



HAL
open science

Guide pour la prise en compte des services écosystémiques dans les évaluations des incidences sur l'environnement

C. Sylvie Campagne, Philip Roche

► To cite this version:

C. Sylvie Campagne, Philip Roche. Guide pour la prise en compte des services écosystémiques dans les évaluations des incidences sur l'environnement. Inrae; DREAL. 2021. hal-04040331

HAL Id: hal-04040331

<https://hal.science/hal-04040331>

Submitted on 22 Mar 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.


L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**PRÉFET
DE LA RÉGION
HAUTS-DE-FRANCE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

INRAE



**Guide pour la prise en compte
des services écosystémiques
dans les évaluations des
incidences sur l'environnement**

Auteurs :

C. Sylvie Campagne et Philip K. Roche

Étude commandée et financée par la DREAL Hauts-de-France, Service Eau et Nature de la DREAL Hauts-de-France , Jérémy Bachmann, Bénédicte Lefèvre et Frédéric Bince.

Avec la contribution des bureaux d'études Auddicé Biodiversité (Nicolas Valet et Coralie Burrow) et Biotope (Suzanne Cotillon et Florence Baptiste).

Citation : Campagne, C.S. et Roche, P.K. 2021. Guide pour la prise en compte des services écosystémiques dans les évaluations des incidences sur l'environnement, Guide méthodologique, DREAL, 131pages.

Édition : première édition

Version 1 : Novembre 2021

ISBN papier : 978-2-11-167087-7

ISBN pdf : 978-2-11-167086-0

Table des matières

Préface	7
Préambule	9
Acronymes	11
1. Pourquoi ce guide ?	13
1.1. Contexte réglementaire et environnemental par la DREAL Hauts-de-France	13
1.2. Objectif du guide	16
2. Notions de base sur les services écosystémiques	19
2.1. Concept de services écosystémiques	19
2.2. Définitions et catégories de services	19
2.3. Cadre d'analyse et sous-notions	22
2.4. Interaction entre les services	25
2.5. Les politiques publiques et les programmes d'évaluation	26
2.6. La littérature scientifique sur l'intégration des services écosystémiques dans les évaluations d'incidences sur l'environnement	27
2.7. Les différentes méthodes d'évaluation des services	31
2.8. Les services écosystémiques de la région Hauts-de-France	37
2.9. Modulation de la capacité en services écosystémiques et condition écosystémique	38
3. Évaluer les services écosystémiques	49
ÉTAPE 1 : délimitation des zones d'impact et des zones d'évaluations du projet	51
ÉTAPE 2 : identification des écosystèmes impactés	55
ÉTAPE 3 : priorisation des services écosystémiques	56
ÉTAPE 4 : évaluation des services écosystémiques	63
ÉTAPE 5 : bilan des gains et pertes en services écosystémiques	70
ÉTAPE 6 : intégration des résultats dans le rapport d'évaluation des incidences sur l'environnement	76
Check-list - étapes de la méthode	82
4. Exemples d'applications de la méthodologie	85
4.1. Projet de construction d'une route (exemple illustratif)	85
4.2. Plan Local d'Urbanisme (exemple fictif)	94
4.3. Exemple d'un parc d'activités, proposé par Auddicé Biodiversité	102
4.4. Exemple d'un site portuaire, proposé par le bureau d'étude Biotope	106
5. Discussion	113
6. Références bibliographiques	119
7. Annexes	125

Préface

Si la notion de "service rendu par la nature" est utilisée depuis la seconde moitié du XIXe siècle, le terme de service écosystémique a été introduit en 1970 dans les écrits scientifiques, et le concept a été popularisé au début des années 2000 par l'Evaluation des écosystèmes pour le millénaire (Millennium Ecosystem Assessment – MEA), dont l'objectif était d'évaluer, sur des fondements scientifiques, l'ampleur et les conséquences des modifications subies par les écosystèmes dont dépendent la survie et le bien-être humain. Ce concept s'est avéré fécond et propice à développer de nouveaux cadres pour penser la relation entre les activités humaines et la « Nature ». L'un de ses atouts est sa capacité à lier explicitement des enjeux écologiques et biophysiques avec des enjeux sociaux et économiques.

Les problématiques autour de la biodiversité et des services écosystémiques sont complexes et portées par une grande diversité d'acteurs, car bon nombre d'activités humaines vitales sont plus ou moins fortement liées à la biodiversité et aux écosystèmes. Or, il est observé une augmentation considérable des pressions sur la biodiversité et les ressources renouvelables et non renouvelables ainsi qu'une dégradation générale de l'environnement dont le changement climatique exacerbe les effets. De fait, les atteintes aux habitats et à la biodiversité fragilisent l'ensemble des écosystèmes et leurs services, accroissent leur vulnérabilité et diminuent leur résilience à divers aléas.

