était également possible de laisser son adresse email, sans obligation, afin de ne pas mettre les experts dans une situation inconfortable s'ils ne voulaient pas être recontactés.

Il était ensuite demandé aux experts de choisir d'évaluer les méthodes de gestion des écrevisses, des plantes aquatiques ou des plantes terrestres. Ils étaient après redirigés vers une explication du fonctionnement de l'enquête, suivi d'une évaluation de leur niveau de connaissance des méthodes de gestion. Ils pouvaient alors commencer à remplir les matrices de services écosystémiques qui se présentaient sous la forme présentée au *tableau 9*.

Tableau 9 Représentation des matrices d'évaluation de l'enquête en ligne

	Service écosystémique A après 1 an	Service écosystémique A après 5 ans
Méthode 1	-2/-1/0/+1/+2/non pertinent/blanc	...
Méthode 2	...	
Méthode 3		
...		

Il était finalement possible de compléter les matrices pour un nouveau groupe de méthodes de gestion si désiré. Un expert pouvait par exemple remplir la partie du questionnaire sur les écrevisses et puis remplir la partie sur les plantes terrestres. Après avoir rempli une, deux ou trois des parties, les évaluateurs étaient invités à donner leur niveau de connaissance des services écosystémiques avant de clôturer l'enquête. Cette dernière se trouve de manière condensée en *Annexe 4*.

4.1.6. Diffusion et networking

Il est habituellement conseillé de réunir au minimum une dizaine d'experts lors du remplissage de matrices de services écosystémiques afin d'obtenir des statistiques acceptables (Campagne et al., 2017). Un des objectifs de ce travail, pour augmenter les chances d'avoir des données utilisables, était donc d'obtenir un minimum de 10 experts pour toutes les évaluations des impacts des méthodes de gestion sur les services écosystémiques.

Plusieurs canaux ont été utilisés pour diffuser l'enquête et obtenir des réponses. Ces canaux ont été choisis pour atteindre des experts ou des gestionnaires des espèces exotiques envahissantes. Tout d'abord, la participation à ICAIS a permis de se faire des contacts à un niveau international et de trouver des experts ou gestionnaires qui étaient intéressés par l'enquête. Ensuite, les partenaires du projet LIFE RIPARIAS et leurs réseaux ont également été mis à profit pour diffuser l'enquête. Certains experts particulièrement pertinents pour l'enquête ou certaines institutions, groupes ou projets ont également été contactés personnellement.

Voici une liste des institutions, groupes ou projets où l'enquête a été diffusée : Brussels Environment, Agentschap voor Natuur en Bos, Vlaamse Milieumaatschappij, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Contrat de Rivière Senne, Contrat Rivière Dendre asbl, Contrat de rivière Dyle-Gette

asbl , Service Public de Wallonie- Agriculture Ressources naturelles et Environnement, Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech, Belgian Science Policy Office - Belgian Biodiversity Platform, l'IUCN Invasive Species Specialist Group (ISSG), l'Invasive Species Centre (Canada), le Centre de Ressources espèces exotiques envahissantes (France), le groupe Espèce Invasive de La Réunion (île de la Réunion), les projets LIFE RARITY (Italie) et MICA (Belgique)... Cette liste n'est certainement pas exhaustive car d'autres institutions, groupes ou projets ont été atteints par le biais des partenaires ou des personnes contactées individuellement et qui diffusaient ensuite l'enquête dans leur réseau.

4.2. ANALYSES

Les analyses se divisent en 3 grandes parties, à savoir la vérification du degré d'accord global de l'enquête, la compilation des matrices de scores des experts et l'analyse du niveau de certitude pour chaque cellule des matrices reprenant les scores d'impacts généralisés sur les services écosystémiques.

4.2.1. Accord parmi les experts

Afin de mieux comprendre l'enquête et en vue d'interpréter les scores de SE, il est important de voir si les évaluateurs sont globalement d'accord. Pour ce faire, il est possible et nécessaire d'évaluer la fiabilité entre les évaluateurs (Hallgren, 2012), mieux connue en anglais sous le nom d'*inter-rater reliability* (IRR). Il existe de nombreux indicateurs pour calculer la fiabilité. Ces derniers ont notamment pour but de mesurer à quel point des évaluateurs vont attribuer des mêmes scores à la même variable (McHugh, 2012). Ils sont habituellement utilisés dans des disciplines telles que la médecine, la psychologie, l'éducation, l'anthropologie ou encore le marketing où il est courant de faire appel à des évaluateurs pour mesurer un phénomène (Shweta et al., 2015). Ils conviennent cependant tout à fait à cette enquête, vu qu'il est aussi fait appel à des experts pour évaluer et mesurer des impacts selon leurs expériences et leurs connaissances. Les indicateurs calculés ici seront le coefficient alpha de Krippendorff et le coefficient de corrélation intra-class.

Le coefficient alpha de Krippendorff permet de mesurer l'IRR parmi plusieurs évaluateurs (Krippendorff, 2011). Il a plusieurs avantages, notamment le fait de ne pas être applicable uniquement pour des données nominales et de pouvoir gérer les données manquantes tant qu'il y a au minimum 2 évaluateurs par catégories (Zapf et al., 2016).

Ensuite, le coefficient de corrélation intra-classes, ou intra-class correlation coefficient (ICC), permet de mesurer à quel point des évaluateurs attribuent des valeurs considérées ou non fiables selon leur accord. L'ICC peut être calculé de plusieurs manières selon l'utilisation qui sera faite des données et selon la façon dont elles ont été évaluées et sélectionnées (Koo et Li, 2016). Dans cette enquête, c'est la moyenne des scores qui sera utilisée pour les matrices de services écosystémiques et non les évaluations individuelles. L'intérêt de l'indicateur est ensuite de mesurer si les évaluateurs attribuent les mêmes scores aux mêmes sujets, à savoir les cellules de la matrice des services écosystémiques.

Le modèle utilisé sera alors l'ICC(2,k) selon Shrout et Fleiss (1979) ou "Two-way random effects, absolute agreement, multiple raters/measurements" selon McGraw et Wong (1996). Il permet d'évaluer le degré d'accord entre évaluateurs dans le cas où la moyenne des évaluations importe plus que chaque évaluation en elle-même (Koo et Li, 2016). Les ICC ne gèrent pas les données manquantes, un modèle linéaire à effets mixtes est compris dans la fonction R utilisée pour calculer l'ICC et gère les données manquantes grâce à des estimations du maximum de vraisemblance.

Le coefficient alpha de Krippendorff sera calculé au niveau de l'enquête dans sa globalité et individuellement pour chaque partie, à savoir les méthodes de gestion des plantes aquatiques, des

plantes terrestres et des écrevisses. L'ICC(2,k) ne sera pas calculé au niveau de l'enquête globale mais seulement au niveau de chaque partie individuellement car la façon dont il gère les données manquantes rend son utilisation non pertinente.

Les coefficients ont tous été calculés à partir de la version 4.2.1 de R (R Core Team, 2021) et grâce aux packages icr version 0.6.2 (Staudt et L'Ecuyer, 2020) et psych version 2.2.5 (Revele, 2022).

4.2.2. Score d'impact sur les services écosystémiques

En vue de condenser les informations obtenues grâce aux évaluations des experts et des questionnaires des espèces exotiques envahissantes, la moyenne des scores d'impacts des méthodes de gestion des espèces exotiques envahissantes sur les services écosystémiques a été réalisée à partir des matrices individuelles sur le logiciel Microsoft Excel (version 2206) en 64-bit. Il a été choisi de calculer la moyenne plutôt que la médiane car les données étant discrètes, la médiane a le désavantage d'être moins indicatrice des tendances négatives ou positives autour des scores. Il n'aurait cependant pas été faux de la calculer.

4.2.3. Degré de certitude

Le cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat (GIEC) a utilisé une estimation du degré de certitude (*tableau 10*) sur base du croisement du niveau de consensus scientifique (haut, moyen, faible) et de la certitude des preuves avancées (haute, moyenne, faible, GIEC, 2013). Afin d'uniformiser les évaluations de la pertinence des résultats, il est conseillé d'utiliser cette estimation du niveau de certitude, ou celle du Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005), également pour les matrices de services écosystémiques (Jacobs et al., 2014). Ce degré de certitude va de très faible à très élevé en passant respectivement par faible, moyen et élevé.

Dans cette enquête, le niveau de connaissance dépend à la fois des services écosystémiques et des méthodes de gestion. Le niveau de connaissance des méthodes de gestion étant ; pas de connaissances (0), très peu de connaissances (1), connaissances basiques et pas d'expérience de terrain (2), connaissances avancées ou expérience de terrain (3). Le niveau de connaissance des services écosystémiques étant lui évalué selon les catégories suivantes ; pas de connaissances (0), très peu de connaissances (1), connaissances intermédiaires (2), connaissances avancées (3). Une matrice a donc été compilée avec la somme de ces 2 scores de connaissances. Le score maximal de connaissance étant alors de 6 et le score minimal de 0. La moyenne de ces scores entre évaluateurs a ensuite été calculée, avec pour résultat une matrice des méthodes de gestion en fonction des SE avec dans chaque cellule le niveau de connaissance moyen obtenu. Le niveau de consensus a lui été calculé sur base de l'écart type pour chaque cellule de la matrice.

Tableau 10 Degré de certitude selon Jacobs et al., 2015

Degré de certitude	Connaissances faibles	Connaissances moyennes	Connaissances élevées
Consensus élevé	Moyen	Élevé	Très élevé
Consensus moyen	Faible	Moyen	Élevé
Consensus faible	Très faible	Faible	Moyen

Afin d'avoir trois niveaux de consensus et de connaissance similaires au tableau ci-dessus, la distribution des scores de niveau de connaissance de tous les experts a été étudiée ainsi que la répartition des cellules de la matrice des services après 1 et 5 ans selon leur écart-type. Le but étant de mieux visualiser la variabilité globale et de séparer en 3 catégories réellement représentatives du niveau de connaissance ou de l'accord des experts pour cette étude. L'assumption principale pour les

niveaux de connaissance étant que les évaluations réalisées par le panel d'experts font partie des meilleures évaluations qui auraient pu être obtenues et que les meilleurs scores du niveau de connaissance obtenus sont certainement parmi les meilleurs scores pouvant être obtenus, même hors de cette enquête. Il est donc pertinent de les valoriser.

D'autres pistes ont également été analysées pour intégrer le niveau de connaissance des méthodes, comme la réalisation d'une moyenne des scores d'impact pondérée par le niveau d'expertise propre à chaque évaluateur. Il est ressorti que si les indicateurs d'expertise sont une valeur ajoutée, il n'est néanmoins pas conseillé de réaliser des moyennes pondérées des scores en fonction du niveau d'expertise (Campagne, 2018). Cela a pour conséquence d'augmenter les biais liés à une trop grande ou petite assurance des capacités propres des évaluateurs (Mukherjee et al., 2018).

5. RÉSULTATS

5.1. CONSTRUCTION DE L'ENQUÊTE

Il est tout d'abord intéressant d'aborder les différents retours qui ont pu être obtenus dans la création de l'enquête en ligne grâce à la journée d'étude, à la participation à ICAIS ou grâce aux retours individuels des experts ou gestionnaires des espèces exotiques envahissantes.

Premièrement, lors de la journée d'étude du 25 mars, il a été demandé aux participants si l'échelle de score pour évaluer les impacts sur les services écosystémiques leur convenait ou s'ils pensaient qu'une échelle à 7 valeurs (ou autre) pourrait être plus adaptée, par exemple -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3. À l'unanimité, l'échelle convenait. De plus, certaines personnes ont souligné le fait qu'il aurait été compliqué et chronophage dans l'enquête d'ajouter des valeurs numériques de service. Une autre remarque concernait la présentation de l'enquête. Initialement, il y avait par exemple une matrice des services écosystémiques de production après 1 an et une deuxième matrice après 5 ans. Les personnes présentes au workshop ont alors dit que cela serait plus facile si les colonnes des services écosystémiques après 1 et 5 ans étaient l'une à côté de l'autres, ce qui a été modifié.

Deuxièmement, lors de ICAIS, il est ressorti qu'il serait intéressant de pouvoir laisser des commentaires et que l'échelle évoquée précédemment paraissait adaptée en vue du niveau de précision attendu et possible. Des discussions ont aussi émergé concernant la séparation de l'impact des méthodes et de l'impact du contrôle ou de l'éradication de l'EEE ciblée. La conclusion étant que pour la plupart des experts il était difficile d'imaginer une projection des services écosystémiques qui séparerait les impacts propres aux méthodes et les impacts propres à l'éradication ou au contrôle des espèces envahissantes ciblées.

Enfin, des entretiens avec des experts ont permis de faire ressortir certaines difficultés. La partie évaluant les méthodes de gestion pour les plantes aquatiques étant particulièrement compliquée car le niveau d'application taxonomique est beaucoup plus large que pour les méthodes de gestion des écrevisses notamment. Un des experts visualisait par exemple deux groupes de plantes aquatiques avec des effets distincts, à savoir des plantes plutôt immergées et des plantes de surface. Ce même genre de remarque a aussi émergé concernant le fait qu'un écosystème n'est pas fixé, même si les personnes interrogées comprenaient que dans un contexte de généralisation, le point focal était plutôt les méthodes de gestion.

5.2. ACCORD PARMIS LES EXPERTS ET FIABILITÉ

Plusieurs indicateurs ont été calculés pour évaluer la fiabilité globale de l'enquête, à savoir le coefficient alpha de Krippendorff et un coefficient de corrélation intra-classes. Ces derniers ont été mesurés à partir de 31 évaluateurs ayant donné des scores à 640 unités, à savoir les cellules de la matrice croisant les services écosystémiques avec les méthodes après 1 et 5 ans. Les 640 unités n'étant pas remplies par tous les experts, les indicateurs disponibles pour mesurer la fiabilité des évaluations étaient limités, beaucoup d'entre eux ne gérant pas bien les données manquantes (Gamer et al., 2019).

Les valeurs des coefficients retenus, pour rappel le coefficient alpha de Krippendorff et l'ICC(2,k), doivent être interprétées de la manière suivante. Tout d'abord, le coefficient alpha de Krippendorff varie entre 0 et 1, 0 correspondant à un parfait désaccord et 1 correspondant à un parfait accord entre les évaluateurs. Il est recommandé d'avoir un coefficient alpha de Krippendorff supérieur ou égal à 0.800 dans l'idéal et à 0.67 pour un minimum d'acceptabilité (Krippendorff, 2004).

Les ICC varient quant à eux de 0 à 1, les valeurs s'approchant de 1 représentant une fiabilité croissante. L'ICC est en général interprété à partir des classes déterminées par Cicchetti en 1994 :

- Moins de 0,40 = accord faible
- Entre 0,40 et 0,59 = accord moyen
- Entre 0,60 et 0,74 = accord bon
- Entre 0,75 et 1,00 = accord excellent

Ces indicateurs ont été calculés globalement pour l'enquête et au niveau de chaque partie individuellement et sont présentés dans le *tableau 11* ci-dessous.

Tableau 11 Coefficient alpha de Krippendorff et ICC (2, k) pour l'enquête générale et séparément pour les méthodes de gestion des plantes aquatiques, des plantes terrestres et des écrevisses

	Alpha de Krippendorff (α)	Intervalle de confiance de α à 95%	ICC(2,k)	Intervalle de confiance de l'ICC(2,k) à 95%
Enquête globale	0,35	$0,36 < \alpha < 0,37$		
Méthodes de gestion des plantes aquatiques	0,51	$0,48 < \alpha < 0,52$	0,91	$0,89 < \text{ICC}(2,k) < 0,93$
Méthodes de gestion des plantes terrestres	0,24	$0,22 < \alpha < 0,26$	0,84	$0,79 < \text{ICC}(2,k) < 0,89$
Méthodes de gestion des écrevisses	0,23	$0,20 < \alpha < 0,25$	0,84	$0,79 < \text{ICC}(2,k) < 0,88$

Au-delà des indicateurs, l'enquête a pu réunir 26 experts avec en moyenne 12 évaluations par cellules des deux matrices comme l'illustre le *tableau 12*. Le minimum de réponses est de 4 pour le service "composition atmosphérique et régulation du climat" pour les méthodes de gestion des EEE de plantes aquatiques. Les cellules des matrices des méthodes de gestion des EEE de plantes terrestres ou d'écrevisses ont quant à elles au minimum 11 réponses par cellules.

Tableau 12 Nombre de réponses moyennes, minimum et maximum pour les cellules des matrices de services écosystémiques de plantes aquatiques, des plantes terrestres et des écrevisses

Nombres de réponses		MOYENNE	MIN	MAX
Plantes aquatiques	1 an	9	4	11
	5 ans	8	4	11
Plantes terrestres	1 an	15	11	17
	5 ans	14	11	17
Écrevisses	1 an	12	11	13
	5 ans	12	11	13
Moyenne de réponse par cellules de l'enquête				12

Les experts qui ont rempli les matrices travaillent notamment en Belgique ainsi qu'aux Pays-Bas, au Royaume-Uni, en France et en Italie. Ils font partie d'universités, d'administrations publics, de compagnies privées, ou d'organisations non gouvernementales comme l'IUCN.

5.3. IMPACT DES MÉTHODES SUR LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

La *figure 8* est la matrice des impacts des méthodes de gestion sur les services écosystémiques après 1 an et la *figure 9* est la matrice des impacts des méthodes de gestion sur les services écosystémiques après 5 ans. Les couleurs des cellules des matrices ont pour but de faciliter la visualisation des impacts des méthodes. Le vert correspondant à une amélioration forte du SE par la méthode, le jaune correspondant à un effet nul et le rouge correspondant à un impact négatif de la méthode sur le SE. Le choix de ne pas mettre directement les couleurs du niveau de certitude dans les matrices est personnel et soutenu par un effet visuel perturbateur lors de l'analyse des cellules. Le niveau de certitude sera tout de même introduit par la suite, avec le nombre d'évaluateurs par cellules, afin de disposer de toutes les informations nécessaires pour vérifier la fiabilité d'une cellule des *figures 8* et *9* si besoin.

Concernant le contenu des matrices, plusieurs observations peuvent être réalisées pour les différentes méthodes de gestion. Certains commentaires laissés par les experts sont également introduits ci-après. De plus, une représentation graphique en radar des services écosystémiques a été réalisée pour toutes les méthodes et est disponible en *annexe 1 à 3*.

5.3.1. Méthodes de gestion des plantes aquatiques

La méthode qui semble être la plus impactante après 1 an est le comblement d'étang et la moins perturbatrice du milieu est l'arrachage manuel. Les deux méthodes de privation de lumière et le retrait de substrat semblent ensuite avoir des effets assez néfastes sur les SE de régulation. Après 5 ans, malgré l'amélioration globale des SE, le comblement d'étang et l'introduction de carpes herbivores stériles continuent à avoir des effets négatifs, alors que les autres méthodes ont plutôt des effets positifs par rapport à la situation d'invasion.

5.3.2. Méthodes de gestion des plantes terrestres

Seule la méthode "Labour et fauche mécanique" semble avoir des impacts négatifs plus importants globalement après un 1 an. Les autres méthodes semblent avoir des effets très faibles voire positifs pour l'introduction d'herbivores pour les services culturels. Après 5 ans, la méthode labour et fauche mécanique reste la plus dommageable, particulièrement pour les SE "Régulation des flux d'air" et "Composition et formation des sols". Les autres méthodes semblent amener des améliorations pour la plupart des services, excepté la méthode "Introduction d'herbivores" qui semble avoir des impacts positifs plus réduits pour certains services de régulation, toujours après 5 ans.

5.3.3. Méthodes de gestion des écrevisses

Aucune des méthodes ne semblent avoir des effets négatifs notables sur les SE après un an, avec pour exception le drainage temporaire qui est particulièrement négatif pour la conservation des habitats. Après 5 ans, toutes les méthodes ont l'air d'améliorer les SE. Il faut également souligner que le drainage temporaire a le score d'impact positif sur le contrôle des maladies et des ravageurs le plus élevé après 5 ans.

Dans les commentaires, un expert a particulièrement insisté sur le fait que le drainage temporaire a certes le plus d'impact sur les SE dans un premier temps, mais qu'il s'agit aussi de la seule méthode qui permet l'éradication et donc in fine de vraiment agir sur la récupération de certains SE comme le contrôle des maladies et ravageurs. Les méthodes de contrôle ne permettant en effet pas de stopper la transmission de la peste des écrevisses dont les espèces envahissantes d'écrevisses sont parfois des porteuses saines. Une autre remarque concernait le fait que lorsqu'une méthode ne parvient pas à atteindre l'éradication, il est indispensable de continuer à la pratiquer pour réduire les populations d'écrevisses, sans quoi les dégâts sur les SE augmenteront à nouveau.

		Production					Régulation										Culturel		
		Biomasse pour l'alimentation	Eau potable	Biomasse comme matériaux	Eau	Production de sources d'énergie	Régulation par les organismes vivants	Régulation par les écosystèmes	Régulation des flux de masse, contrôle des flux d'érosion	Régulation des flux hydrologiques : cycle de l'eau, protection aux inondations	Régulation des flux d'air : protection aux tempêtes, ventilation	Maintien des habitats et protection des gènes	Contrôles des maladies et des ravageurs	Composition et formation des sols	Qualité de l'eau	Composition atmosphérique et régulation du climat	Interactions physiques et expérimentales avec la faune/flore, les écosystèmes, le paysage	Interactions intellectuelles avec la faune/flore, les écosystèmes, les paysages	Interactions spirituelles, symboliques avec la faune/flore, les écosystèmes ou les paysages
P A	Privation de lumière : couverture flottante	-1,4	-0,5	-1,0	-0,1	-0,5	-1,6	-1,1	-1,2	-1,0		-1,1	0,0	-1,0	-1,5	-1,0	-0,7	-0,6	-0,4
	Privation de lumière: couverture de fond	-1,0	-0,4	-0,9	0,0	-0,3	-1,3	-0,9	-0,8	-0,8		-1,0	-0,2	-1,3	-1,6	-1,0	-0,3	-0,3	-0,4
	Arrachage manuel en milieu aquatique	0,1	-0,1	-0,5	0,2	0,3	-0,3	-0,3	-0,4	0,0		0,1	-0,2	-0,2	0,0	-0,5	0,4	0,5	0,4
	Arrachage mécanique : machines flottantes	-0,9	-0,2	-0,9	0,1	0,5	-0,9	-0,7	-0,9	-0,4		-1,0	-0,2	-0,4	-0,8	-0,5	0,0	0,0	0,0
	Arrachage mécanique : machines terrestre	-0,7	-0,3	-1,0	0,1	0,5	-0,6	-0,6	-1,3	-0,4		-1,0	0,0	-1,0	-0,7	-0,6	-0,1	-0,1	0,0
	Introduction de carpes herbivores stériles	-0,6	-0,3	-0,4	0,0	-0,4	-0,9	-0,4	-0,7	0,0		-1,2	0,0	-0,3	-0,5	-0,7	-0,4	-0,1	-0,3
	Retrait de substrat : curage mécanique	-1,3	-1,0	-1,0	-0,2	-0,2	-1,5	-1,4	-1,3	0,0		-1,6	-0,4	-1,2	-0,7	-0,5	-1,0	-0,7	-0,7
	Comblement d'étangs et changement de l'habitat	-1,6	-1,8	-1,0	-1,8	-1,1	-2,0	-2,0	-1,9	-1,8		-1,8	0,2	-0,8	-1,7	-0,5	-1,8	-1,4	-1,6
P T	Arrachage manuel	0,3		0,5		0,6	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0	0,3	0,1	0,3		0,3	0,6	0,4	0,4
	Labour ou fauche mécanique	0,0		-0,3		-0,3	-0,9	-1,1	-1,0	-0,8	-1,0	-1,0	-1,0	-1,3		-1,1	-0,9	-0,3	-1,0
	Débroussailluse	-0,1		0,2		0,5	0,1	0,3	0,3	0,2	-0,3	-0,3	-0,2	0,2		-0,2	-0,1	0,1	-0,4
	Introduction d'herbivores	0,4		0,3		0,4	0,3	0,2	0,0	0,2	0,0	0,2	0,1	-0,2		-0,3	1,0	0,9	0,7
E	Pièges appâtés ou non	0,1			0,1		0,2	0,3	0,5	0,0		0,6	0,6		0,1		0,3	0,3	0,2
	Pêche à la seine	-0,3			0,2		0,0	0,4	0,4	0,0		0,2	0,6		0,3		-0,3	0,4	0,0
	Drainage temporaire	-1,2			-1,0		-0,9	-0,9	-0,3	-0,1		-1,7	1,0		-0,1		-1,1	-0,2	-0,6
	Introduction ou renforcement des populations de poissons prédateurs indigènes	0,1			0,0		0,0	0,1	0,3	0,0		0,1	0,2		0,3		0,9	0,4	0,5

Figure 8 Matrice des impacts des méthodes de gestion sur les services écosystémiques après 1 an. Les couleurs des cellules vont de rouge (impact négatif minimum de -2) à vert foncé (impact positif maximum de +2) en passant par le jaune (impact nul). PA = Plantes aquatiques, PT = plantes terrestres, E = écrevisses.

		Production					Régulation										Culturel		
		Biomasse pour l'alimentation	Eau potable	Biomasse comme matériaux	Eau	Production de sources d'énergie	Régulation par les organismes vivants	Régulation par les écosystèmes	Régulation des flux de masse, contrôle des flux d'érosion	Régulation des flux hydrologiques : cycle de l'eau, protection aux inondations	Régulation des flux d'air : protection aux tempêtes, ventilation	Maintien des habitats et protection des gènes	Contrôles des maladies et des ravageurs	Composition et formation des sols	Qualité de l'eau	Composition atmosphérique et régulation du climat	Interactions physiques et expérimentales avec la faune/flore, les écosystèmes, le paysage	Interactions intellectuelles avec la faune/flore, les écosystèmes, les paysages	Interactions spirituelles, symboliques avec la faune/flore, les écosystèmes ou les paysages
P A	Privation de lumière : couverture flottante	0,8	0,3	0,3	0,3	0,0	0,1	-0,1	0,1	0,6		1,2	0,3	-0,3	0,3	0,3	1,4	1,3	1,0
	Privation de lumière: couverture de fond	0,8	0,3	0,3	0,3	-0,2	0,1	0,0	0,0	0,4		1,2	0,3	-0,3	0,3	0,3	1,4	1,3	1,0
	Arrachage manuel en milieu aquatique	1,1	0,2	0,4	0,6	0,3	0,5	0,3	0,2	0,6		1,2	0,3	0,2	0,5	0,2	1,5	1,4	1,1
	Arrachage mécanique : machines flottantes	0,9	0,2	0,4	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,6		1,2	0,3	0,2	0,5	0,2	1,5	1,3	1,0
	Arrachage mécanique : machines terrestre	1,0	0,2	0,4	0,6	0,5	0,5	0,4	0,2	0,6		1,1	0,3	0,0	0,5	0,2	1,5	1,3	0,8
	Introduction de carpes herbivores stériles	-0,2	0,1	0,3	0,0	-0,4	-0,6	-0,5	-0,6	0,5		0,1	-0,2	-0,3	-0,5	-0,5	0,1	0,2	0,0
	Retrait de substrat : curage mécanique	0,5	0,4	0,3	0,4	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,4		1,1	0,5	-0,2	0,5	0,2	1,1	1,4	0,8
	Comblement d'étangs et changement de l'habitat	-1,0	-1,8	-0,4	-1,5	-0,8	-1,5	-1,4	-1,7	-1,9		-1,2	0,3	-0,7	-2,0	0,6	-1,3	-0,9	-1,0
P T	Arrachage manuel	0,9		0,9		0,9	1,1	1,1	0,9	0,8	0,5	1,4	0,6	0,8		0,8	1,5	1,4	1,0
	Labour ou fauche mécanique	0,5		0,2		0,3	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,5	0,5	0,0	-0,6		-0,1	0,3	0,8	0,1
	Débroussailluse	0,7		0,8		0,7	0,6	0,7	0,9	0,7	0,1	1,3	0,5	0,7		0,5	1,1	1,1	0,7
	Introduction d'herbivores	0,8		0,3		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	-0,1	1,0	0,5	0,0		-0,1	1,4	1,4	0,9
E	Pièges appâtés ou non	0,7			0,1		0,5	0,6	1,0	0,2		1,1	0,9		0,7		1,0	0,8	0,5
	Pêche à la seine	0,4			0,2		0,4	0,5	0,9	0,1		0,6	0,8		0,5		0,7	0,9	0,3
	Drainage temporaire	0,8			0,1		0,7	0,6	0,9	0,0		0,6	1,2		0,6		0,8	0,5	0,4
	Introduction ou renforcement des populations de poissons prédateurs indigènes	0,5			0,2		0,5	0,6	0,9	0,2		0,8	0,5		0,5		1,0	0,7	0,7

Figure 9 Matrice des impacts des méthodes de gestion sur les services écosystémiques après 5 ans. Les couleurs des cellules vont de rouge (impact négatif minimum de -2) à vert foncé (impact positif maximum de +2) en passant par le jaune (impact nul). PA = Plantes aquatiques, PT = plantes terrestres, E = écrevisses.

5.4. ÉVOLUTION DES SERVICES DE PRODUCTION, DE RÉGULATION ET CULTURELS

Les graphiques ci-dessous permettent d'illustrer la moyenne des gains et des pertes des SE de production, de régulation et culturels, après 1 et 5 ans, pour les méthodes de gestion des plantes terrestres, des plantes aquatiques et des écrevisses. Les moyennes par type de services étant réalisées à partir des matrices des services écosystémiques. Les écarts types permettent de montrer si les impacts sur les services d'une catégorie sont similaires ou s'il y a de fortes disparités en son sein.

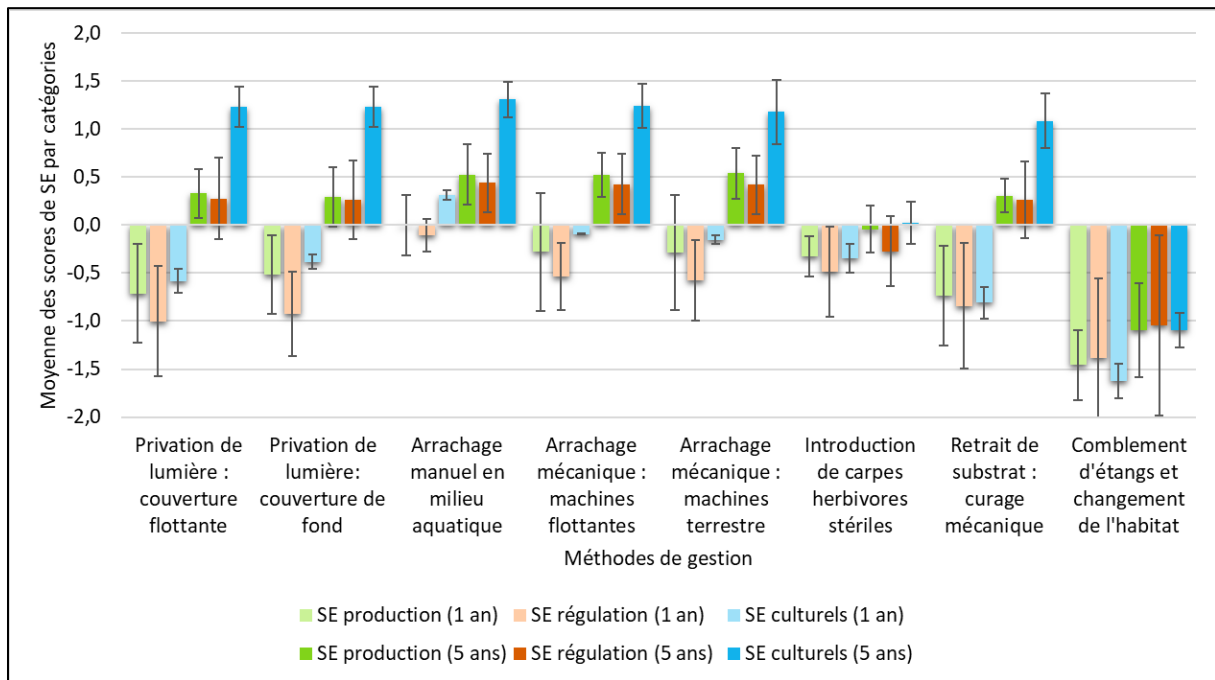


Figure 10 Graphique en barre de la moyenne des impacts sur les services écosystémiques par catégories de SE des méthodes de gestion des plantes aquatiques

La figure 10 montre une perte générale des types de services après 1 an, excepté pour les services culturels lors de l'arrachage manuel. Il y a ensuite une amélioration après 5 ans de tous les types de services pour toutes les méthodes, sauf concernant les services de production et de régulation des carpes herbivores stériles et les trois types de services pour la méthode du comblement d'étangs et changement de l'habitat.

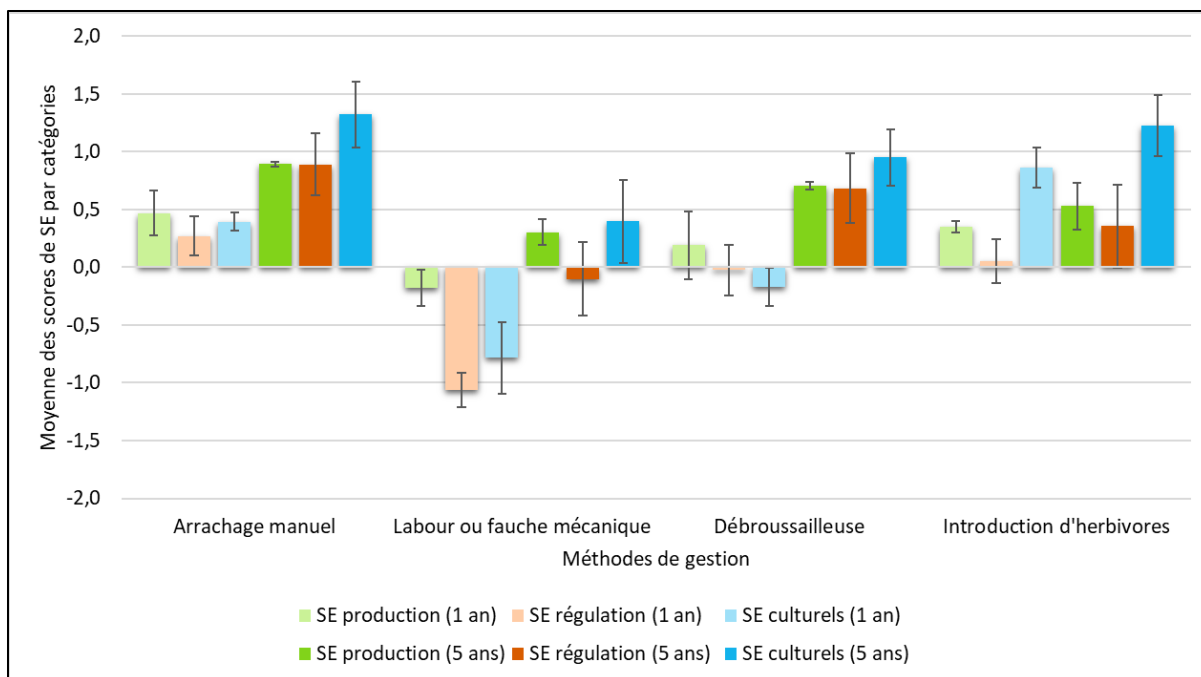


Figure 11 Graphique en barre de la somme des impacts sur les SE des méthodes de gestion des plantes terrestres

La figure 11 montre que la plupart des méthodes ont des impacts globalement positifs ou neutres après 1 an sur les types de SE, hormis sur les services de régulation et culturels pour la méthode labour ou fauche mécanique. En ce qui concerne la situation après 5 ans, toutes les méthodes semblent permettre une amélioration des types de services, sauf le type de service régulation pour le labour ou la fauche mécanique.