Les interactions entre les activités humaines, au sens large, la biodiversité et les services écosystémiques, sont associées à des enjeux opérationnels forts dans de nombreux secteurs : aménagement, agriculture, gestion des milieux ou des ressources naturelles dans les territoires, etc. La nécessité de transitions multiples (agricole, alimentaire, énergétique, etc.) exacerbe le besoin de démarches systémiques. Dans ce contexte, il est indispensable de renforcer, structurer et communiquer les savoirs et les savoir-faire susceptibles d'éclairer l'ensemble des acteurs, publics et privés, sous un angle propice à la gestion, à la décision et au passage à l'action. Ces enjeux sont au cœur des politiques scientifiques d'INRAE.

Organisme de recherche publique finalisée, INRAE génère des connaissances scientifiques nouvelles en combinant recherche fondamentale et recherche appliquée. Dédiées pour partie à la compréhension du fonctionnement des écosystèmes, à leur gestion et à leur préservation, les recherches d'INRAE explorent les liens entre la biodiversité, les fonctions écologiques et les services écosystémiques. La complexité des interactions au cœur des services écosystémiques nécessite de les aborder de manière ouverte à une diversité de points de vue et de disciplines. L'institut dédie ainsi un soutien spécifiques aux recherches interdisciplinaires via des instruments appelés métaprogrammes dont, pour le domaine concerné par ce guide, le métaprogramme BIOSEFAIR (BIOdiversité et Services Ecosystémiques). Une telle approche implique aussi de faire dialoguer les points de vue, dont celui des acteurs non scientifiques, pour co-construire les actions.

Acteur de service public soucieux de son impact pour l'ensemble de la société,

l'institut travaille avec des autorités publiques, des partenaires académiques, des partenaires de recherche technique, des acteurs socio-économiques et des citoyens. Il est attentif à l'utilisation des résultats et enseignements de ses recherches, notamment pour l'appui aux politiques publiques. En retour, le dialogue avec les acteurs porteurs de politiques publiques nourrit la recherche, avec l'émergence de nouvelles questions, et contribue à lui donner du sens. Le présent guide se veut une contribution importante aux défis posés par l'évaluation des incidences sur l'environnement. Il s'inscrit dans notre engagement à mobiliser les connaissances, le savoir-faire et l'expertise pour accélérer la conception et la mise en œuvre de solutions opérantes au bénéfice de la société.

Thierry Caquet, Directeur Scientifique Environnement d'INRAE

Préambule

La direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) des Hauts-de-France (HDF) a souhaité un guide facilement compréhensible et pratique.

Pour faciliter sa lecture, plusieurs choix de rédaction ont ainsi été faits, privilégiant l'opérationnel tout en permettant à ceux qui le désirent d'approfondir certaines parties.

Ce guide est ainsi composé des éléments suivants :

- **Le corps de texte** : avec les informations principales sans références bibliographiques sauf en cas de citations dans le texte. Ponctuellement, des encadrés sont présents pour mettre en avant des informations importantes spécifiques au chapitre en question.
- **EN SAVOIR PLUS** : pour ne pas alourdir le corps de texte, les références réglementaires et scientifiques sont présentes à la fin des paragraphes ou des chapitres dans des encadrés et elles sont ensuite regroupées à la fin du guide (Partie 6) par thèmes.
- **L'ESSENTIEL** (encadrés en tirets) : les principales idées à retenir sur la partie.
- **ALLER PLUS LOIN** (encadrés en pointillés) : des informations supplémentaires qui ne sont pas indispensables à la mise en œuvre de la méthode d'évaluation des services écosystémiques, mais qui permettent une évaluation intégrative plus complète.
- Un fichier Tableur annexe au guide avec l'ensemble des tableaux, prêt à remplir, pour chaque étape. Ce fichier sera téléchargeable sur la même page web que ce guide (voir QR code et lien en 4ème de couverture).

Il est fait référence aux évaluations des incidences sur l'environnement (EIE) pour englober les projets, plans et programmes (qui utilisent respectivement les termes études d'impacts et rapports sur les incidences environnementales).

Le guide est constitué de cinq parties. La première présente le contexte réglementaire et les raisons de ce guide. La seconde présente l'état de l'art et les détails des notions et méthodes concernant les services écosystémiques. La méthodologie est ensuite expliquée dans la troisième partie avec une approche technique et un exemple illustratif utilisé pour toutes les étapes. La quatrième partie expose plusieurs exemples d'applications sur la région Hauts-de-France proposés par des bureaux d'études. Le guide se termine par une conclusion. Une liste de références bibliographiques et une annexe comprenant les matrices de capacités pour la région Hauts-de-France complètent ce guide.

À noter ! Nous utilisons le terme « écosystème » tout le long du guide pour qualifier les écosystèmes et les différents modes d'occupation du sol. Le terme habitat est quelquefois utilisé notamment pour les écosystèmes les plus artificialisés.

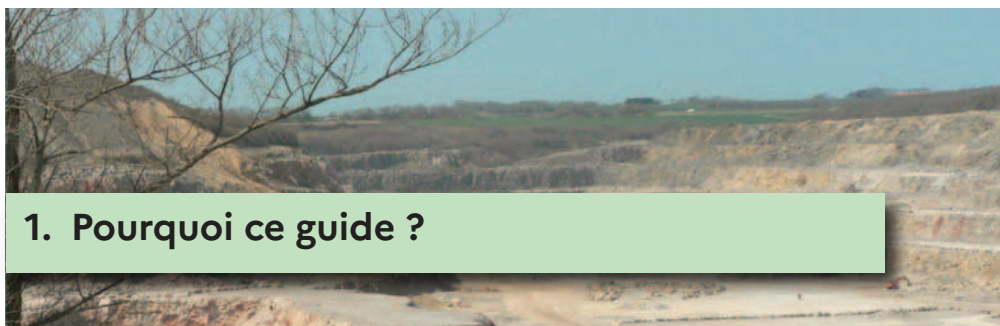
|

10

|

Acronymes

- CICES : Common International Classification of Ecosystem Services
- CDB : Convention pour la Diversité Biologique
- CNPN : Conseil National de la Protection de la Nature
- DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
- EES : Évaluation Environnementale Stratégique
- EFESE : Évaluation Française des Écosystèmes et des Services Écosystémiques
- EIE : Évaluation des Incidences sur l'Environnement
- GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat
- HDF : Hauts-de-France
- IPBES : Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques)
- MAES : Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services
- MEA : Millenium Ecosystem Assessment
- MTE : Ministère de la Transition Écologique et Solidaire (actuellement MTE)
- ONB : Observatoire National de la Biodiversité
- PLU : Plan Local d'Urbanisme
- PLUi : Plan Local d'Urbanisme intercommunal
- PPRN : Plan de Prévention des Risques Naturels
- PPP : Projet, Plan et Programme
- SE : Service Écosystémique
- SNB : Stratégie Nationale pour la Biodiversité



1. Pourquoi ce guide ?

1.1. Contexte réglementaire et environnemental par la DREAL Hauts-de-France

L'érosion de la biodiversité est de plus en plus évidente. Au niveau mondial, la plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) souligne un « dangereux déclin de la nature », qui inclut les fonctions des écosystèmes. La majorité des services écosystémiques (SE) évalués se dégradent.

En France, l'observatoire national de la biodiversité¹ (ONB) suit cinq pressions responsables de la disparition de la biodiversité et de nombreux indicateurs. Malgré la complexité d'évaluer l'évolution de la biodiversité, certains chiffres mettent en évidence que la biodiversité est menacée en France. En effet, seuls 20 % des écosystèmes remarquables sont en bon état et près de 20 % des espèces sont éteintes ou menacées.

En Hauts-de-France, l'observatoire régional de la biodiversité publie régulièrement un état des lieux de la biodiversité². Les indicateurs suivis montrent là encore une érosion rapide de la biodiversité. Par exemple, 45 %

des associations végétales régionales sont considérées comme disparues ou menacées et un tiers de l'avifaune régionale est menacée.

Les habitats et les espèces rendent des services à l'Homme. Leur dégradation ou disparition nuit à la qualité de vie des citoyens. Ces constats se traduisent par une prise en compte progressive des services écosystémiques dans la réglementation, et ce, à différentes échelles.

En Europe, la nouvelle stratégie pour la biodiversité³ mentionne plusieurs fois les services écosystémiques, soulignant leur grande valeur et leur caractère vital : « *La protection de la biodiversité se justifie clairement sur le plan économique. Les gènes, les espèces et les services écosystémiques sont des intrants indispensables à l'industrie et aux entreprises, notamment pour la production de médicaments. Plus de la moitié du PIB mondial dépend de la nature et des services qu'elle fournit et trois secteurs clés de l'économie (la construction, l'agriculture et la production alimentaire) en sont fortement tributaires.* »

1. <http://indicateurs-biodiversite.naturefrance.fr/>

2. <https://www.observatoire-biodiversite-hdf.fr/publications/etat-des-lieux-de-la-biodiversite-des-hauts-de-france-en-2019-1>

3. https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/communication-annex-eu-biodiversity-strategy-2030_fr.pdf

Au niveau mondial, il est estimé que des services écosystémiques d'une valeur de 3 500 à 18 500 milliards d'euros ont été perdus chaque année entre 1997 et 2011 en raison de la modification de l'occupation des sols.

En France, la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages de 2016 (2016-1087 du 8 août⁴) a introduit la nécessité de prendre en compte des services rendus par la nature, notamment dans l'article L.110-1 : I. « Les espaces, ressources et milieux naturels terrestres et marins, les sites, les paysages diurnes et nocturnes, la qualité de l'air, les êtres vivants et la biodiversité font partie du patrimoine commun de la nation. Ce patrimoine génère des services écosystémiques et des valeurs d'usage. »

II.2° Le principe d'action préventive et de correction [...] implique d'éviter les atteintes à la biodiversité et aux services qu'elle fournit ; à défaut, d'en réduire la portée ; enfin, en dernier lieu, de compenser les atteintes qui n'ont pu être évitées ni réduites, en tenant compte des espèces, des habitats naturels et des fonctions écologiques affectées ;"

III.2° « La préservation de la biodiversité, des milieux, des ressources ainsi que la sauvegarde des services qu'ils fournissent et des usages qui s'y rattachent » est un engagement du développement durable.