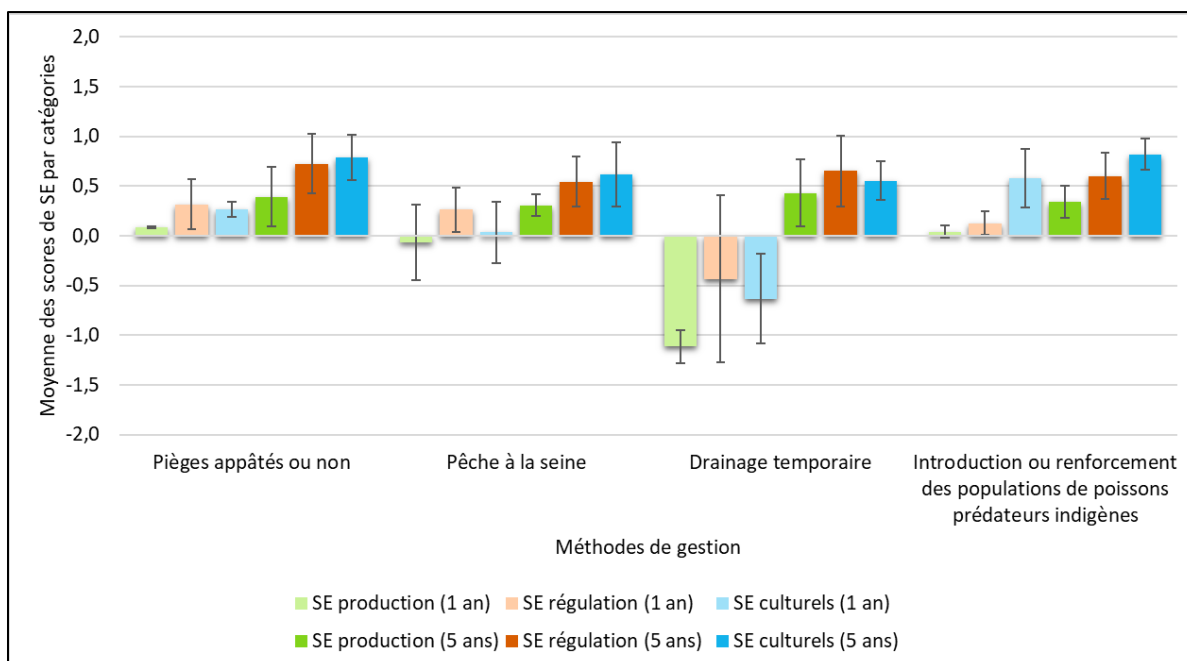


Figure 12 Graphique en barre de la moyenne des impacts sur les SE des méthodes de gestion des écrevisses

La figure 12 montre un impact positif ou proche de 0 pour tous les types de services selon les différentes méthodes, sauf pour le drainage temporaire où les services de production, de régulation et culturels sont assez négatifs. Toutes les méthodes permettent néanmoins une amélioration des types de services après 5 ans.

5.5. DEGRÉ DE CERTITUDE ET FIABILITÉ DES SCORES PAR CELLULES

Le niveau de certitude dépend à la fois du niveau de connaissance et de l'accord entre évaluateurs. La *figure 13* montre la répartition de tous les niveaux de connaissance des cellules remplies par les experts. Les catégories choisies sont ; 0 ou 1 qui correspond à un niveau faible de connaissance, 2 ou 3 qui correspond à un niveau moyen et 4, 5 ou 6 qui correspond à un niveau élevé. La *figure 14* montre la répartition de l'écart type des cellules des matrices de SE (*figure 8 et 9*). L'accord est alors considéré comme élevé si l'écart type est inférieur ou égal à 0.7, à moyen entre 0.7 et 1.1 compris, et à faible s'il est supérieur à 1.1. Le choix des catégories est subjectif mais il correspond au moins à une réalité graphique afin d'avoir des catégories approximativement égales en termes de répartition des niveaux de connaissance ou des écarts types.

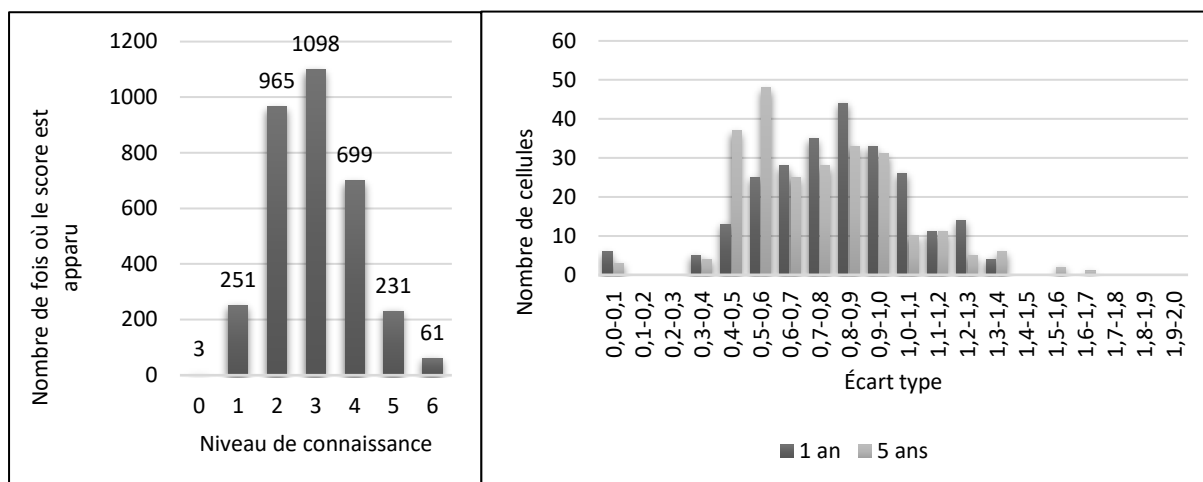


Figure 13 Répartition du niveau de connaissance des évaluateurs

Figure 14 Histogramme du nombre de cellules des matrices d'impact sur les SE en fonction de classes d'écart-type

La *figure 15* permet finalement de montrer à quoi les couleurs des matrices du degré de certitude correspondent.

Degré de certitude	Connaissances faibles NC < 2	Connaissances moyennes 2 ≤ NC ≤ 3	Connaissances élevées NC > 3
Accord élevé ET < 0.7	Moyen	Élevé	Très élevé
Accord moyen 0.7 ≤ ET ≤ 1.1	Faible	Moyen	Élevé
Accord faible ET > 1.1	Très faible	Faible	Moyen

Figure 15 Degré de certitude selon Jacobs et al., 2015 (ET = Écart-type de la cellule de la matrice et NC = Niveau de connaissance moyen de la cellule par les experts)

Une fois les degrés de certitude établis, les deux matrices suivantes, à savoir les *figures 16 et 17* ont pu être produites. Celles-ci représentant les niveaux de certitudes ainsi que le nombre de réponses qu'il y a eu par case de chaque matrice.

		Production					Régulation										Culturel		
		Biomasse pour l'alimentation	Eau potable	Bio masse comme matériaux	Eau	Production de sources d'énergie	Régulation par les organismes vivants	Régulation par les écosystèmes	Régulation des flux de masse, contrôle des flux d'érosion	Régulation des flux hydrologiques : cycle de l'eau, protection aux inondations	Régulation des flux d'air : protection aux tempêtes, ventilation	Maintien des habitats et protection des gènes	Contrôles des maladies et des ravageurs	Composition et formation des sols	Qualité de l'eau	Composition atmosphérique et régulation du climat	Interactions physiques et expérimentales avec la faune/flore, les écosystèmes, le paysage	Interactions intellectuelles avec la faune/flore, les écosystèmes, les paysages	Interactions spirituelles, symboliques avec la faune/flore, les écosystèmes ou les paysages
P A	Privation de lumière : couverture flottante	9	8	7	9	6	10	8	7	7*		9	7*	7	7	4	10*	10*	9*
	Privation de lumière: couverture de fond	9	8	7	9	6	10	8	7	7*		9	7	7	6	4	10	10	9*
	Arrachage manuel en milieu aquatique	10	9	8	9	7	11	9	9	9		10	8	8	8	5	11*	11	10
	Arrachage mécanique : machines flottantes	10	9	8	10	6*	11	8	9	9		10	8	8	7	5	11	11	10
	Arrachage mécanique : machines terrestre	10	9	8	10	6*	11	8	9	9		11	9	8	8	6	11	11	10
	Introduction de carpes herbivores stériles	9	8	7	9	5	10	8	8	7		11	7	7	7	5	10	10	9
	Retrait de substrat : curage mécanique	10	9	8	10	6	11	8	8	9*		10	7	7	8*	5	11	11	10
	Comblement d'étangs et changement de l'habitat	10	9	8*	10	7	11	8	9	10		10	7	7	8	5	11	11	10
P T	Arrachage manuel	17		16		15	16	14	17	15	15	17	13	12		12	17	16	15
	Labour ou fauche mécanique	16		15		14	15	12	16	15	14	16*	12*	13		11	16*	15	14*
	Débroussailluse	17		16		15	16	13	17	15	15	16*	13*	12		12	17*	16	15*
	Introduction d'herbivores	16		15		14	15	12*	16	14	14	15*	12	11		11	16	15	14
E	Pièges appâtés ou non	13			13		13	12	13	12		13	13		13		12	12	12
	Pêche à la seine	12			12		12	11	12	12		12	12		12		12	12	12
	Drainage temporaire	13*			12*		12	11	12*	12		12	12		12*		12*	12*	12
	Introduction ou renforcement des populations de poissons prédateurs indigènes	13			13		13	12	13	11		13	12		13		12	12	12

Figure 16 Matrice du nombre d'évaluation par cellules de la matrice des impacts des méthodes sur les services écosystémiques après 1 an. Les couleurs représentent le degré de certitude selon l'échelle de l'IPBES : très faible (rouge), faible (orange), moyen (jaune), élevé (vert clair), très élevé (vert foncé). Les * signifient que le niveau d'accord est minimum. PA = Plantes aquatiques, PT = plantes terrestres, E = écrevisses.

		Production					Régulation										Culturel		
		Biomasse pour l'alimentation	Eau potable	Biomasse comme matériaux	Eau	Production de sources d'énergie	Régulation par les organismes vivants	Régulation par les écosystèmes	Régulation des flux de masse, contrôle des flux d'érosion	Régulation des flux hydrologiques : cycle de l'eau, protection aux inondations	Régulation des flux d'air : protection aux tempêtes, ventilation	Maintien des habitats et protection des gènes	Contrôles des maladies et des ravageurs	Composition et formation des sols	Qualité de l'eau	Composition atmosphérique et régulation du climat	Interactions physiques et expérimentales avec la faune/flore, les écosystèmes, le paysage	Interactions intellectuelles avec la faune/flore, les écosystèmes, les paysages	Interactions spirituelles, symboliques avec la faune/flore, les écosystèmes ou les paysages
P A	Privation de lumière : couverture flottante	9	8	7	9	6	10	8	7	7		9	7	7	7	4	10	10	9
	Privation de lumière: couverture de fond	9	8	7	9	6	10	8	7	7		9	7	7	6	4	10	10	9
	Arrachage manuel en milieu aquatique	10	9	8	9	7	11	9	9	9		10	8	8	8	5	11	11	10
	Arrachage mécanique : machines flottantes	10	9	8	10	6	11	8	9	9		10	8	8	7	5	11	11	10
	Arrachage mécanique : machines terrestre	10	9	8	10	6	11	8	9	9		11	9	8	8	6	11	11	10
	Introduction de carpes herbivores stériles	9	8	7	9	5	10	8	8	7		11*	7	7	7*	5	10*	10*	9*
	Retrait de substrat : curage mécanique	10	9	8	10	6	11	8	8	9		10	7	7	8	5	11	11	10
	Comblement d'étangs et changement de l'habitat	10*	9	8*	10	7*	11	8*	9	10		10*	7	7*	8	5	11	11*	10
P T	Arrachage manuel	17		16		15	16	14	17	15	15	17	13	12		12	17	16	15
	Labour ou fauche mécanique	16*		15		14	15*	12*	16*	15	14	16*	12*	13*		11	16*	15*	14*
	Débroussaieuse	17		16		15	16	13	17	15	15	16	13	12		12	17	16	15
	Introduction d'herbivores	16		15		14	15	12	16	14	14	15	12	11		11	16	15	14*
E	Pièges appâtés ou non	13			13		13	12	13	12		13	13		13		12	12	12
	Pêche à la seine	12			12		12	11	12	12		12	12		12		12	12	12
	Drainage temporaire	13			12		12	11	12	12		12	12		12		12	12	12
	Introduction ou renforcement des populations de poissons prédateurs indigènes	13			13		13	12	13	11		13	12		13		12	12	12

Figure 17 Matrice du nombre d'évaluation par cellules de la matrice des impacts des méthodes sur les services écosystémiques après 5 ans. Les couleurs représentent le degré de certitude selon l'échelle de l'IPBES : très faible (rouge), faible (orange), moyen (jaune), élevé (vert clair), très élevé (vert foncé). Les * signifient que le niveau d'accord est minimum. PA = Plantes aquatiques, PT = plantes terrestres, E = écrevisses.

Les *figures 16 et 17* permettent d'observer qu'il n'y a pas de cellules avec un niveau très faible ou très élevé de certitude, que ce soit après un ou cinq ans. Ensuite, la matrice des niveaux de certitude après cinq ans semble être plus verte, synonyme d'un niveau de certitude élevé, que la matrice des niveaux de certitude après un an où le jaune, synonyme d'un degré de certitude moyen, domine beaucoup plus.

Après 1 an, les méthodes qui semblent avoir les degrés de certitudes les plus faibles sont la privation de lumière avec des bâches de fond ou flottantes pour les plantes aquatiques, le labour/fauche mécanique et la débroussailleuse pour les plantes terrestres et le drainage temporaire pour les écrevisses.

Après 5 ans, le degré de certitude est particulièrement faible pour les impacts sur les SE de la méthode du comblement d'étang ainsi que pour les impacts sur les SE culturels de la méthode introduction de carpes herbivores stériles pour gérer les plantes aquatiques. Les méthodes de gestion des plantes terrestres ont quant à elles globalement un degré de certitude moyen à faible, sauf pour l'arrachage manuel. Les méthodes de gestion des écrevisses ont enfin des degrés de certitude moyens à très élevé pour tous les SE.

Une attention particulière doit être portée aux cellules dont le nombre de personnes ayant rempli l'enquête est marqué d'un astérisque (*), cela signifiant que l'accord parmi les experts est minimal et donc le score d'impact sur les services écosystémiques particulièrement peu fiable.

6. DISCUSSIONS

6.1. CONSTRUCTION DE L'ENQUÊTE

Si la construction de l'enquête s'est faite en s'inspirant d'autres évaluations des services écosystémiques, certains choix ont tout de même dû être réalisés concernant l'échelle de l'évaluation, les temporalités ou les niveaux de simplification pour la création de l'enquête en ligne. Les discussions avec les partenaires du projet LIFE RIPARIAS et les retours provenant d'experts, gestionnaires ou parties prenantes de la gestion des espèces exotiques envahissantes ont néanmoins permis de donner du poids et de la pertinence aux décisions qui ont été prises.

De plus, malgré les doutes qui ont parfois pu émerger dans le processus de création, les résultats obtenus indiquent de fortes convergences concernant les impacts généraux que les méthodes peuvent avoir dans l'environnement selon les évaluateurs. Il y a certes des cellules de la matrice où la variabilité des situations à imaginer donnent des niveaux de consensus peu convaincants, mais cela ne veut pas non plus dire qu'il n'y a aucune conclusion à réaliser concernant ces cellules.

Quoi qu'il en soit, l'enquête n'aurait pas été possible s'il avait fallu intégrer toutes les variabilités imaginables, le but étant d'avoir une évaluation des impacts généraux des méthodes. En effet, la matrice des SE comportait au départ plusieurs types d'écosystèmes, les espèces du projet LIFE RIPARIAS, les différentes méthodes possibles par espèces et les deux temporalités d'évaluation, à savoir 1 an et 5 ans. Cela constituait alors une matrice de plus de 4000 cellules pour les écrevisses et 22 000 cellules pour les plantes aquatiques et terrestres. Il était impossible de gérer autant de cellules, et ce peu importe la méthode choisie pour évaluer les services écosystémiques. Il était donc capital de réduire cette matrice pour arriver à des temps de remplissage d'une enquête en ligne réalisable selon la littérature (Saleh et al., 2017).

6.2. ACCORD PARMIS LES EXPERTS ET FIABILITÉ

Les coefficients alpha de Krippendorff et le coefficient ICC(2,k) sont à interpréter de la manière suivante.

Le coefficient alpha de Krippendorff est globalement faible pour les trois parties de l'enquête séparément ou pour l'enquête en général. Cela signifie que l'accord est faible entre les évaluateurs, particulièrement pour la partie de l'enquête sur les méthodes de gestion des plantes terrestres et des écrevisses qui ont les coefficients les plus petits. Le coefficient alpha de Krippendorff est cependant très pénalisant car le moindre désaccord réduit le score, or il a déjà été montré que lors d'évaluation de SE par des experts, les scores varient avant de converger lorsque le nombre d'évaluations augmente (Campagne, 2018). Le coefficient témoigne donc d'une variabilité dans l'attribution des scores trop importante que pour utiliser les scores individuellement, mais n'indique pas si cette variabilité est trop importante que pour utiliser les moyennes.

Les coefficients intra-classes ICC(2,k) pour les trois parties de l'enquête sont quant à eux témoins d'un accord excellent (Cicchetti, 1994) et indiquent donc que l'accord parmi les évaluateurs est plus que suffisant pour utiliser les moyennes des scores des impacts sur les services écosystémiques, que ce soit pour les méthodes de gestion des plantes aquatiques, des plantes terrestres ou des écrevisses.

Il n'est néanmoins pas conseillé selon le coefficient alpha de Krippendorff de prendre des évaluations isolées d'experts comme représentatives et fiables pour analyser les impacts des méthodes de

gestion sur les services écosystémiques. Si ces résultats auraient pu poser un problème dans certaines enquêtes, ce n'est pas le cas de celle-ci car les scores des différents évaluateurs n'ont pas pour objectif d'être utilisés seuls. En effet, le bon niveau d'accord en vue de l'utilisation de la moyenne permet déjà de rendre pertinent l'utilisation et l'analyse des matrices de services écosystémiques dans la suite des discussions.

Les résultats obtenus peuvent finalement être considérés comme utilisables étant donné qu'il est recommandé d'avoir les opinions de dix à quinze évaluateurs afin d'avoir des statistiques pertinentes et robustes (Campagne et al., 2017). En effet, 11 évaluateurs ont rempli la matrice des méthodes de gestion des plantes aquatiques, 17 évaluateurs ont rempli la matrice des méthodes de gestion des plantes terrestres et 13 évaluateurs ont rempli la matrice des méthodes de gestion des écrevisses. Une des difficultés principales ayant limité le nombre de réponses était certainement le temps de réalisation de l'enquête qui était assez conséquent, à savoir environ 30 minutes par parties (écrevisses, plantes terrestres, plantes aquatiques). Tous les experts qui ont reçu l'enquête n'ont donc pas eu le temps ou la volonté de s'adonner à sa réalisation. Les *figures 16* et *17* montrent également que tous les experts n'ont pas évalué toutes les cellules. Le choix aurait pu être fait de forcer à l'évaluation de toutes les cellules mais cela risquait grandement de fausser les résultats dans le cas où un expert ne savait pas quoi répondre. La frustration de cette obligation aurait également potentiellement pu augmenter le nombre d'abandons ce qui in fine aurait réduit le nombre de réponses dans toutes les cellules. De plus, l'outil utilisé, à savoir SurveyMonkey, ne permet pas d'enregistrer sa progression pour y revenir plus tard, ce qui a aussi potentiellement pu réduire le taux de participation selon les dires de certains experts.