En Hauts-de-France, le schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET), approuvé le 4 août 2020, vise la préservation des services écosystémiques dans l'objec-

tif 43 et la règle générale 42. Tous les schémas de cohérence territoriale (SCoT) doivent prendre en compte ses objectifs et être compatibles avec les règles générales du fascicule de ce schéma. À leur tour, les documents infrastructures doivent être compatibles avec le SCoT qui les concerne.

Les plans d'aménagement des territoires sont les principaux outils influençant la distribution des utilisations et occupations du sol dans une zone. Il existe différents types d'outils d'aménagement selon les pays. En France, les plans d'aménagement ont pour but de « créer une organisation territoriale plus rationnelle des utilisations des terres et des liens entre elles, afin d'équilibrer les demandes de développement avec la nécessité de protéger l'environnement et d'atteindre les objectifs de développement social et économique ».

Le ministère en charge de l'environnement « est responsable, dans le cadre des directives européennes, de la définition et du suivi de la mise en œuvre de la politique nationale en matière d'évaluation environnementale des projets et des documents de planification » (MTES, 2018). Ceci est pris en compte via l'évaluation environnementale, processus permettant l'intégration de l'environnement dans les projets de planification, au travers de la mise en avant des enjeux environnementaux, des effets du projet sur l'environnement. Cela permet d'appuyer les choix en fonction de ces enjeux (MTES, 2018).

Dans les évaluations environnementales, l'environnement est appréhendé dans sa globalité en abordant la population et la santé humaine, la biodiversité, les terres, le sol, l'eau, l'air et le

4. <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000033016237&categorieLien=id>

climat, les biens matériels, le patrimoine culturel et le paysage, ainsi que les interactions entre ces éléments.

L'évaluation environnementale passe par la constitution d'une étude d'impact pour les projets ou d'un rapport sur les incidences environnementales pour les plans d'aménagement (MTES, 2018). La liste des projets, plans et programmes devant faire l'objet d'une évaluation environnementale ou d'un examen au cas par cas est précisée dans l'article R. 122-2 du code de l'environnement pour les projets et l'article R. 122-17 du code de l'environnement pour les plans et programmes. Pour prendre en compte l'environnement dans les plans et les programmes d'aménagement, des évaluations environnementales stratégiques (EES) sont généralement effectuées. Les EES sont des approches analytiques et participatives qui permettent d'évaluer les liens entre les considérations environnementales, économiques et sociales.

Les projets, plans et programmes d'aménagement ont des incidences (positives, négatives ou neutres) sur les services écosystémiques en impactant directement les écosystèmes, leur capacité à produire des SE et les compromis entre services. Les différents choix ou alternatives possibles dans les aménagements auront ainsi des effets différents sur les SE. Ainsi, connaître ces différences permet d'écartier certains choix au regard des SE qu'ils influencent. La prise en compte des SE permet d'intégrer la nature dite « ordinaire », qui est peu abordée actuellement, dans les évaluations environnementales. En effet, les études d'impact se concentrent essentiellement sur les espèces menacées

(listes rouges régionales et/ou nationales), les dossiers CNPN sur les espèces animales et/ou végétales protégées, les évaluations des incidences Natura 2000 sur les espèces de l'annexe 1 de la directive Oiseaux et sur les espèces et/ou écosystèmes des annexes 1 et 2 de la directive Habitats et enfin sur les études zones humides et sur celles désignées par l'arrêté de juin 2008 modifié.

La cartographie des SE, en mettant en avant des incidences non prévues par les études actuelles, permet de réduire des potentiels retards en raison d'impacts imprévus ou d'impacts sociaux involontaires. Prévoir les effets des projets, plans et programmes d'aménagement sur les SE est alors un besoin pour aller vers un aménagement durable du territoire.

Les évaluations environnementales comportent des éléments précis dont (i) une description des incidences notables sur l'environnement et (ii) des mesures envisagées pour éviter, réduire lorsque c'est possible et, si nécessaire, compenser les incidences résiduelles négatives notables (séquence ERc⁵). Nous souhaiterions pour ces deux aspects, intégrer une évaluation des SE. Nous présentons ici des tests de l'intégration des SE dans l'évaluation des incidences sur l'environnement.

Les analyses d'incidences peuvent être constituées de plusieurs étapes : la caractérisation des impacts environnementaux, la détermination de l'état futur du milieu et l'évaluation de l'amplitude des impacts au regard de l'état futur du milieu. Il peut s'ajouter

5. En région HDF, le choix a été fait de mettre un c minuscule pour mettre en évidence la priorité de l'évitement et de la réduction sur la compensation.

la comparaison des impacts calculés pour différents scénarios afin de sélectionner le projet le plus à même de minimiser les incidences sur l'environnement. Les impacts environnementaux liés aux aménagements sont entendus ici comme des pertes ou gains en SE.

Les impacts liés aux aménagements sont généralement calculés à partir des pertes ou gains nets d'écosystèmes, traduits en variations de surfaces productives en SE.

1.2. Objectif du guide

L'objectif de ce guide est de préciser les attentes de la DREAL Hauts-de-France relatives à la prise en compte des services rendus par la nature dans les évaluations des incidences sur l'environnement (EIE). Il ne constitue pas un cadre réglementaire, mais présente des recommandations et des propositions méthodologiques. Il est à destination des maîtres d'ouvrage, responsables de projets, plans ou programmes, bureaux d'études missionnés pour la réalisation de l'évaluation des incidences sur l'environnement et instructeurs des services de l'État.

Ce guide ne revient pas sur les grands principes de l'EIE. Il constitue un outil à intégrer dans la démarche itérative et l'analyse des différents scénarios, avec l'objectif prioritaire d'éviter les impacts.

La méthode proposée a été construite de sorte à être relativement simple, flexible et économe en ressources. Elle se focalise dans un premier temps sur la capacité des écosystèmes et des

modes d'occupation du sol à fournir des services écosystémiques. Nous avons volontairement laissé de côté à ce stade, la question de la demande sociale, des préférences et de l'accessibilité aux services. De même, dans le domaine de l'évaluation nous ne traitons pas de la compensation des services écosystémiques dans le cadre d'une démarche de non-perte nette de services. Cette approche sort du cadre de ce premier travail.

La démarche méthodologique proposée ne nécessite pas de compétences fortes en modélisation. Être spécialiste des services écosystémiques n'est pas non plus une nécessité, même si une bonne compréhension du concept et des systèmes de valeurs est nécessaire. Une bonne connaissance de l'écologie, des écosystèmes et des modes d'occupation du sol du territoire d'étude est un plus.

La méthode actuelle est adaptable, selon les situations et les besoins. Il reviendra aux personnes conduisant les évaluations de justifier leurs choix et arbitrages.

Les services écosystémiques reposent maintenant sur une grande quantité de travaux scientifiques et sont largement évoqués dans de nombreuses politiques et incitations liées à la conservation de l'environnement, mais également à la gestion durable des territoires et des ressources naturelles. Cependant, du fait même du foisonnement de travaux de recherche dans de nombreuses disciplines (écologie, sociologie, économie...), il existe une grande diversité d'approches et de méthodes, ce qui peut nuire à l'opérationnalisation et l'implémentation du concept.

Les méthodes d'évaluation sont très nombreuses (comme nous le détaillons partie 2.7 de ce guide). Certaines sont spécifiques à un ou plusieurs services écosystémiques ou à une situation donnée, d'autres concernent certaines composantes et domaines de valeurs des services écosystémiques. Cela conduit parfois à l'utilisation de méthodes inadaptées ou à la comparaison de résultats de natures différentes.

Les éléments présentés dans ce guide visent à expliciter ce qu'est un service écosystémique et comment les prendre en compte dans les projets, plans et programmes (PPP). Pour ce faire, certaines étapes sont nécessaires et pour chacune d'elles, différentes ap-

proches sont possibles. Il revient au pétitionnaire de justifier les choix méthodologiques opérés. La volonté de la DREAL et des auteurs de ce guide a été de donner une meilleure compréhension des services écosystémiques et de proposer une approche méthodologique suffisamment simple pour pouvoir être mise en œuvre sans nécessiter de travaux de recherche en amont.

Il s'agit d'une démarche évolutive et ce guide sera complété par la suite en fonction de l'évolution des connaissances, des retours d'expériences, de la réglementation ou des publications scientifiques sur le sujet.

À NOTER

Ce guide ne prescrit aucune mesure spécifique pour compenser une éventuelle perte en SE. La première raison est que ceux-ci doivent être compensés dans le cadre de l'article L161-1 du code de l'environnement (action réparatrice), mais ne sont mentionnés que dans les phases d'évitement et de réduction de l'article L110-1 du code de l'environnement (action préventive). Une seconde raison est que la compensation des services écosystémiques nécessite de développer une méthodologie et des critères complémentaires.

Notamment, il conviendrait d'évaluer la nature des mesures compensatoires et de prendre en compte une analyse des bénéficiaires des services, car de nombreux services écosystémiques ont des conditionnalités spatiales pour leur fourniture.

Lorsque l'on travaille à périmètre constant, cette conditionnalité spatiale reste stable en première approximation. Cependant de nombreuses solutions de compensation sont situées en dehors du site.



2. Notions de base sur les Services Écosystémiques

2.1. Concept de services écosystémiques

Le concept de services écosystémiques permet d'aborder les interdépendances entre la société et son environnement. Il met en avant l'importance des systèmes écologiques, la biodiversité et sa fonctionnalité, pour la société, les humains et leurs institutions et fait le lien entre ces deux entités.

Le concept de services écosystémiques a été initié afin de soutenir les efforts de conservation par la démonstration du rôle joué par les écosystèmes sur le bien-être humain et l'économie.

L'hypothèse environnementaliste qui a généré ce concept, est que la compréhension de l'importance des services écosystémiques pour nos sociétés et le bien-être humain permet de soutenir les efforts de conservation de la biodiversité, en démontrant le rôle majeur joué par les écosystèmes.