6.3. IMPACT DES MÉTHODES SUR LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES ET DEGRÉ DE CERTITUDE

Les prochains paragraphes serviront à discuter des *figures 8 à 17*, respectivement pour les méthodes de gestion des plantes aquatiques, des plantes terrestres et des écrevisses.

6.3.1. Méthodes de gestion des plantes aquatiques

Après 1 an, l'arrachage manuel semble être la méthode la moins perturbante pour l'ensemble des services écosystémiques quand le comblement d'étang a des effets très négatifs pour l'ensemble des services. Cela rejoint ce qui avait déjà pu être avancé dans la littérature concernant ces méthodes par Varray et al. en 2018 ou par un rapport de l'IUCN en 2015. La privation de lumière à partir de couvertures de fond ou de surface ainsi que le retrait de substrat sont ensuite les méthodes qui ont le plus d'impacts sur les services écosystémiques alors que l'arrachage mécanique avec des machines terrestres ou flottantes et l'introduction de carpes herbivores stériles ont des impacts globalement modérés mais tout de même plus importants que l'arrachage manuel.

Après 5 ans, le comblement d'étang reste la méthode avec les effets les plus négatifs globalement sur les SE. L'introduction de carpes herbivores stériles semble également avoir des effets négatifs à la fois sur les SE de régulation et sur les SE culturels. Des retours d'experts lors de la journée d'étude ont en effet souligné le fait qu'il y avait une sorte de double tranchant avec cette dernière méthode qui était soit un impact très positif soit assez négatif sur l'écosystème selon les situations. En ce qui concerne les impacts sur les services culturels, une étude menée par Bonar en 2002 semble plutôt indiquer une satisfaction assez importante de la part du grand public qui fréquentaient les zones d'introduction des carpes pour gérer les plantes aquatiques envahissantes, ce qui remet en question l'évaluation des SE ici obtenue. Une autre étude menée en 2014 (Wittmann et al.) sur les grands lacs en Amérique du Nord évoque une capacité des carpes herbivores à affecter les dynamiques des écosystèmes en dégradant les propriétés biotiques et abiotiques des plans d'eau soumis à leur

introduction, ce qui rejoint l'impact négatif sur les SE de régulation évoqué ici. Aucune distinction n'est néanmoins faite entre les carpes stériles ou non. Il est pourtant important de faire la distinction entre l'introduction de carpes herbivores stériles (triploïdes) ou non (diploïde), les risques d'endommager l'écosystème étant certainement plus important pour les carpes non stériles à cause de leur capacité à se reproduire (Cudmore et al., 2017).

Il est ensuite assez étonnant de voir que toutes les méthodes ont un impact relativement neutre sur le SE contrôle des maladies et des ravageurs qui comprend les espèces exotiques envahissantes. Une explication possible peut être le principe de niche écologique vide après avoir ôté l'EEE. En effet, les écosystèmes comportant des niches écologiques vides ou relativement disponibles sont particulièrement peu résilients face aux invasions biologiques (Mack et al., 2000 ; Williamson, 1996). L'application d'une méthode de gestion enlevant une grande masse de végétaux participe donc automatiquement à la diminution de la résilience de l'écosystème ciblé par la mise à disposition d'une partie plus ou moins grande de l'espace. Le fait de devoir considérer à la fois le contrôle ou l'éradication d'une EEE et la mise en place d'une action qui potentiellement va rendre disponible une partie de l'espace pour une éventuelle nouvelle invasion a finalement pu semer le doute parmi les experts durant l'évaluation et amener cet effet neutre des méthodes qui est assez inattendu.

En ce qui concerne les services culturels, il y a des différences particulièrement évidentes entre les arrachages manuels ou mécaniques et les autres méthodes. Cela pourrait par exemple justifier leur utilisation dans des contextes où le public est fort présent, notamment dans des parcs urbains. L'utilisation des autres méthodes n'étant pas pour autant non pertinente. Il est en effet courant d'entretenir les étangs des villes grâce aux mises en assec afin de réduire l'envasement, de contrôler le développement de certaines plantes ou encore de gérer les espèces exotiques envahissantes (Bruxelles environnement, 2015). La mise en assec est pourtant une des pires méthodes concernant l'impact sur les SE culturels selon les *figures 8 et 9*. Son multi-fonctionnalisme lui permet néanmoins d'être la méthode la plus pertinente dans certaines situations et ce malgré ces effets négatifs.

6.3.2. Méthodes de gestion des plantes terrestres

Après 1 an, l'arrachage manuel, la débroussailluse et l'introduction d'herbivores ont des effets globalement nuls ou faiblement positifs sur les SE, avec pour exception les SE culturels pour l'introduction d'herbivores qui semblent avoir une amélioration plus conséquente. Cela pourrait s'expliquer par la valeur culturelle qui est attribuée au bétail indigène (Gandini et Villa, 2003) dont l'impacts positifs sur les SE a déjà été démontré (Leroy et al., 2018). La méthode labour ou fauche mécanique a des effets beaucoup plus négatifs, en particulier sur les SE de régulation et culturels. Il est en effet avéré que le labour ou la fauche à partir de tracteurs a des effets négatifs sur les sols à cause de sa compaction qui mène à des changements de structure, de texture et de rétention d'eau (Destain, 2013).

Après 5 ans, toutes les méthodes ont des impacts positifs sur les SE avec pour exception le labour ou la fauche qui ont encore des effets significatifs sur les SE "Régulation des flux d'air" et "Composition et formation des sols". Certaines études montrent en effet les dégâts de certains tracteurs ou de certaines machines sur les sols durant plusieurs années (Håkansson, 2005).

Si le nombre d'experts qui ont rempli les différentes cellules des matrices après 1 et 5 ans est satisfaisant, les degrés de certitude sur les cellules sont en général moyens ou faibles. La méthode labour ou fauche après 5 ans a des écarts types particulièrement importants pour 8 SE, ce qui est pour rappel synonyme d'un accord faible entre experts. Une explication potentielle est que le labour est trop différent de la fauche et que cela a amené une confusion chez les experts. En effet, si les deux méthodes font appel à des machines qui compactent les sols, affectant les propriétés de ce

dernier (Destain, 2013), la fauche agit plutôt en surface alors que le labour agit également en profondeur, ce qui a pu amener des divergences dans les scores attribués par les experts selon leurs considérations.

6.3.3. Méthodes de gestion des écrevisses

Après 1 an, les méthodes de gestion "pièges appâtés ou non", "pêche à la seine" et "introduction ou renforcement des populations de poissons prédateurs indigènes" ont des impacts neutres ou faiblement positifs. Le drainage temporaire a en revanche des impacts négatifs sur les SE de production, sur les SE culturels et sur la plupart des services de régulation, avec pour exception marquante le SE contrôle des maladies et des ravageurs qui est le plus positif parmi les 4 méthodes évaluées. Le drainage est de fait une des méthodes les plus efficace pour gérer les espèces envahissantes d'écrevisses, les autres méthodes évaluées atteignant rarement l'éradication (Krieg et al., 2020). Or, certaines écrevisses comme *Procambarus clarkii* sont porteuses de la peste des écrevisses, aussi appelée l'aphanomyose, qui est une maladie mortelle causée par le champignon *Aphanomyces astaci* (Diéguez-Uribeondo et al., 1997). Il est dès lors pertinent qu'une méthode plus efficace pour éradiquer des écrevisses envahissantes porteuses d'une maladie ait un meilleur score concernant sa capacité à améliorer le SE contrôle des maladies et des ravageurs. Le contrôle ne permettant de facto pas de stopper la transmission de la peste des écrevisses. Après 5 ans en revanche, toutes les méthodes ont une capacité assez semblable d'améliorer les différents SE.

Le degré de certitude des cellules est pour la plupart élevé voir moyen, excepté pour la méthode drainage temporaire après 1 an qui compte 6 évaluations de SE avec des degrés de certitude faibles, eux-mêmes dûs à des accords faibles entre les experts. Les matrices sont donc assez fiables même s'il faut faire attention à certaines cellules de SE pour la méthode du drainage temporaire après 1 an.

6.4. INTÉGRATION DES IMPACTS DES MÉTHODES SUR LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES AU CONTEXTE DE LEUR MISE EN PLACE

Le paragraphe précédent a permis de différencier globalement les méthodes de gestion des EEE de plantes aquatiques, de plantes terrestres et d'écrevisses selon leurs effets plus ou moins négatifs sur l'environnement et selon leur capacité à restaurer les SE après 1 ou 5 ans. Il est néanmoins important de les situer dans leur contexte d'application. En effet, le but premier d'une méthode de gestion est d'éradiquer ou de contrôler une espèce exotique envahissante qui a également des effets néfastes pour les écosystèmes. Un autre enjeu, en dehors des effets propres de l'espèce à un niveau local, est d'éviter la dispersion en dehors de l'aire d'émergence de l'EEE. De plus, une multitude de facteurs encadrent et influencent également les types de méthodes qui sont pertinents ou possiblement mis en place, comme les moyens financiers ou humains disponibles ou la taille de la zone d'invasion.

La méthode de gestion des écrevisses envahissantes la plus susceptible de les éradiquer est par exemple la plus dommageable pour l'environnement. La méthode de gestion des plantes aquatiques qui a le moins d'effets négatifs sur les SE est aussi très compliquée à mettre en place sur de très grande surface, ce qui ne la rend pas automatiquement la méthode la plus pertinente. La réflexion inverse possible est que s'il faut gérer un petit étang dans un jardin par exemple, le travail manuel suffira certainement en plus de ne pas produire tous les effets négatifs sur les SE qu'un comblement aurait pu produire. Les méthodes avec des impacts négatifs plus conséquents sur les écosystèmes ne sont donc pas à discréditer, leur mise en place mérite cependant d'autant plus d'attention pour réduire leurs effets négatifs sur l'environnement.

Selon Sarat et al. (2015), la gestion d'une EEE peut se résumer en 3 questions ; "Faut-il intervenir ?", "Comment s'en débarrasser ?" et "Comment vivre avec ?". La première constituant une ouverture à une multitude d'autres questions qu'il faut se poser :

Quel est le statut de l'espèce exotique envahissante qu'il faut gérer ? Ce statut pouvant être consulté à un niveau national (Belgian Biodiversity Platform, 2022), européen (Liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union européenne, 2022) ou mondial (Global Invasive Species Database, 2022).

Quels sont ses dégâts potentiels ? L'éradication est-elle un enjeu au niveau régional/national/continental ? L'éradication d'une population d'EEE isolée et unique au niveau d'un pays justifiera par exemple des moyens élevés et éventuellement des dégâts environnementaux plus conséquents sur le site de la gestion, ces moyens étant grandement compensés par les impacts potentiels que l'EEE aurait pu avoir dans le cas où elle se disperserait.

Dans le cas où toutes ces questions ont pour conclusion le besoin d'une intervention, il faut alors choisir le moyen d'éradiquer l'espèce, ou de la contrôler si l'éradication n'est plus possible. C'est là qu'il devient intéressant de confronter les impacts de l'EEE aux impacts sur les SE des différentes méthodes possibles, en plus d'évaluer les capacités de ces dernières à atteindre leur objectif selon la taille de la population à gérer, selon les moyens financiers ou humains disponibles et selon le contexte socio-éco-environnemental de la zone soumise à la gestion (Dana et al., 2019). L'articulation de toutes ces composantes permettant in fine de soutenir le choix d'une méthode de gestion comme étant la meilleure dans son contexte et pas la meilleure de manière générale, la solution idéale et applicable dans toutes les situations n'existant pour rappel pas (IUCN, 2015).

7. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'objectif de ce travail était de montrer l'impact que les méthodes de gestion des espèces exotiques envahissantes ont sur les services écosystémiques, ainsi que leur capacité à les restaurer. Les observations suivantes ont pu être réalisées.

Après 1 an, les méthodes de gestion des plantes aquatiques sont particulièrement dommageables pour les services écosystémiques. Les méthodes de gestion des plantes terrestres et des écrevisses ont des impacts assez neutres avec pour exception respectivement les méthodes "fauche ou labour mécanique" et "drainage temporaire" qui ont des effets négatifs sur les services écosystémiques.

Après 5 ans, très peu d'effets négatifs persistent. Toutes les méthodes de gestion des écrevisses permettent une amélioration des SE. La méthode de gestion des plantes terrestres "labour ou la fauche mécanique" est la seule à avoir des effets négatifs significatifs sur les SE. Enfin, les deux privations de lumière et l'introduction de carpes herbivores stériles pour la gestion des plantes aquatiques impactent encore quelques SE, alors que le comblement d'étang est la seule méthode évaluée dans ce travail qui a encore des effets négatifs, parfois très importants, sur tous les SE.

Une méthode avec des dégâts importants sur les SE ne remet néanmoins pas nécessairement en cause son utilisation. Les matrices de services écosystémiques réalisées ont en effet pour but de mieux comprendre les méthodes de gestion tout en intégrant les conséquences possibles de leur application pour mieux les compenser quand c'est possible. Ce travail permet finalement de voir que globalement les méthodes de gestion ont la capacité d'améliorer les services rendus par un écosystème qui a été fortement perturbé par une espèce exotique envahissante, même si certaines des méthodes le font plus rapidement que d'autres.

En ce qui concerne les perspectives, il est évident que quelques cellules des matrices croisant les méthodes avec les services écosystémiques semblent indiquer des avis divergents parmi les gestionnaires ou experts de la gestion des espèces exotiques envahissantes. Les raisons menant à des différences dans les opinions mériteraient d'être mieux comprises. De même, il serait intéressant d'étudier plus amplement le lien entre impact des méthodes sur les services écosystémiques et efficacité pour éradiquer ou contrôler l'espèce exotique envahissante ciblée.

8. CONTRIBUTIONS PERSONNELLES

Ma contribution personnelle à ce travail a je pense été particulièrement liée à mon expérience et mon parcours d'étude atypique en tant qu'étudiant à Gembloux Agro-Bio Tech. Je viens en effet d'un bachelier en géographie à l'Université Libre de Bruxelles qui m'a ensuite donné accès au master de bioingénieur en gestion des forêts et des espaces naturels. La pluridisciplinarité de la formation en géographie et son approche systémique du monde ont été de vrais atouts pour aborder les services écosystémiques alors que ma formation à Gembloux m'a permis de maîtriser les concepts liés aux espèces exotiques envahissantes et à leur gestion. La création de l'enquête en ligne a de plus fait appel à des compétences de communication et de graphisme que j'ai pu développer lors de projets personnels en dehors de l'Université, par exemple lors d'un projet de communication avec le Fair Trade Advocacy Office.

La poursuite des objectifs fixés par le projet LIFE RIPARIAS et mon mémoire m'ont finalement amené à innover dans les méthodologies d'évaluation des services écosystémiques, à coorganiser une journée d'étude, à participer à une conférence internationale sur les espèces exotiques envahissantes aquatiques à Ostende et à créer une enquête en ligne internationale en anglais, néerlandais et français. J'ai aussi participé à la diffusion de l'enquête par le biais de nombreux organismes, projets ou experts des espèces exotiques envahissantes et j'ai organisé un entretien individuel quand c'était nécessaire. J'ai également pu rencontrer de nombreux acteurs de la biodiversité en Belgique ou à l'internationale en plus d'avoir la chance d'être intégré dans les équipes du projet LIFE RIPARIAS.

Je retiendrai de ce grand projet la multitude d'activités auxquelles les chercheurs sont confrontés et le besoin incessant de se remettre en question pour ne pas commettre des erreurs dans les étapes qui marquent la création et la réalisation d'un projet quel qu'il soit.

9. BIBLIOGRAPHIE

1. Abson, D.J., von Wehrden, H., Baumgärtner, S., Fischer, J., Hanspach, J., Härdtle, W., Heinrichs, H., Klein, A.M., Lang, D.J., Martens, P., Walmsley, D., 2014. Ecosystem services as a boundary object for sustainability. *Ecological Economics* 103, 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.04.012>
2. Adriaens, T., Vandegehuchte, M., Casaer, J., 2018. Guidance for drafting best management practices for invasive alien species. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek. <https://doi.org/10.21436/inbor.14912489>
3. Barton, D.N., Harrison, P., Dunford, R., Gomez-Baggethun, E., Jacobs, S., Kelemen, E., Martín-López, B., Antunes, P., Aszalos, R., Badea, O., Baro, F., Berry, P., Carvalho, L., Czucz, B., Demeyer, R., Dick, J., Garcia Blanco, G., Garcia-Llorente, M., Giuca, R., Grizzetti, B., Hauck, J., Hendriks, K., Howard, D., Izakovicova, Z., Karlsen, M., Keune, H., Kopperoinen, L., Langemeyer, J., Liqueste, C., Luque, S., Lapola, D.M., Madsen, A.L., Norton, L., Martinez Pastur, G., Mukhopadhyay, R., Murherjee, R., Niemelä, J.K., Ochieng, J., Odee, D., Palomo, I., Pinho, P., Priess, J., Rusch, G.M., Saarikoski, H., Saarela, S.-R., Santos, R., Smith, A., Smith, R., Tenerelli, P., Termansen, M., Tuomasjukka, D., Turkelboom, F., van Eupen, M., Tjalling van der Wal, J., Vadineanu, A., Vari, A., Verheyden, W., Verweij, P., Woods, H., Yli-Pelkonen, V.J., Zulian, G., 2017. Integrated assessment and valuation of ecosystem services - Guidelines and experiences. European Commission. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15429.35043>
4. Belgian Biodiversity Platform, 2022. Invasive Alien Species in Belgium: Species List [WWW Document]. URL <https://ias.biodiversity.be/species/all> (accessed 7.20.22).
5. Bertolino, S., 2019. Preventing grey squirrel spread in northwest Italy, in: *Invasive Alien Species Colonisation Prevention: Your Guide to Early Detection and Rapid Response*.
6. Binimelis, R., Born, W., Monterroso, I., Rodríguez-Labajos, B., 2007. Socio-Economic Impact and Assessment of Biological Invasions. *Ecological Studies* 193, 331–347.
7. Bonar, S.A., Bolding, B., Divens, M., 2002. Effects of Triploid Grass Carp on Aquatic Plants, Water Quality, and Public Satisfaction in Washington State. *North American Journal of Fisheries Management* 22, 96–105. [https://doi.org/10.1577/1548-8675\(2002\)022<0096:EOTGCO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8675(2002)022<0096:EOTGCO>2.0.CO;2)
8. Branquart, E., Stiers, I., Vanderhoeven, S., Van Landuyt, W., Van Rossum, F., Verloove, F., 2013. Invasive Alien Species in Belgium [WWW Document]. URL <https://ias.biodiversity.be> (accessed 6.5.22).
9. Bruxelles Environnement, 2015. La mise en assec : un acte de gestion indispensable pour la bonne santé des étangs [WWW Document]. URL <https://environnement.brussels/news/la-mise-en-assec-un-acte-de-gestion-indispensable-pour-la-bonne-sante-des-etangs> (accessed 7.17.22).
10. Burkhard, B., Maes, J., 2017. Mapping ecosystem services.
11. Campagne, C.S., Roche, P., 2018. May the matrix be with you! Guidelines for the application of expert-based matrix approach for ecosystem services assessment and mapping. *OE* 3, e24134. <https://doi.org/10.3897/oneeco.3.e24134>
12. Campagne, C.S., Roche, P., Gosselin, F., Tschanz, L., Taton, T., 2017. Expert-based ecosystem services capacity matrices: Dealing with scoring variability. *Ecological Indicators* 79, 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.03.043>
13. Campagne, S., Roche, P., 2019. Évaluation de la capacité des écosystèmes de la région Hauts-de-France à produire des services écosystémiques. National Research Institute of Science and Technology for Environment and Agriculture.
14. Campagne, S.C., 2018. Évaluation des services écosystémiques par la méthode des matrices de capacité : analyse méthodologique et applications à l'échelle régionale (Sciences de l'environnement). Université d'Aix-Marseille.
15. Castro-Díez, P., Vaz, A.S., Silva, J.S., Loo, M., Alonso, Á., Aponte, C., Bayón, Á., Bellingham, P.J., Chiuffo, M.C., DiManno, N., Julian, K., Kandert, S., La Porta, N., Marchante, H., Maule, H.G., Mayfield, M.M., Metcalfe, D., Monteverdi, M.C., Núñez, M.A., Ostertag, R., Parker, I.M., Peltzer, D.A., Potgieter, L.J., Raymundo, M., Rayome, D., Reisman-Berman, O., Richardson, D.M., Roos, R.E., Saldaña, A., Shackleton, R.T., Torres, A., Trudgen, M., Urban, J., Vicente, J.R., Vilà, M., Ylioja, T., Zenni, R.D., Godoy, O., 2019. Global effects of non-native tree species on multiple ecosystem services. *Biol Rev* 94, 1477–1501. <https://doi.org/10.1111/brv.12511>