2.2. Définitions et catégories de services

Les services écosystémiques sont « les avantages retirés par l'Homme de son utilisation actuelle ou future de diverses fonctions des écosystèmes, tout en garantissant le maintien de ces avantages dans la durée » d'après l'Évaluation Française des Écosystèmes et des Services Écosystémiques (EFESE, 2017).

Il existe aussi de nombreuses autres définitions des services écosystémiques qui présentent toutes un grand degré de similarité, les plus utilisées étant les suivantes :

- Millenium Ecosystem Assessment (MEA, 2005) : « Les services écosystémiques sont les bénéfiques que les humains tirent des écosystèmes » ;
- The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB, 2008) : « Les bienfaits que les hommes tirent des écosystèmes » ;
- Common International Classification of Ecosystem Services (CICES, Haines-

EN SAVOIR PLUS : rapport EFESE 2017 (en français et anglais) et IPBES 2019 (en anglais)

young et Potschin, 2013) « des contributions que les écosystèmes ont sur le bien-être humain ».

Toutes ces définitions reposent sur une considération anthropocentrée des valeurs de la nature, mais diffèrent dans leur vocabulaire (bénéfices ; avantages ; contributions ; etc.) et dans la considération de l'action de l'homme. De plus, il est possible de noter que la définition de l'EFESE intègre une notion de durabilité absente des autres notions.

Le terme de service écosystémique peut être considéré comme équivalent à celui de service écologique, tandis que la notion de service environnemental se réfère aux questions liées aux activités humaines telles que les pollutions ou la surexploitation des ressources naturelles. Ainsi, il est considéré qu'un service écosystémique est généralement un service rendu par la

nature à l'Homme et un service environnemental un service rendu à l'Homme par l'Homme et s'appuyant sur la nature. Ces deux termes ne sont donc pas interchangeables.

Les services écosystémiques sont habituellement répartis dans trois catégories (Figure 1) :

- **Les services d'approvisionnement** sont à l'origine de biens que l'on peut extraire des écosystèmes, tels que la nourriture, les différents matériaux et fibres naturelles, etc. ;
- **Les services de régulation** sont non matériels et contribuent indirectement au bien-être de l'homme à travers les fonctions de régulation des écosystèmes, tels que la régulation du climat ou des incendies, mais aussi le maintien de cycle de vie des écosystèmes ;



Figure 1: illustration des trois catégories de services écosystémiques (source: DREAL HDF).

• **Les services culturels** représentent les différentes valeurs immatérielles que l'on peut attribuer aux écosystèmes, une valeur esthétique, symbolique (comme les valeurs emblématiques) et récréative telle que les activités de pleine nature (chasse, pêche, randonnée, etc.).

Dans les premières classifications des services écosystémiques, il existait également la catégorie des « services de support ». Mais ces derniers ont été ultérieurement considérés comme étant équivalents aux fonctions écologiques. Ils ont été qualifiés de services intermédiaires et donc ne ressortissant pas du domaine des services bénéficiants directement à l'Homme.

Dans l'EFESE, une typologie différente est utilisée, avec le terme de « biens »

pour les services d'approvisionnement ou de prélèvement et les services culturels sont divisés en « services écosystémiques culturels » pour les avantages mesurables et en « patrimoine naturel » pour les avantages souvent incommensurables attachés à une valeur intrinsèque (tableau 1).

La diversité des services induit des différences d'échelles entre eux. En effet, les services d'approvisionnement sont généralement produits en un lieu précis, car liés à une source de production définie. Les services de régulation sont généralement générés à une échelle supérieure entre les services de régulation du climat qui sont globaux ou régionaux et par exemple les services de régulation liés à des espèces (ex. : pollinisation) qui sont à l'échelle de plusieurs milieux voisins. Les services

Tableau 1 : correspondance entre les typologies du MEA (2005) et de l'EFESE (2017). (Source: EFESE, 2017).

Typologie de l'EFESE	Typologie du MEA
Fonctions écologiques	Services de support
Biens produits par les écosystèmes	Services d'approvisionnement ou de prélèvement
Services écosystémiques de régulation	Services de régulation
Services écosystémiques culturels	Services culturels et spirituels
Patrimoine naturel	

EN SAVOIR PLUS : EFESE 2017 (en français) ; Méral et Pesche, 2016 ; FAO site en français et anglais (<http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/fr/>)

culturels, quant à eux, sont générés à des échelles encore plus variables avec les valeurs esthétiques ou symboliques qui peuvent être à l'échelle d'un milieu ou d'un paysage, comme les services de récréations.

2.3. Cadre d'analyse et sous-notions

Les services écosystémiques sont par définition à l'interface entre les écosystèmes et le système socio-économique – la société (Figure 2). Mais dans ce concept, il est crucial de distinguer de nombreuses « sous-notions » regroupées dans les notions d'offre et de demande. Elles sont illustrées dans la Figure 3 qui représente les éléments emboîtés d'un système socio-écologique : le système écologique, la société et l'économie. Ce schéma regroupe les différents éléments du modèle en cascade. Tout d'abord, dans le système écologique, nous retrouvons les structures et processus biophysiques à la base du système écologique et liés aux fonctions écologiques. Ces éléments peuvent être regroupés dans le concept d'intégrité écologique utilisé pour évaluer l'état de conservation et de fonctionnalité des écosystèmes.