16. Cicchetti, D.V., 1994. Guidelines, criteria, and rules of thumb for evaluating normed and standardized assessment instruments in psychology. *Psychological Assessment* 6, 284–290. <https://doi.org/10.1037/1040-3590.6.4.284>
17. Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
18. Costanza, R., Folke, C., 1997. Valuing Ecosystem Services with Efficiency, Fairness and Sustainability as Goals, in: Daily, G.C. (Ed.), *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, DC.
19. Crepin, É., 2021. *Élaboration d'un guide de bonnes pratiques pour la gestion des plantes aquatiques et des écrevisses envahissantes*. Université de Liège.
20. Cronin, K., Kaplan, H., Gaertner, M., Irllich, U.M., Timm Hoffman, M., 2017. Aliens in the nursery: assessing the attitudes of nursery managers to invasive species regulations. *Biol Invasions* 19, 925–937. <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1363-3>
21. Crowley, S.L., Hinchliffe, S., McDonald, R.A., 2017. Conflict in invasive species management. *Front Ecol Environ* 15, 133–141. <https://doi.org/10.1002/fee.1471>
22. Cudmore, B., Jones, L.A., Mandrak, N.E., Dettmers, J.M., Chapman, D.C., Kolar, C.S., Conover, G., 2017. Ecological Risk Assessment of Grass Carp (*Ctenopharyngodon idella*) for the Great Lakes Basin.
23. Cuthbert, R.N., Pattison, Z., Taylor, N.G., Verbrugge, L., Diagne, C., Ahmed, D.A., Leroy, B., Angulo, E., Briski, E., Capinha, C., Catford, J.A., Dalu, T., Essl, F., Gozlan, R.E., Haubrock, P.J., Kourantidou, M., Kramer, A.M., Renault, D., Wasserman, R.J., Courchamp, F., 2021. Global economic costs of aquatic invasive alien species. *Science of The Total Environment* 775, 145238. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145238>
24. Daily, G.C., 1997. Introduction: What Are Ecosystem Services?, in: *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*.
25. Dana, E.D., García-de-Lomas, J., Verloove, F., Vilà, M., 2019. Common deficiencies of actions for managing invasive alien species: a decision-support checklist. *NB* 48, 97–112. <https://doi.org/10.3897/neobiota.48.35118>
26. de Groot, R.S., Wilson, M.A., Boumans, R.M.J., 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41, 393–408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
27. Destain, M.-F., 2013. *La compaction des sols agricoles en Wallonie*.
28. Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R.T., Molnár, Z., Hill, R., Chan, K.M.A., Baste, I.A., Brauman, K.A., Polasky, S., Church, A., Lonsdale, M., Larigauderie, A., Leadley, P.W., van Oudenhoven, A.P.E., van der Plaats, F., Schröter, M., Lavorel, S., Aumeeruddy-Thomas, Y., Bukvareva, E., Davies, K., Demissew, S., Erpul, G., Failler, P., Guerra, C.A., Hewitt, C.L., Keune, H., Lindley, S., Shirayama, Y., 2018. Assessing nature's contributions to people. *Science* 359, 270–272. <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>
29. Diéguez-Urbeondo, J., Temiño, C., Múzquiz, J.L., 1997. The crayfish plague fungus (*Aphanomyces astaci*) in Spain. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 753–763. <https://doi.org/10.1051/kmae/1997051>
30. Dufrêne, M., 2020. *Quantification des services écosystémiques*.
31. Durand, J., Fleenor, W., McElreath, R., Santos, M.J., Moyle, P., 2016. Physical Controls on the Distribution of the Submersed Aquatic Weed *Egeria densa* in the Sacramento–San Joaquin Delta and Implications for Habitat Restoration. *San Francisco Estuary and Watershed Science* 14. <https://doi.org/10.15447/sfew.2016v14iss1art4>
32. Dutartre, A., Mazaubert, É., Poulet, N., 2012. Comment gérer les espèces exotiques envahissantes ? *Sciences Eaux & Territoires Numéro* 6, 18–25. <https://doi.org/10.3917/set.006.0018>
33. Early, R., Bradley, B.A., Dukes, J.S., Lawler, J.J., Olden, J.D., Blumenthal, D.M., Gonzalez, P., Grosholz, E.D., Ibañez, I., Miller, L.P., Sorte, C.J.B., Tatem, A.J., 2016. Global threats from invasive alien species in the twenty-first century and national response capacities. *Nat Commun* 7, 12485. <https://doi.org/10.1038/ncomms12485>
34. Ellis, E.C., Pascual, U., Mertz, O., 2019. Ecosystem services and nature's contribution to people: negotiating diverse values and trade-offs in land systems. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 38, 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.05.001>

35. European Commission. Joint Research Centre., 2019. Invasive alien species impact on ecosystem services: Asian hornet (*Vespa velutina nigrithorax*) case study. Publications Office, LU.
36. Eviner, V.T., Garbach, K., Baty, J.H., Hoskinson, S.A., 2012. Measuring the Effects of Invasive Plants on Ecosystem Services: Challenges and Prospects. *Invasive Plant Science and Management* 5, 125–136. <https://doi.org/10.1614/IPSM-D-11-00095.1>
37. Fabry, A., 2017. Mise en place d'un plan de lutte contre le raton laveur (*Procyon lotor*) et le chien viverrin (*Nyctereutes procyonoide*) dans le département de l'Aisne. Université de Picardie.
38. Fedele, E., Gervasini, E., Cardoso, A.C., La Notte, A., Vallecillo, S., Tsiamis, K., Maes, J., 2019. Invasive alien species impact on ecosystem services: Asian hornet (*Vespa velutina nigrithorax*) case study. Publications Office, LU.
39. Felipe-Lucia, M.R., Comín, F.A., Escalera-Reyes, J., 2015. A framework for the social valuation of ecosystem services. *AMBIO* 44, 308–318. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0555-2>
40. Fenneteau, H., 2015. L'enquête: entretien et questionnaire, 3e éd. ed, Les topos. Dunod, Paris.
41. Feuillette, S., Levrel, H., Blanquart, S., Gorin, O., Monaco, G., Penisson, B., Robichon, S., 2015. Évaluation monétaire des services écosystémiques. Un exemple d'usage dans la mise en place d'une politique de l'eau en France. *Nat. Sci. Soc.* 23, 14–26. <https://doi.org/10.1051/nss/2015004>
42. Gallardo, B., Bacher, S., Bradley, B., Comín, F.A., Gallien, L., Jeschke, J.M., Sorte, C.J.B., Vilà, M., 2019. InvasiBES: Understanding and managing the impacts of Invasive alien species on Biodiversity and Ecosystem Services. *NB* 50, 109–122. <https://doi.org/10.3897/neobiota.50.35466>
43. Gamer, M., Lemon, J., Singh, I.F.P., 2019. irr: Various Coefficients of Interrater Reliability and Agreement.
44. Gandini, G.C., Villa, E., 2003. Analysis of the cultural value of local livestock breeds: a methodology. *J Anim Breed Genet* 120, 1–11. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0388.2003.00365.x>
45. García-Llorente, M., Martín-López, B., González, J.A., Alcorlo, P., Montes, C., 2008. Social perceptions of the impacts and benefits of invasive alien species: Implications for management. *Biological Conservation* 141, 2969–2983. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.09.003>
46. García-Llorente, M., Martín-López, B., Nunes, P.A.L.D., González, J.A., Alcorlo, P., Montes, C., 2011. Analyzing the Social Factors That Influence Willingness to Pay for Invasive Alien Species Management Under Two Different Strategies: Eradication and Prevention. *Environmental Management* 48, 418–435. <https://doi.org/10.1007/s00267-011-9646-z>
47. Gherardi, F., Aquiloni, L., Diéguez-Uribeondo, J., Tricarico, E., 2011. Managing invasive crayfish: is there a hope? *Aquat Sci* 73, 185–200. <https://doi.org/10.1007/s00027-011-0181-z>
48. Global Invasive Species Database [WWW Document], 2022. URL http://www.iucngisd.org/gisd/100_worst.php (accessed 7.22.22).
49. Haines-Young, R., Potschin, M., 2012. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4. European Environment Agency.
50. Haines-Young, R., Potschin-Young, M., 2018. Revision of the Common International Classification for Ecosystem Services (CICES V5.1): A Policy Brief. *One Ecosystem* 3, e27108. <https://doi.org/10.3897/oneeco.3.e27108>
51. Håkansson, I., 2005. Machinery-induced compaction of arable soils (Report No. 109). Uppsala.
52. Halford, M., Delbart, E., Pieret, N., Mahy, G., 2009. Peut-on gérer les espèces invasives? Cas d'études sur *Fallopia japonica*, *Heracleum mantegazzianum*, *Impatiens glandulifera* et *Acer rufinerve*. *Parcs et Réserves* 64.
53. Hallgren, K.A., 2012. Computing Inter-Rater Reliability for Observational Data: An Overview and Tutorial. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology* 8 (1).
54. Hardy, R., 2018. Invasive Species Compendium Detailed coverage of invasive species threatening livelihoods and the environment worldwide [WWW Document]. CABI. URL <https://www.cabi.org/isc/datasheet/71813#ce3003ec-d129-4b99-bf78-75c0676a1331>
55. Harrison, P.A., Dunford, R., Barton, D.N., Kelemen, E., Martín-López, B., Norton, L., Termansen, M., Saarikoski, H., Hendriks, K., Gómez-Baggethun, E., Czúcz, B., García-Llorente, M., Howard, D., Jacobs, S., Karlsen, M., Kopperoinen, L., Madsen, A., Rusch, G., van Eupen, M., Verweij, P., Smith, R., Tuomasjukka, D., Zulian, G., 2018. Selecting methods for ecosystem service assessment: A decision tree approach. *Ecosystem Services* 29, 481–498. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.016>

56. Harvey, N., 2021. A Simple Guide to Inter-rater, Intra-rater and Test-retest Reliability for Animal Behaviour Studies.
57. Hauck, J., Görg, C., Varjopuro, R., Ratamáki, O., Jax, K., 2013. Benefits and limitations of the ecosystem services concept in environmental policy and decision making: Some stakeholder perspectives. *Environmental Science & Policy* 25, 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2012.08.001>
58. Haury, J.J., Matrat, R., Hudin, S., Lambert, E., Anras, L., Dutartre, A., Bottner, B., Gentil, E., Gressette, S., Lorient, S., 2020. Manuel de gestion des plantes exotiques envahissant les milieux aquatiques et les berges du bassin Loire-Bretagne.
59. Hofstra, D.E., Clayton, J.S., Champion, P.D., Green, J.D., 1999. Distribution and Density of Vegetative Hydrilla Propagules in the Sediments of Two New Zealand Lakes. <http://aquaticcommons.org/id/eprint/1759>.
60. Hou, Y., Burkhard, B., Müller, F., 2013. Uncertainties in landscape analysis and ecosystem service assessment. *Journal of Environmental Management* 127, S117–S131. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.12.002>
61. Hughes, J., 2021. krippendorffsalpha: An R Package for Measuring Agreement Using Krippendorff's Alpha Coefficient. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2103.12170>
62. Hussner, A., Stiers, I., Verhofstad, M.J.J.M., Bakker, E.S., Grutters, B.M.C., Haury, J., van Valkenburg, J.L.C.H., Brundu, G., Newman, J., Clayton, J.S., Anderson, L.W.J., Hofstra, D., 2017. Management and control methods of invasive alien freshwater aquatic plants: A review. *Aquatic Botany* 136, 112–137. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2016.08.002>
63. Informations marketing pour grandes idées [WWW Document], n.d. . Mailchimp. URL <https://mailchimp.com/fr/> (accessed 6.27.22).
64. Ingram, J.C., Redford, K.H., Watson, J.E.M., 2012. Applying Ecosystem Services Approaches for Biodiversity Conservation: Benefits and Challenges. S.A.P.I.EN.S. Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society.
65. INTERNATIONAL CONFERENCE ON AQUATIC INVASIVE SPECIES (ICAIS) [WWW Document], 2022. URL <https://icaiss.org/> (accessed 6.5.22).
66. Isern Subich, M., Martínez Vilalta, J., 2013. The effect of pesticides and alien invasive species on soil biota and litter decomposition rates in a Mediterranean-climate ecosystem of Western Australia.
67. IUCN France, 2016. Les espèces exotiques envahissantes sur les sites d'entreprises. Livret 2 : Identifier et gérer les principales espèces. Paris, France.
68. IUCN France, 2015. Les espèces exotiques envahissantes sur les sites d'entreprises. Paris.
69. IUCN (International Union for Conservation of Nature), 2000. Guidelines for the Prevention of Biodiversity Loss Caused by Alien Invasive Species.
70. Jacobs, S., Burkhard, B., Van Daele, T., Staes, J., Schneiders, A., 2015. 'The Matrix Reloaded': A review of expert knowledge use for mapping ecosystem services. *Ecological Modelling* 295, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.08.024>
71. Jacobs, S., Dendoncker, N., Martín-López, B., Barton, D.N., Gomez-Baggethun, E., Boeraeve, F., McGrath, F.L., Vierikko, K., Geneletti, D., Sevecke, K.J., Pipart, N., Primmer, E., Mederly, P., Schmidt, S., Aragão, A., Baral, H., Bark, R.H., Briceno, T., Brogna, D., Cabral, P., De Vreese, R., Liqueste, C., Mueller, H., Peh, K.S.-H., Phelan, A., Rincón, A.R., Rogers, S.H., Turkelboom, F., Van Reeth, W., van Zanten, B.T., Wam, H.K., Washbourne, C.-L., 2016. A new valuation school: Integrating diverse values of nature in resource and land use decisions. *Ecosystem Services* 22, 213–220. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.11.007>
72. Jacquemart, A.-L., Vervoort, A., Lhoir, P., Vanparys, V., Dassonville, N., Saad, L., Vanderhoeven, S., Mahy, G., Cawoy, V., 2009. Invasions biologiques : un peu de vocabulaire. *Silva Belgica*.
73. Jax, K., Barton, D.N., Chan, K.M.A., de Groot, R., Doyle, U., Eser, U., Görg, C., Gómez-Baggethun, E., Griewald, Y., Haber, W., Haines-Young, R., Heink, U., Jahn, T., Joosten, H., Kerschbaumer, L., Korn, H., Luck, G.W., Matzdorf, B., Muraca, B., Neßhöver, C., Norton, B., Ott, K., Potschin, M., Rauschmayer, F., von Haaren, C., Wichmann, S., 2013. Ecosystem services and ethics. *Ecological Economics* 93, 260–268. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.06.008>
74. Jernelöv, A., 2017. The Long-Term Fate of Invasive Species. Springer International Publishing, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-55396-2>

75. Kapitza, K., Zimmermann, H., Martín-López, B., Wehrden, H. von, 2019. Research on the social perception of invasive species: a systematic literature review. *NeoBiota* 43, 47–68. <https://doi.org/10.3897/neobiota.43.31619>
76. Kenter, J.O., 2018. IPBES: Don't throw out the baby whilst keeping the bathwater; Put people's values central, not nature's contributions. *Ecosystem Services* 33, 40–43. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.08.002>
77. Koo, T.K., Li, M.Y., 2016. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of Chiropractic Medicine* 15, 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>
78. Krieg, R., King, A., Zenker, A., 2020. Measures to Control Invasive Crayfish Species in Switzerland: A Success Story? *Front. Environ. Sci.* 8, 609129. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.609129>
79. Krippendorff, K., 2011. Computing Krippendorff's Alpha-Reliability. *Departmental Papers (ASC)*.
80. Krippendorff, K., 2004a. *Content analysis: an introduction to its methodology*, 2nd ed. Sage, Thousand Oaks, Calif.
81. Krippendorff, K., 2004b. Reliability in Content Analysis.: Some Common Misconceptions and Recommendations. *Human Comm Res* 30, 411–433. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2958.2004.tb00738.x>
82. Larson, D.L., Phillips-Mao, L., Quiram, G., Sharpe, L., Stark, R., Sugita, S., Weiler, A., 2011. A framework for sustainable invasive species management: Environmental, social, and economic objectives. *Journal of Environmental Management* 92, 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.08.025>
83. Leroy, G., Hoffmann, I., From, T., Hiemstra, S.J., Gandini, G., 2018. Perception of livestock ecosystem services in grazing areas. *Animal* 12, 2627–2638. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001027>
84. Liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union européenne [WWW Document], n.d. . European Commission. URL https://ec.europa.eu/environment/nature/invasivealien/list/index_en.htm (accessed 7.22.22).
85. Lugen, M., 2018. *Petite guide de méthodologie de l'enquête*. Université Libre de Bruxelles.
86. Mack, R.N., Simberloff, D., Mark Lonsdale, W., Evans, H., Clout, M., Bazzaz, F.A., 2000. BIOTIC INVASIONS: CAUSES, EPIDEMIOLOGY, GLOBAL CONSEQUENCES, AND CONTROL. *Ecological Applications* 10, 689–710. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[0689:BICEGC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[0689:BICEGC]2.0.CO;2)
87. Maebe, L., Claessens, H., Dufrêne, M., 2019. The critical role of abiotic factors and human activities in the supply of ecosystem services in the ES matrix. *OE* 4, e34769. <https://doi.org/10.3897/oneeco.4.e34769>
88. Martínez-Cillero, R., Willcock, S., Pérez-Díaz, A., Joslin, E., Vergeer, P., Peh, K.S. -H., 2019. A practical tool for assessing ecosystem services enhancement and degradation associated with invasive alien species. *Ecol Evol* 9, 3918–3936. <https://doi.org/10.1002/ece3.5020>
89. Martín-López, B., Iñiesta-Arandia, I., García-Llorente, M., Palomo, I., Casado-Arzuaga, I., Amo, D.G.D., Gómez-Baggethun, E., Oteros-Rozas, E., Palacios-Agundez, I., Willaarts, B., González, J.A., Santos-Martín, F., Onaindia, M., López-Santiago, C., Montes, C., 2012. Uncovering Ecosystem Service Bundles through Social Preferences. *PLoS ONE* 7, e38970. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038970>
90. Mayer, K., Haeuser, E., Dawson, W., Essl, F., Kreft, H., Pergl, J., Pyšek, P., Weigelt, P., Winter, M., Lenzner, B., van Kleunen, M., 2017. Naturalization of ornamental plant species in public green spaces and private gardens. *Biol Invasions* 19, 3613–3627. <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1594-y>
91. McGraw, K.O., Wong, S.P., 1996. Forming inferences about some intraclass correlation coefficients. *Psychological Methods* 1, 30–46. <https://doi.org/10.1037/1082-989X.1.1.30>
92. McHugh, M.L., 2012. Interrater reliability: the kappa statistic. *Biochem Med (Zagreb)* 22, 276–282.
93. McNeish, D., 2018. Thanks Coefficient Alpha, We'll Take It From Here. *Psychological Methods* 23, 412–433.
94. Meyerson, L.A., Mooney, H.A., 2007. Invasive alien species in an era of globalization. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5, 199–208. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[199:IASIAE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[199:IASIAE]2.0.CO;2)
95. Millennium Ecosystem Assessment (Ed.), 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington, DC.
96. Monty, A., 2020. *Gestion de la Biodiversité*.
97. Mooney, H.A., Cleland, E.E., 2001. The evolutionary impact of invasive species. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 98, 5446–5451. <https://doi.org/10.1073/pnas.091093398>
98. Mooney, H.A., Mack, R.N., McNeely, J.A., Neville, L.E., Schei, P.J., Waage, J.K., 2005. *Invasive alien species : a new synthesis*.

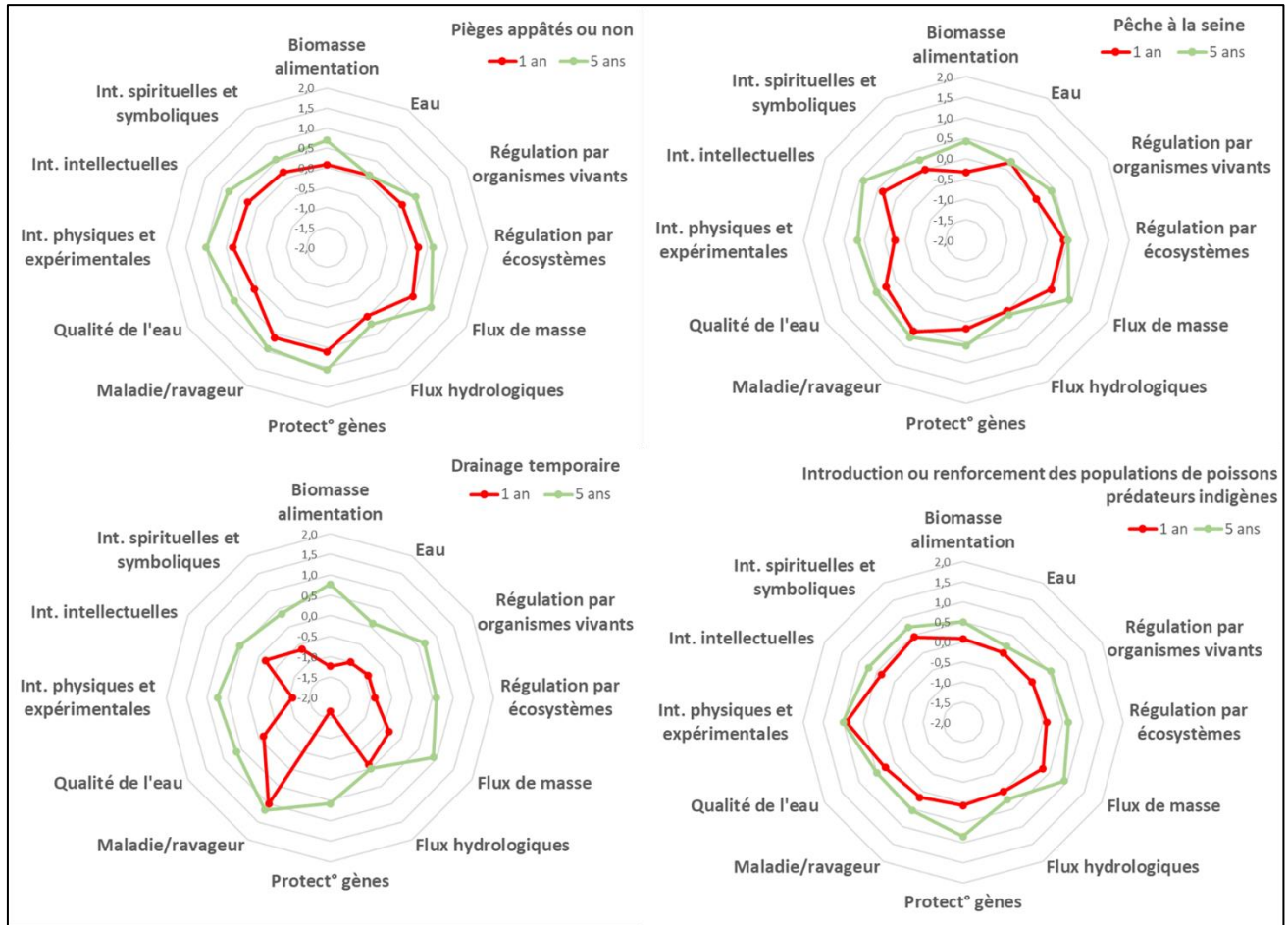
99. Mouchet, M.A., Lamarque, P., Martín-López, B., Crouzat, E., Gos, P., Byczek, C., Lavorel, S., 2014. An interdisciplinary methodological guide for quantifying associations between ecosystem services. *Global Environmental Change* 28, 298–308. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.07.012>
100. Mukherjee, N., Zabala, A., Hüge, J., Nyumba, T.O., Adem Esmail, B., Sutherland, W.J., 2018. Comparison of techniques for eliciting views and judgements in decision-making. *Methods Ecol Evol* 9, 54–63. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12940>
101. Müller, F., De Groot, R., Willemen, L., 2010. Ecosystem Services at the Landscape Scale: the Need for Integrative Approaches. *LO* 23, 1–11. <https://doi.org/10.3097/LO.201023>
102. Pagès, M., Fischer, A., van der Wal, R., 2018. The dynamics of volunteer motivations for engaging in the management of invasive plants: insights from a mixed-methods study on Scottish seabird islands. *Journal of Environmental Planning and Management* 61, 904–923. <https://doi.org/10.1080/09640568.2017.1329139>
103. Piazza, F., Aquiloni, L., Peruzza, L., Manfrin, C., Simi, S., Marson, L., Edomi, P., Giulianini, P.G., 2015. Managing of *Procambarus clarkii* by X-ray sterilisation of males: Cytological damage to gonads. *Micron* 77, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2015.05.016>
104. Pípalová, I., 2006. A Review of Grass Carp Use for Aquatic Weed Control and its Impact on Water Bodies. *Journal of aquatic plant management* 44.
105. Pyšek, P., Hulme, P.E., Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, T.M., Carlton, J.T., Dawson, W., Essl, F., Foxcroft, L.C., Genovesi, P., Jeschke, J.M., Kühn, I., Liebhold, A.M., Mandrak, N.E., Meyerson, L.A., Pauchard, A., Pergl, J., Roy, H.E., Seebens, H., Kleunen, M., Vilà, M., Wingfield, M.J., Richardson, D.M., 2020. Scientists' warning on invasive alien species. *Biol Rev* 95, 1511–1534. <https://doi.org/10.1111/brv.12627>
106. Pyšek, P., Richardson, D.M., Rejmánek, M., Webster, G.L., Williamson, M., Kirschner, J., 2004. Alien plants in checklists and floras: towards better communication between taxonomists and ecologists. *Taxon* 53, 131–143. <https://doi.org/10.2307/4135498>
107. Ranganathan, J., Raudsepp-Hearne, C., Lucas, N., Irwin, F., Zurek, M., Bennett, K., Ash, N., West, P., 2008. *ECOSYSTEM SERVICES: A Guide for Decision Makers*. World Resources Institute. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4060.6164>
108. Revelle, W., 2022. Procedures for Psychological, Psychometric, and Personality Research.
109. Richardson, D.M., Pysek, P., Rejmanek, M., Barbour, M.G., Panetta, F.D., West, C.J., 2000. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Divers Distrib* 6, 93–107. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x>
110. Roche, P.K., Campagne, C.S., 2019. Are expert-based ecosystem services scores related to biophysical quantitative estimates? *Ecological Indicators* 106, 105421. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.05.052>
111. Saleh, A., Bista, K., 2017. Examining factors impacting online survey response rates in educational research: Perceptions of graduate students. *undefined* 13.
112. Sarat, E., Mazaubert, E., Dutartre, A., Poulet, N., Soubeyran Yohann, 2018a. Les espèces exotiques envahissantes dans les milieux aquatiques : connaissances pratiques et expériences de gestion.
113. Sarat, E., Mazaubert, E., Dutartre, A., Poulet, N., Soubeyran Yohann, 2018b. Les espèces exotiques envahissantes dans les milieux aquatiques : connaissances pratiques et expériences de gestion.
114. Sarat, E., Mazaubert, E., Dutartre, A., Poulet, N., Soubeyran Yohann, 2015. Les espèces exotiques envahissantes dans les milieux aquatiques : connaissances pratiques et expériences de gestion.
115. Shackleton, R.T., Adriaens, T., Brundu, G., Dehnen-Schmutz, K., Estévez, R.A., Fried, J., Larson, B.M.H., Liu, S., Marchante, E., Marchante, H., Moshobane, M.C., Novoa, A., Reed, M., Richardson, D.M., 2019a. Stakeholder engagement in the study and management of invasive alien species. *Journal of Environmental Management* 229, 88–101. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.044>
116. Shackleton, R.T., Richardson, D.M., Shackleton, C.M., Bennett, B., Crowley, S.L., Dehnen-Schmutz, K., Estévez, R.A., Fischer, A., Kueffer, C., Kull, C.A., Marchante, E., Novoa, A., Potgieter, L.J., Vaas, J., Vaz, A.S., Larson, B.M.H., 2019b. Explaining people's perceptions of invasive alien species: A conceptual framework. *Journal of Environmental Management* 229, 10–26. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.045>
117. Sharp, R.L., Larson, L.R., Green, G.T., 2011. Factors influencing public preferences for invasive alien species management. *Biological Conservation* 144, 2097–2104. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.04.032>

118. Shrout, P.E., Fleiss, J.L., 1979. Intraclass correlations: Uses in assessing rater reliability. *Psychological Bulletin* 86, 420–428. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.86.2.420>
119. Shweta, B., Bajpai, R., Chaturvedi, H., 2015. Evaluation of Inter-Rater Agreement and Inter-Rater Reliability for Observational Data: An Overview of Concepts and Methods. *Journal of the Indian Academy of Applied Psychology* 41.
120. Staudt, A., L'Ecuyer, P., 2020. Compute Krippendorff's Alpha.
121. Tassin, J., 2017. User de pesticides pour contrôler les espèces invasives : les facettes d'un paradoxe éthique. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*.
122. Thévenot, J., 2013. Synthèse et réflexions sur des définitions relatives aux invasions biologiques. Préambule aux actions de la stratégie nationale sur les espèces exotiques envahissantes (EEE) ayant un impact négatif sur la biodiversité. (No. Rapport SPN 2013/15). Muséum National d'Histoire naturelle, Paris.
123. Turkelboom, F., Leone, M., Jacobs, S., Kelemen, E., García-Llorente, M., Baró, F., Termansen, M., Barton, D.N., Berry, P., Stange, E., Thoonen, M., Kalóczkai, Á., Vadineanu, A., Castro, A.J., Czúcz, B., Röckmann, C., Wurbs, D., Odee, D., Preda, E., Gómez-Baggethun, E., Rusch, G.M., Pastur, G.M., Palomo, I., Dick, J., Casaer, J., van Dijk, J., Priess, J.A., Langemeyer, J., Mustajoki, J., Kopperoinen, L., Baptist, M.J., Peri, P.L., Mukhopadhyay, R., Aszalós, R., Roy, S.B., Luque, S., Rusch, V., 2018. When we cannot have it all: Ecosystem services trade-offs in the context of spatial planning. *Ecosystem Services* 29, 566–578. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.10.011>
124. van Oudenhoven, A.P.E., Schröter, M., Drakou, E.G., Geijzenborffer, I.R., Jacobs, S., van Bodegom, P.M., Chazee, L., Czúcz, B., Grunewald, K., Lillebø, A.I., Mononen, L., Nogueira, A.J.A., Pacheco-Romero, M., Perennou, C., Remme, R.P., Rova, S., Syrbe, R.-U., Tratalos, J.A., Vallejos, M., Albert, C., 2018. Key criteria for developing ecosystem service indicators to inform decision making. *Ecological Indicators* 95, 417–426. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.020>
125. Van Winckel, J., 2015. Impact of alien invasive species on ecosystem services: a tentative analysis for Europe. Universiteit Gent.
126. Vanderhoeven, S., Branquart, E., Grégoire, J.-C., Mahy, G., 2007. Les espèces exotiques envahissantes.
127. Varray, S., 2019. Manuel de gestion des espèces exotiques envahissantes du bassin Loire-Bretagne. Fédération des conservatoires d'espaces naturels, Orléans.
128. Vaz, A.S., Kueffer, C., Kull, C.A., Richardson, D.M., Vicente, J.R., Kühn, I., Schröter, M., Hauck, J., Bonn, A., Honrado, J.P., 2017. Integrating ecosystem services and disservices: insights from plant invasions. *Ecosystem Services* 23, 94–107. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.11.017>
129. Verbrugge, L.N.H., Van den Born, R.J.G., Lenders, H.J.R., 2013. Exploring Public Perception of Non-native Species from a Visions of Nature Perspective. *Environmental Management* 52, 1562–1573. <https://doi.org/10.1007/s00267-013-0170-1>
130. Vimercati, G., Kumschick, S., Probert, A.F., Volery, L., Bacher, S., 2020. The importance of assessing positive and beneficial impacts of alien species. *NB* 62, 525–545. <https://doi.org/10.3897/neobiota.62.52793>
131. Voorhies, J., 2002. Europe and the Age of Exploration [WWW Document]. Met Museum. URL https://www.metmuseum.org/toah/hd/expl/hd_expl.htm (accessed 6.1.22).
132. Williamson, M.H., Fitter, A., 1996. The characters of successful invaders. *Biological Conservation* 78, 163–170. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(96\)00025-0](https://doi.org/10.1016/0006-3207(96)00025-0)
133. Wittenberg, R., Cock, M.J.W., Global Invasive Species Programme (Eds.), 2001. Invasive alien species: a toolkit of best prevention and management practices. CABI Pub, Wallingford, Oxon, UK ; New York.
134. Wittmann, M.E., Jerde, C.L., Howeth, J.G., Maher, S.P., Deines, A.M., Jenkins, J.A., Whitley, G.W., Burbank, S.R., Chadderton, W.L., Mahon, A.R., Tyson, J.T., Gantz, C.A., Keller, R.P., Drake, J.M., Lodge, D.M., 2014. Grass carp in the Great Lakes region: establishment potential, expert perceptions, and re-evaluation of experimental evidence of ecological impact. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 71, 992–999. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2013-0537>
135. Wolff, S., Schulp, C.J.E., Verburg, P.H., 2015. Mapping ecosystem services demand: A review of current research and future perspectives. *Ecological Indicators* 55, 159–171. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.016>