La notion d'intégrité écologique est complexe et souvent liée à d'autres

concepts tels que la santé des écosystèmes, la condition écologique, la fonctionnalité écologique. Ces concepts diffèrent dans des gradients de naturalité et/ou d'altération. Nous utilisons l'intégrité écologique comme notion englobante de tous ces autres concepts afin d'évaluer les différents états des écosystèmes. La prise en compte de l'intégrité écologique est de plus en plus proposée notamment grâce à une prise de conscience croissante de la nécessité de conserver les écosystèmes et leurs fonctionnalités pour garantir la durabilité des services

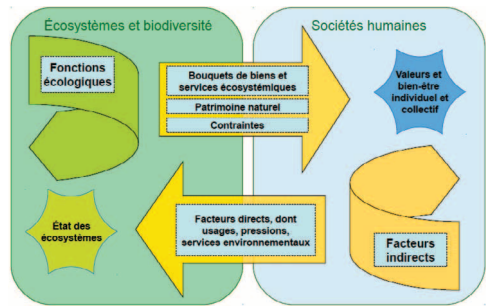


Figure 2 : cadre conceptuel simplifié de l'EFESE (source: EFESE, THEMA 2017).

écosystémiques. À l'intérieur du système écologique, l'homme est dans la sphère sociétale avec l'économie, les avantages et les bénéfices tirés de la nature et le bien-être de l'Homme. Alors que les avantages et les bénéfices tirés de la nature sont des éléments

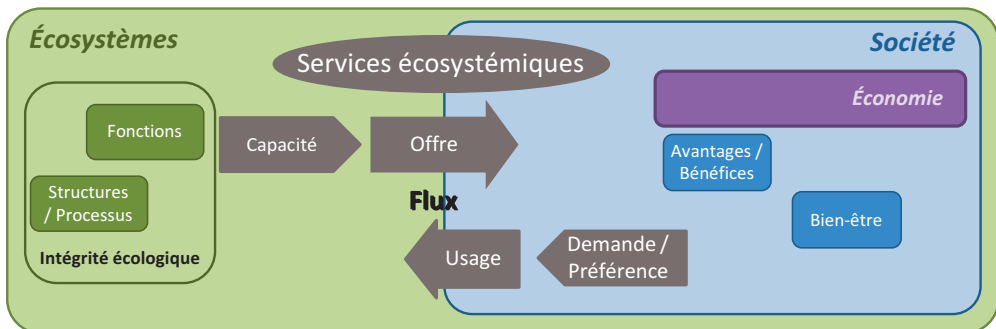


Figure 3 : les services écosystémiques, entre écosystèmes et sociétés, sont déterminés par de multiples fonctions écosystémiques et actions anthropiques.

ments de la cascade des services écosystémiques, ils sont liés et contribuent à l'économie et au bien-être humain. Il convient, dans le concept de services écosystémiques, de faire trois grandes distinctions : l'offre, le flux et la demande.

L'**offre** détermine ce que la nature produit et fournit. Du côté écosystémique, la **capacité** est le rendement maximal hypothétique des écosystèmes. Elle peut être augmentée ou diminuée grâce à la gestion des écosystèmes et/ou le changement d'occupation du sol. La capacité diffère de l'offre qui est le service fourni ou délivré dans une période donnée.

Le **flux** correspond à la part de l'offre en services écosystémiques produits, et peut-être rattaché à l'offre ou à l'usage, selon les auteurs. En cartographie, la notion de flux peut être différente et correspondre au transfert de services des zones productrices vers les zones bénéficiaires de services.

La **demande** regroupe ce que l'homme consomme, utilise ou désire. Dans chacun de ces trois aspects, des distinctions sont encore faites dans les valeurs et les méthodes d'évaluation qui peuvent être différentes. La demande regroupe ce que l'homme consomme, utilise, désire ou préfère et est défini par la société ou l'individu..

L'**usage** est le service écosystémique consommé ou utilisé directement ou indirectement dans une zone particulière sur une période donnée. Le désir et la préférence sont l'expression des souhaits individuels et/ou sociétaux en services écosystémiques. Dans le cadre des services écosysté-

miques désirés ou préférés, il est aussi important de distinguer la préférence d'une personne, d'un citoyen, la demande institutionnelle et la préférence globale qui composent la demande sociétale. Ces différentes demandes induisent des méthodes d'évaluation et d'analyses différentes. Elles peuvent également conduire à des résultats divergents.

Le regroupement ou le manque de distinction que l'on peut rencontrer dans la littérature scientifique ou bien dans les applications, notamment entre l'offre et la capacité ou bien entre le flux et la demande est de nature à entraîner des confusions sur la nature réelle de ce qui est évalué. Ces regroupements ne sont pas nécessairement le résultat d'une incompréhension, mais peuvent également résulter de l'hétérogénéité et de la variété des méthodes d'évaluation disponibles.