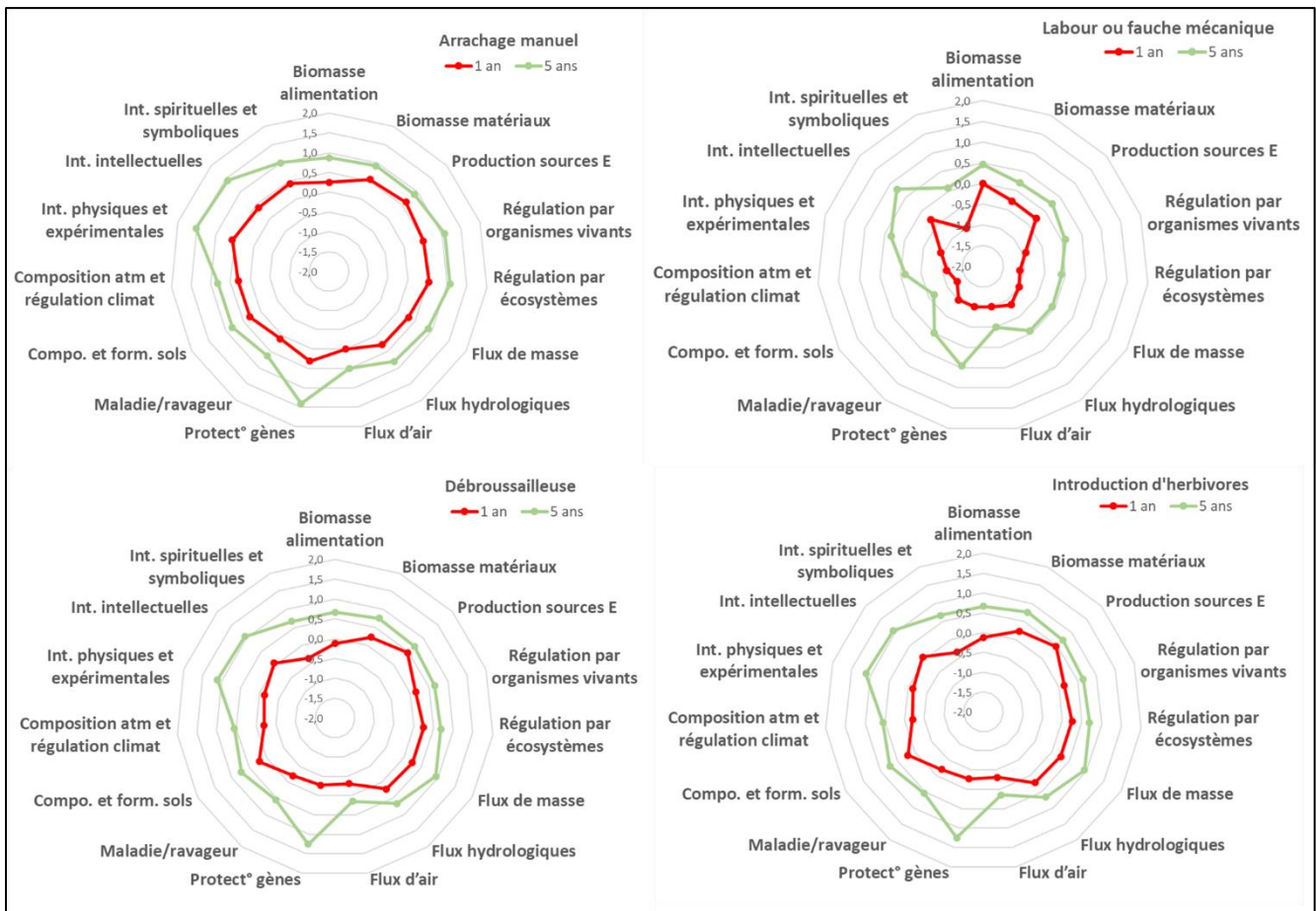
136. Woodford, D.J., Richardson, D.M., MacIsaac, H.J., Mandrak, N.E., van Wilgen, B.W., Wilson, J.R.U., Weyl, O.L.F., 2016. Confronting the wicked problem of managing biological invasions. *NB* 31, 63–86. <https://doi.org/10.3897/neobiota.31.10038>
137. Zapf, A., Castell, S., Morawietz, L., Karch, A., 2016. Measuring inter-rater reliability for nominal data – which coefficients and confidence intervals are appropriate? *BMC Med Res Methodol* 16, 93. <https://doi.org/10.1186/s12874-016-0200-9>

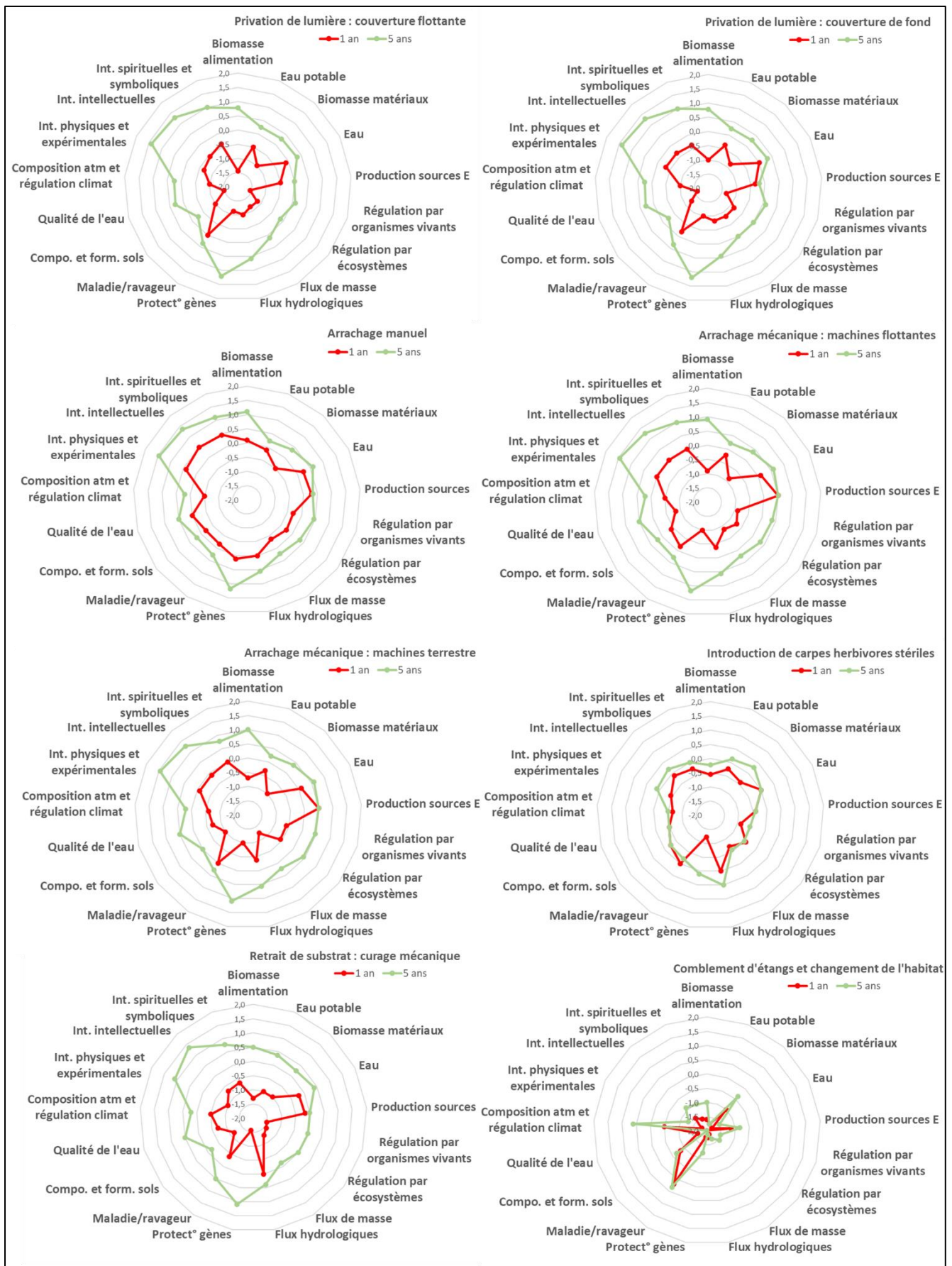
9. ANNEXES

Annexe 1. Graphiques en radar des impacts sur les SE des méthodes de gestion des écrevisses après 1 et 5 ans.



Annexe 2. Graphiques en radar des impacts sur les SE des méthodes de gestion des plantes terrestres après 1 et 5 ans.





Annexe 3. Graphiques en radar des impacts sur les SE des méthodes de gestion des plantes aquatiques après 1 et 5 ans.

Annexe 4. Condensé de l'enquête en ligne, version française

Bienvenue dans cette enquête en ligne qui vise à évaluer l'impact potentiel des méthodes de gestion des espèces exotiques envahissantes sur les services écosystémiques.

L'enquête est divisée en trois parties: méthodes de gestion des écrevisses, méthodes de gestion pour les plantes aquatiques et méthodes de gestion pour les plantes terrestres. Les méthodes de gestion évaluées dans cette enquête ont été sélectionnées sur base d'un travail préliminaire qui a identifié uniquement les meilleures pratiques. Des méthodes comme l'utilisation d'herbicides, biocides ou autres produits chimiques n'ont donc pas été incluses pour des raisons légales.

Prénom

Nom de famille

Dans quel type d'institution travaillez-vous ?

Où travaillez-vous majoritairement ?

Adresse email (Celle-ci ne sera pas utilisée ou partagée, le seul but est d'avoir un contact si nécessaire)

Comment cela fonctionne?

Principe

Le but n'est pas d'évaluer le niveau de chaque service fourni par un écosystème. En effet, nous désirons évaluer les modifications potentielles des services rendus après la mise en place d'actions de gestion. Dans cette enquête vous allez donc évaluer l'évolution des services sur deux périodes, entre une situation très envahie (état initial) et deux situations sous une gestion plus ou moins avancée (états finaux).

Deux périodes sont considérées:

- Un an: après cette période les actions de gestion sont toujours en cours.
- Cinq ans: après cette période les actions de gestion sont terminées, ou, dans le cas d'actions de contrôle récurrentes, toujours en cours.

La liste des méthodes de gestion considérées et des services écosystémiques pertinents ont été définis lors de réunions préliminaires avec des experts et des parties prenantes.

Hypothèses

Pour cette évaluation nous avons fait les hypothèses suivantes:

- Les méthodes de gestion sont appliquées d'une manière qui permet d'atteindre les objectifs
- Les méthodes de gestion sont appliquées dans des situations de stade très avancé d'invasion
- L'évaluation des services écosystémiques comprend l'impact de l'application des différentes méthodes ainsi que l'impact suivant le contrôle ou l'éradication de l'espèce invasive ciblée
- Une même méthode de gestion peut être considérée pour plusieurs espèces
- Les méthodes de gestions sont réalisées dans des situations typiques. Celles-ci pouvant être des situations que vous avez déjà observées, expérimentées.

Evaluation de l'évolution potentielle des services écosystémiques

Dans cet exercice, vous allez évaluer l'évolution des services écosystémiques sur deux périodes (1 et 5 ans) à partir d'une situation d'invasion très avancée et en utilisant une échelle allant de -2 à +2. Veuillez noter que le 0 correspond à une situation où le service est rendu mais pas modifié. Vous pouvez aussi décider qu'une combinaison méthode-SE n'a pas de sens et choisir l'option "non pertinent". Enfin, il y a la possibilité de laisser une cellule blanche si vous estimez que vous n'êtes pas apte à répondre.

Exemple:

Imaginez l'application d'une méthode qui diminue un service pendant deux ans, puis l'améliore progressivement à mesure que l'espèce envahissante disparaît et que l'environnement se reconstruit. Dans cette situation, vous pourriez évaluer la perte potentielle du service à -1 ou -2

après un an et l'évaluer à +1 ou +2 après 5 ans. Après 5 ans, vous pourriez également l'évaluer à 0 si vous considérez que seule la quantité de service perdue avec l'application de la méthode a été récupérée. Ce zéro signifie alors que le service considéré a la même valeur après 5 ans qu'avant l'application de la méthode de gestion.

Exemple concret : Imaginez la gestion mécanique d'espèces aquatiques avec des machines terrestres (depuis les berges). Après une année de gestion, quelle va-t-être l'évolution du service "régulation par l'écosystème"? Il va certainement diminuer à cause des machines qui vont altérer la végétation indigène, endommager les rives et augmenter la turbidité de l'eau voir relâcher des polluants. Après 5 ans, l'évaluation sera cependant peut-être différente puisque les espèces invasives seront probablement éradiquées et la végétation plus ou moins reconstituée.

Veillez choisir le groupe d'espèce (un seul pour l'instant) pour lequel vous vous sentez le plus apte à évaluer **l'impact potentiel des méthodes de gestion sur les services écosystémiques**. Chaque évaluation dure entre 20 et 30 minutes.

- Plantes aquatiques
- Plantes terrestres
- Écrevisses

* 6. Veuillez choisir le groupe d'espèce (un seul pour l'instant) pour lequel vous vous sentez le plus apte à évaluer **l'impact potentiel des méthodes de gestion sur les services écosystémiques**. Chaque évaluation dure entre 20 et 30 minutes.

Écrevisses (*Faxonius virilis*, *Procambarus virginalis*, *Procambarus clarkii*, etc.)

Plantes aquatiques (*Hydrocotyle ranunculoides*, *Ludwigia* spp., *Myriophyllum aquaticum*, *Myriophyllum heterophyllum*, *Cabomba caroliniana*, *Lagarosiphon major*, *Elodea* spp., etc.)

Plantes terrestres (*Heracleum* spp., *Impatiens glandulifera*, etc.)

18%

Préc.

Suiv.

Méthodes de gestion considérées :

1. Partie sur les méthodes de gestion des plantes aquatiques

Méthodes	Description	Durée	Éradication / contrôle	Exemple d'espèces
Privation de lumière: couverture flottante	Géotextile de jute ou bâche plastique flottant au dessus des masses de végétation. Entretien manuel.	4 mois. Entretien manuel durant 3 ans.	Éradication	<i>Ludwigia</i> spp., <i>Cabomba caroliniana</i>
Privation de lumière: couverture de fond	Géotextile de jute ou bâche plastique positionnée sur le substrat dans le fond de l'eau. Entretien manuel.	4 mois. Entretien manuel durant 3 ans.	Éradication	<i>Lagarosiphon major</i> , <i>Cabomba caroliniana</i> , <i>Myriophyllum aquaticum</i> , <i>M. heterophyllum</i>
Arrachage manuel en milieu aquatique	Enlever manuellement l'entièreté de la plante.	3 ans	Éradication ou bon niveau de contrôle	<i>Ludwigia</i> spp., <i>Lagarosiphon major</i> , <i>Cabomba caroliniana</i> , <i>Myriophyllum heterophyllum</i> , <i>M. aquaticum</i> , <i>Hydrocotyle ranunculoides</i>
Arrachage mécanique: machines flottantes	Déracinement mécanique et ramassage des plantes avec des machines flottantes. Entretien manuel.	Quelques jours. Entretien manuel durant 3 ans.	Éradication ou bon niveau de contrôle	<i>Ludwigia</i> spp., <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> , <i>Myriophyllum aquaticum</i> , <i>M. heterophyllum</i>

Photos non destinées à la publication

Méthode	Description	Durée	Éradication / contrôle	Exemple d'espèces
Arrachage mécanique : machines terrestre	Déracinement mécanique et ramassage des plantes avec des machines terrestres depuis les rives. Entretien manuel	Quelques jours. Entretien manuel durant 3 ans.	Éradication ou bon niveau de contrôle	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> , <i>Ludwigia</i> spp., <i>Myriophyllum aquaticum</i> , <i>M. heterophyllum</i>
Introduction de carpes herbivores stériles	Introduction de carpes herbivores stériles dans un environnement clos et contrôlé. Entretien manuel	2 à 3 ans. Entretien manuel durant 3 ans.	Éradication ou bon niveau de contrôle	<i>Cabomba caroliniana</i> , <i>Lagarosiphon major</i> , <i>Hydrocotyle ranunculoides</i>
Retrait de substrat: curage mécanique	Curer les sédiments du fond avec les racines, rhizomes ou autres parties de la plante invasive ciblée. La méthode est souvent précédée d'une mise à sec plus ou moins importante	Deux fois par an durant 2 à 3 ans. Entretien manuel durant 3 ans	Éradication ou bon niveau de contrôle	<i>Ludwigia</i> spp., <i>Cabomba caroliniana</i> , <i>Myriophyllum aquaticum</i>
Comblement d'étangs et changement de l'habitat	Comblement d'un étang avec des machines. Des plantations et semis de plantes terrestres indigènes sont réalisés.	Permanente	Éradication	<i>Cabomba caroliniana</i> , <i>Lagarosiphon major</i> , <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> , <i>Ludwigia</i> spp., <i>Myriophyllum aquaticum</i> , <i>Elodea</i> spp.

Photos non destinées à la publication

2. Partie sur les méthodes de gestion des plantes terrestres

Méthodes	Description	Durée	Éradication/ contrôle	Exemple d'espèces	
Arrachage manuel	Déracinement ou coupe sous le collet (Berce)	2 à 3 fois par an pendant minimum 3 ans	Éradication	<i>Heracleum spp.</i> , <i>Impatiens glandulifera</i> , <i>Lysichiton americanus</i>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: auto;"> <p><i>Photos non destinées à la publication</i></p> </div>
Labour ou fauche mécanique	Utilisation de machines agricoles pour détruire les plantes	2 à 3 fois par an pendant minimum 3 ans	Contrôle	<i>Heracleum spp.</i>	
Débroussailluse	Coupe des plantes au niveau du sol	3 fois par an durant 3 ans	Éradication	<i>Impatiens glandulifera</i>	
Introduction d'herbivores	Utilisation du bétail adapté pour brouter les plantes.	Permanente	Contrôle	<i>Heracleum spp.</i> , <i>Impatiens glandulifera</i>	

3. Partie sur les méthodes de gestion des écrevisses

Méthode	Description	Durée	Éradication /contrôle	Exemple d'espèces	
Pièges appâtés ou non	Utilisation de pièges adaptés (pièges en pyramide, coniques, à maille ...) ou de nasses régulièrement pour enlever autant d'individus que possible. Peu de prises d'autres espèces.	Permanent	Contrôle	<i>Faxonius virilis</i> , <i>Procambarus virginalis</i> , <i>Procambarus clarkii</i>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: auto;"> <p><i>Photos non destinées à la publication</i></p> </div>
Pêche à la seine	Utilisation d'un filet de seine en nylon pour attraper des écrevisses durant la journée. Tous les poissons attrapés sont relâchés.	Quelques jours	Contrôle	<i>Faxonius virilis</i> , <i>Procambarus virginalis</i> , <i>Procambarus clarkii</i>	
Drainage temporaire	Étang drainé naturellement ou par pompage. Placement de barrières autour de l'étang pour éviter les fuites d'écrevisses. Capture manuel des écrevisses. Chaulage des galeries pour assurer la mortalité.	2 ans ou plus	Éradication	<i>Faxonius virilis</i> , <i>Procambarus virginalis</i> , <i>Procambarus clarkii</i>	
Introduction ou renforcement des populations de poissons prédateurs indigènes	Introduction ou renforcement des populations de perches, brochets, anguilles	Permanent	Contrôle	<i>Faxonius virilis</i> , <i>Procambarus virginalis</i> , <i>Procambarus clarkii</i>	

Quel est votre niveau de connaissance des méthodes de gestion suivantes?

- Pas de connaissances
- Peu de connaissances
- Niveau de connaissance intermédiaire, pas d'expérience de terrain
- Connaissances avancées/ou expérience de terrain

Exemple pour les méthodes de gestion des écrevisses :

*** 7. Quel est votre niveau de connaissance des méthodes de gestion suivantes ?**

	Pas de connaissances	Peu de connaissances	Niveau de connaissance intermédiaire, pas d'expérience de terrain	Connaissances avancées/ou expérience de terrain
Pièges appâtés ou non	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pêche à la seine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Drainage temporaire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Introduction ou renforcement des populations de poissons prédateurs indigènes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Quels sont les impacts des méthodes suivantes sur le service écosystémique "voir la liste des services écosystémiques évalués au tableau 7"? Exemple: voir la liste des exemples propres à chaque service annexe 5...

NB : Cette question se répète donc 17 fois pour les plantes aquatiques, 15 fois pour les plantes terrestres et 12 fois pour les écrevisses car il y a respectivement 17, 15 et 12 services à évaluer pour chaque groupe d'espèces.

Exemple pour les méthodes de gestion des écrevisses avec le service biomasse pour l'alimentation.

8. Quels sont les impacts des méthodes suivantes sur le service écosystémique "Biomasse pour l'alimentation"? Exemple: cultures (blé, maïs, etc.); bétail; plantes sauvages, algues et champignons; aquaculture d'eau douce (saumon, truite, huîtres, etc.); miel sauvage, pêche d'eau douce...

	Biomasse pour l'alimentation (1 an)	Biomasse pour l'alimentation (5 ans)
Pièges appâtés ou non	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pêche à la seine	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Drainage temporaire	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Introduction ou renforcement des populations de poissons prédateurs indigènes	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pas de méthode appliquée	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Commentaire (pas obligatoire)

Il était ensuite possible de remplir une autre partie de l'enquête (par exemple si un expert voulait compléter les impacts des méthodes de gestion des plantes terrestres puis des plantes aquatiques).

* 20. Voulez-vous évaluer l'impact potentiel des méthodes de gestion sur les services écosystémiques pour un autre groupe d'espèce? (Si oui, veuillez choisir une seule option) Pour rappel, chaque évaluation dure 20 à 30 minutes. C'est également possible de compléter l'enquête plus d'une fois si vous désirez la remplir en plusieurs fois.

- Écrevisses (*Faxonius virilis*, *Procambarus virginalis*, *Procambarus clarkii*)
- Plantes aquatiques (*Hydrocotyle ranunculoides*, *Ludwigia spp.*, *Myriophyllum aquaticum*, *Myriophyllum heterophyllum*, *Cabomba caroliniana*, *Lagarosiphon major*, *Elodea spp.*, etc.)
- Plantes terrestres (*Heracleum spp.*, *Impatiens glandulifera*, etc.)
- Je désire arrêter l'enquête

Quel est votre niveau de connaissance des services écosystémiques de production/de régulation/culturels suivants?

Exemple pour les services écosystémiques de production.



* 21. Quel est votre niveau de connaissance des services écosystémiques de production suivants?

	Pas de connaissances	Peu de connaissances	Connaissance intermédiaire	Connaissance avancée
Biomasse pour l'alimentation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Eau potable	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Biomasse comme matériaux	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Eau non-potable	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Production de sources d'énergie	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Annexe 5. Liste des services écosystémiques (français)

Services de production	Exemple
Biomasse pour l'alimentation	Cultures (blé, maïs, etc.) ; bétail ; plantes sauvages, algues et champignons ; aquaculture d'eau douce (saumon, truite, huîtres, etc.); miel sauvage, pêche d'eau douce...
Eau potable	Précipitations collectées, eaux de surface et des lacs, rivières, etc. ; eau douce de nappes phréatique non fossiles ; eaux souterraines, etc...
Biomasse comme matériaux	Fibres, bois, charpente, peau, os, etc. qui sont directement utilisés (par exemple des coquillages comme ornementation) ou utilisés dans un procédé industriel (cellulose pour le papier, le coton pour les vêtements, roseaux pour les toits de chaume et paniers, etc.); matériaux biologiques utilisés comme engrais ou fourrage pour animaux en agriculture et aquaculture; Matériel utilisé en biochimie, dans l'industrie ou les processus pharmaceutiques (par exemple les médicaments, la fermentation, etc.)
Eau	Eaux de surface et souterraines pour usage domestique (nettoyage, lavage etc.) et industriels (élevage consommation, refroidissement, irrigation, etc.).
Production de sources d'énergie	Végétation utilisée comme combustible (bois, paille etc.) ; production de biogaz (peupliers, biogaz des déchets organiques, etc.) ; fumier, graisses et huiles d'animaux terrestres/d'eau douce comme carburant et pour la production d'énergie
Énergie mécanique	Travail physique fourni par les animaux (chevaux, bœufs, éléphants, etc....)
Services de régulation	Exemple
Régulation par les organismes vivants	Absorption, bioaccumulation, séquestration et fixation de métaux lourds et autres composants toxiques dans le biote ; épuration des eaux usées par les micro-organismes ; rhizo- et phyto- épuration.
Régulation par les écosystèmes	Intégrité de l'écosystème menant à filtration/séquestration/stockage/accumulation de substances par l'écosystème ; dilution des composants de forme solide, liquide et gazeux par des processus biotiques ; Régulation des effets visuels et du bruit par exemple par des arbres ; régulation des odeurs désagréables causées par la végétation, le fumier, les organismes morts/en décomposition ; atténuation des niveaux sonores élevés/gênants produits par les animaux, l'industrie, le trafic, etc.
Régulation des flux de masse, contrôle des flux d'érosion	Protection contre l'érosion, les glissements de terrain, etc. ; végétation pour protéger les berges des rivières, zones côtières, dunes, zones humides, etc. ; transport et stockage des sédiments dans les lacs, rivières...
Régulation des flux hydrologiques : cycle de l'eau, protection aux inondations	Maintien des flux d'approvisionnement et d'évacuation de l'eau ; de la couverture terrestre captant les précipitations ; végétation des berges de rivière et des zones humides comme tampon contre les inondations...
Régulation des flux d'air : protection aux tempêtes, ventilation	Végétation naturelle ou plantée qui sert de brise-vent ou permet la ventilation de l'air.

Maintien des habitats et protection des gènes	Pollinisation par les abeilles et autres insectes ; dispersion des graines par insectes, oiseaux et autres animaux ; habitats pour la reproduction, par exemple lieux de ponte pour les poissons d'eau douce comme les microstructures de rivières ; lieux d'accueil des oiseaux migrateurs...
Contrôles des maladies et des ravageurs	Lutte contre les ravageurs et les maladies dans écosystèmes naturels, agricoles ou urbanisés.
Composition et formation des sols	Fixation de l'azote ; décomposition/minéralisation de la matière organique morte ; fertilité du sol, stockage des nutriments, structure du sol, etc.
Qualité de l'eau	Maintien / Tampon de la composition chimique des colonnes d'eau et des sédiments afin d'assurer une vie favorable et de bonnes conditions pour les organismes vivants, par ex. par dénitrification, remobilisation/reminéralisation des phosphores, etc.
Composition atmosphérique et régulation du climat	Modification de la température, de l'humidité et du vent ; maintien du climat rural et urbain, de la qualité de l'air, des précipitations régionales, des températures ; Régulation du climat mondial par séquestration de gaz à effet de serre...
Services culturels	Exemple
Interactions physiques et expérimentales avec la faune/flore, les écosystèmes, le paysage	Observation de la faune et de la flore sauvage ; environnement pour la plongée, la marche, l'escalade, pêche de loisir, chasse de loisir...
Interactions intellectuelles avec la faune/flore, les écosystèmes, les paysages	Sujet pour la science, l'éducation et les arts (sur site ou via les médias, le cinéma, la musique, etc.). Paysage culturel tel que les landes, certains bassins versants qui font partie du patrimoine d'une région/d'un pays, etc.
Interactions spirituelles, symboliques avec la faune/flore, les écosystèmes ou les paysages	Plantes emblématiques et animaux comme symboles nationaux (aigle américain, rose britannique, jonquille galloise); identité spirituelle, rituelle, par ex. 'chemins de rêve' des natifs Australiens, lieux saints ; plantes et animaux sacrés...
Environnement comme source de bonheur et transmission aux générations futures	Observation d'espèces rares ou insaisissable (cerfs, aigle, baleine, etc.); plaisir de marcher dans un espace naturel (plage, forêt etc.)

Annexe 6. Liste des services écosystémiques (anglais)

Provisioning services	Example
Nutrition: biomass	Cereals, vegetables, fruits, meat, dairy products (milk, cheese, yoghurt), honey etc. Freshwater fish, marine fish, shellfish, fish from aquacultures...
Nutrition: water	Collected precipitation, abstracted surface water from rivers, lakes and other open water bodies, freshwater abstracted from (non-fossil) groundwater or via ground water desalination for drinking
Materials: biomass	Fibres, wood, timber, flowers, and other products, which are not further processed; material for production such as cellulose for paper, cotton for clothes; chemicals extracted or synthesised from algae, plants and animals such as natural remedies and medicines. Plant, algae and animal material for fodder and fertilizer in agriculture and aquaculture. Genetic material from wild plants, algae, and animals for biochemical industrial and pharmaceutical processes.
Materials: water	Collected precipitation, abstracted surface water from rivers, lakes and other open water bodies, freshwater abstracted from (non-fossil) groundwater layers or via ground water desalination for domestic use (washing, cleaning, and other non-drinking use), irrigation, livestock consumption, industrial use (consumption and cooling) etc.
Biomass-based energy sources	Wood fuel, straw, energy plants, crops and algae for burning and energy production
Mechanical energy	Physical labour provided by animals (horses, etc.)
Regulation services	Example
Mediation by biota	Bio-chemical detoxification / decomposition / mineralisation in land / soil, freshwater and marine systems including sediments; decomposition / detoxification of waste and toxic materials. Biological filtration / sequestration / storage / accumulation of pollutants in land / soil, freshwater and marine biota, adsorption and binding of heavy metals and organic compounds in biota.
Mediation by ecosystems	Combination of biotic and abiotic factors: Bio-physicochemical filtration / sequestration / storage / accumulation of pollutants in land / soil, freshwater and marine ecosystems, including sediments; adsorption and binding of heavy metals and organic compounds in ecosystems. Visual screening of transport corridors e.g. by trees; Green infrastructure to reduce noise and smells
Mediation of mass flows	Erosion / landslide / gravity flow protection; vegetation cover protecting/stabilising terrestrial, coastal and marine ecosystems, coastal wetlands, dunes; vegetation on slopes also preventing avalanches. Transport and storage of sediment by rivers, lakes
Mediation of liquid flows	Capacity of maintaining baseline flows for water supply and discharge, e.g. fostering groundwater; recharge by appropriate land coverage that captures effective rainfall; includes drought and water scarcity aspects. Flood protection by appropriate land coverage
Mediation of gaseous / air flows	Natural or planted vegetation that serves as shelter belts. Natural or planted vegetation that enables air ventilation
Lifecycle maintenance, habitat and gene pool protection	Pollination by bees and other insects; seed dispersal by insects, birds and other animals. Habitats for plant and animal nursery and reproduction e.g. seagrasses, microstructures of rivers etc.

Pest and disease control	invasive alien species, diseases in cultivated and natural ecosystems and human populations
Soil formation and composition	Weathering, decomposition, and fixing processes. Maintenance of bio-geochemical conditions of soils: - fertility, nutrient storage, or soil structure; includes biological, chemical, physical weathering and pedogenesis.
Water conditions	Maintenance / buffering of chemical composition of freshwater/seawater column and sediment to ensure favourable living conditions for biota by denitrification, re-mobilisation/re-mineralisation of phosphorous, etc.
Atmospheric composition and climate regulation	Global climate regulation by greenhouse gas/carbon sequestration by terrestrial ecosystems, water columns and sediments and their biota; transport of carbon into oceans (DOCs) etc. Modifying temperature, humidity, wind fields; maintenance of rural and urban climate and air quality and regional precipitation / temperature patterns
Cultural services	Example
Physical and experiential interactions with biota, ecosystems, and landscapes	In-situ whale and bird watching, snorkelling, diving etc. Walking, hiking, climbing, boating, leisure fishing (angling) and leisure hunting
Intellectual and representational interactions with biota, ecosystems, and landscapes	Subject matter for research both on location and via other media. Subject matter of education both on location and via other media. Historic records, cultural heritage e.g. preserved in water bodies and soils. Ex-situ viewing/experience of natural world through different media. Sense of place, artistic representations of nature
Spiritual and/or emblematic interactions with biota, ecosystems, and landscapes	Emblematic plants and animals, national symbols such as American eagle, British rose, Welsh daffodil. Spiritual, ritual identity such as 'dream paths' of native Australians, holy places...
Other cultural outputs	Enjoyment provided by wild species, wilderness, ecosystems, land-/seascapes. Willingness to preserve plants, animals, ecosystems, land-/seascapes for the experience and use of future generations; moral/ethical perspective or belief

Annexe 7. Liste des services écosystémiques (néerlandais)

Dienst	Voorbeeld
Voeding: biomassa	Granen, groenten, fruit, vlees, zuivelproducten (melk, kaas, yoghurt), honing enz. Zoetwatervis, zeevis, schaaldieren, aquacultuurvis ...
Voeding: water	Verzamelde neerslag, onttrokken oppervlaktewater uit rivieren, meren en andere open wateren, zoet water onttrokken aan (niet-fossiel) grondwater of via grondwaterontzilting voor drinkwater.
Materialen: biomassa	Vezels, hout, timmerhout, bloemen en andere producten, die niet verder worden verwerkt; productiemateriaal zoals cellulose voor papier, katoen voor kleding; chemicaliën gewonnen of gesynthetiseerd uit algen, planten en dieren zoals natuurlijke geneesmiddelen en medicijnen. Planten, algen en dierlijk materiaal voor toepassing in de landbouw en aquacultuur als veevoer en meststoffen. Genetisch materiaal van wilde planten, algen en dieren voor biochemische, industriële en farmaceutische processen.

Materialen: water	Verzamelde neerslag, onttrokken oppervlaktewater uit rivieren, meren en andere open wateren, zoet water onttrokken aan (niet-fossiel) grondwater of via grondwaterontziling voor huishoudelijk gebruik (wassen, schoonmaken en andere niet-drinkwatertoepassingen), irrigatie, drinkwater voor vee, industrieel gebruik (consumptie en koeling), enz.
Energiebronnen op basis van biomassa	Brandhout, stro, energieplanten, gewassen en algen voor verbranding en energieproductie.
Mechanische energie	Fysieke arbeid geleverd door dieren (paarden, enz.).
Dienst	Voorbeeld
Verwerking door levende organismen	Biochemische ontgiftiging/ afbraak/ mineralisatie in grond/ bodem-, zoetwater- en mariene systemen inclusief sedimenten; afbraak/ ontgiftiging van afval en giftige stoffen. Biologische filtratie/ vastlegging/ opslag/ accumulatie van verontreinigende stoffen in grond/ bodem-, zoetwater- en mariene biota, adsorptie en binding van zware metalen en organische stoffen in biota.
Verwerking door ecosystemen	Combinatie van biotische en abiotische factoren: Bio-fysisch-chemische filtratie/ vastlegging/ opslag/ accumulatie van verontreinigende stoffen in grond/ bodem-, zoetwater- en mariene ecosystemen, inclusief sedimenten; adsorptie en binding van zware metalen en organische verbindingen in ecosystemen. Visuele afscherming van transportcorridors door bv. bomen; groene infrastructuur om lawaai en stank te verminderen.
Reguleren van massastromen	Bescherming tegen erosie/ aardverschuivingen/ verzakkingen; vegetatiedek dat terrestrische, kust- en mariene ecosystemen beschermt/stabiliseert; vegetatie op hellingen die ook lawines voorkomt. Transport en opslag van sediment door rivieren, meren.
Reguleren van vloeibare stromen	Het vermogen om stromen voor waterlevering en -afvoer in stand te houden; bijv. het aanvullen van grondwater; aanvullen door geschikte begroeiing die regenwater vasthoudt; inclusief aspecten van droogte en watergebrek. Bescherming tegen overstromingen door geschikte begroeiing.
Reguleren van gas- en luchtstromen	Natuurlijke of geplante vegetatie die dient als windsingel. Natuurlijke of aangeplante vegetatie die luchtverversing mogelijk maakt.
In stand houden van de levenscyclus en bescherming van habitats en de genetische diversiteit	Bestuiving door bijen en andere insecten; zaadverspreiding door insecten, vogels en andere dieren. Habitats voor planten- en dierenkraamkamers en voortplanting, bijv. zeegrassen, microstructuren van rivieren enz.
Plaag- en ziektebeheersing	Invasieve exoten, ziekten in gecultiveerde en natuurlijke ecosystemen en menselijke populaties.
Bodemvorming en -samenstelling	Verwerings-, ontbindings- en fixatieprocessen. In stand houden van biogeochemische omstandigheden van de bodem: - vruchtbaarheid, opslag van voedingsstoffen, of bodemstructuur; omvat biologische, chemische, fysische verwerking en bodemvorming.
Omstandigheden voor water	In stand houden/ bufferen van de chemische samenstelling van de zoetwaterkolom en sediment om te zorgen voor gunstige leefomstandigheden voor biota, bijv. door denitrificatie, remobilisatie/ remineralisatie van fosfor, enz.

Samenstelling van de atmosfeer en klimaatregulatie	Mondiale klimaatregulatie door broeikasgas-/ koolstofopslag door terrestrische ecosystemen, waterkolommen en sedimenten en hun fauna en flora; transport van koolstof naar oceanen (DOC's), enz. Matigen van temperatuur, luchtvochtigheid en windvelden; in stand houden van rurale en stedelijke klimaat- en luchtkwaliteit en regionale neerslag- en temperatuurpatronen.
Dienst	Voorbeeld
Fysieke en intellectuele wisselwerkingen met levende organismen, ecosystemen en landschappen	In-situ walvissen en vogels kijken, snorkelen, duiken, enz. Wandelen, trekken, klimmen, varen, recreatief vissen (hengelen) en recreatieve jacht.
Intellectuele en symbolische wisselwerkingen met levende organismen, ecosystemen en landschappen	Onderzoeksonderwerp op locatie en via andere media. Onderwerp voor educatieve doeleinden op locatie en via andere media. Geschiedkundig archief, cultureel erfgoed enz. bewaard in waterlichamen en in de bodem. Ex-situ bekijken / ervaren van de natuurlijke wereld door middel van verschillende media. Plaatsgevoel, artistieke voorstellingen van de natuur.
Spirituele en/of symbolische wisselwerkingen met levende organismen, ecosystemen en landschappen	Symbolische planten en dieren, bijv. nationale symbolen zoals Amerikaanse adelaar, Britse roos, Welshe narcis. Spirituele, rituele identiteit, bijv. 'droompaden' van de oorspronkelijke Australiërs, heilige plaatsen ...
Andere culturele opbrengsten	Plezier verschaft door wilde soorten, wildernis, ecosystemen, landschappen, zeegezichten. Bereidheid om planten, dieren, ecosystemen, landschappen, zeegezichten te behouden voor de ervaring en de beleving van toekomstige generaties; moreel/ ethisch uitgangspunt of overtuiging.