Pour le cas plus particulier de la demande, il convient également d'envisager qu'une partie de la demande peut être satisfaite via des solutions technologiques. Le flux en SE se limite à ce qui serait pourvu directement par les services écosystémiques.

La demande en services écosystémiques est souvent liée à des définitions différentes, selon les différentes catégories de services. Les services d'approvisionnement peuvent être définis par les données d'usages directs (ex. : l'accessibilité aux espaces verts, le nombre de permis de pêche, etc.) et de consommations (ex. : quantité d'eau consommée par un territoire), car ils sont composés principalement de biens et sont souvent associés à des marchés. Les services de régulation sont plus délicats à évaluer que

ce soit d'un point de vue biophysique ou économique. Il s'agit de services qui reposent sur des processus et des fonctions généralement complexes, difficiles à évaluer directement. Enfin, les services culturels peuvent être définis par des préférences et par les données d'usages directs, selon qu'il s'agit de services liés à des interactions mentales ou physiques.

Lors des évaluations spatiales des services écosystémiques, il faut faire attention aux différences de localisation de l'offre et de la demande en services : le lieu de l'offre est le lieu de production par la nature alors que les lieux de demande sont les lieux où les hommes résident ou les lieux de bénéfice du service ; par exemple les champs cultivés pour le service de régulation des ravageurs.

La **durabilité** de l'offre de services écosystémiques peut être abordée en évaluant la persistance de la capacité et de l'état écologique des écosystèmes compte-tenu du niveau d'utilisation des services écosystémiques. La surutilisation de certains services écosystémiques peut être une bonne approximation pour identifier des usages non durables, notamment lorsque le service est associé à l'exportation de ressources hors de l'écosystème. Lorsque l'utilisation dépasse la capacité durable⁶, l'état de l'écosystème et

6. Capacité durable : capacité en service écosystémique qui peut être utilisée sans altérer les usages futurs. Correspond à la fraction de la capacité produite par l'écosystème dans un intervalle de temps donné.

donc sa capacité risquent d'être dégradés pour une durée dépendant de la résilience écologique et du niveau de perturbation. La sur-utilisation des services écosystémiques est donc un indicateur approprié pour examiner l'équité intergénérationnelle qui est une composante de la durabilité, car une utilisation excessive ou critique des services écosystémiques est également susceptible d'empêcher d'autres parties prenantes de bénéficier des services dans le futur. Par exemple, la surexploitation du bois, associée à la coupe à blanc, induit une érosion du sol, une réduction de la productivité actuelle et future des surfaces forestières, et la surexploitation dans les régions tropicales et subtropicales dans des conditions climatiques difficiles détériore la capacité du sol à long terme.

Plusieurs études récentes ont porté sur l'équilibre entre l'offre et la demande en services écosystémiques. Ces approches d'équilibre permettent de recueillir des informations d'aide à la décision en identifiant les inadéquations entre l'offre et la demande. Il est utile de voir où la demande dépasse l'offre pour la prise de décision à deux principaux égards :

(1) D'un point de vue socio-écologique, le déséquilibre de l'offre et de la demande peut refléter une surutilisation non durable potentielle des services et donc une dégradation potentielle des écosystèmes qui les fournissent. La prise de décision vise ensuite à s'assurer que les systèmes socio-écologiques peuvent soutenir l'offre en ser-

vices écosystémiques à long terme et avec un accès suffisant pour tous malgré les perturbations et les transitions en cours. Il est aussi possible de diminuer la demande en services écosystémiques.

(2) D'un point de vue économique, l'équilibre peut aider à maximiser le rapport coûts-avantages des décisions publiques et privées en identifiant les possibilités de gestion pour répondre à la demande sociétale. Cela dit, il manque encore un objectif normatif et une approche opérationnelle pour que les services écosystémiques soient considérés dans le cadre de la durabilité.

Cependant, des précisions récentes de la définition des services écosystémiques sont notables comme par exemple celle de l'EFESE qui intègre la notion de durabilité « *Les SE sont des avantages socioéconomiques retirés par l'homme de son utilisation durable des fonctions écologiques des écosystèmes* ». Ainsi, une utilisation durable des services écosystémiques peut être définie comme une utilisation qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs besoins.

2.4. Interaction entre les services

Il existe plusieurs types d'interactions entre les services. Les compromis (*Trade-off* en anglais) correspondent à des interactions antagonistes, ce qui signifie que l'augmentation d'un service ou de plusieurs services entraîne

la réduction d'un autre service ou plusieurs autres services. Les synergies sont définies par une association positive de deux ou plusieurs services.

Ces notions sont complexes à appréhender et à évaluer, car les interactions entre services peuvent varier spatialement et temporellement. Mouchet *et al.* (2014) proposent de parler d'association lorsque l'on parle de corrélation à un moment précis et de compromis ou synergies lorsqu'il y a répétabilité. Posséder des connaissances sur les interactions entre services est primordial pour les processus de gestion des milieux afin de pouvoir prendre en considération les effets directs et indirects des options de gestion et d'aménagement lors des prises de décisions. Il devient alors possible d'établir des scénarios tels que les solutions gagnant-gagnant, gagnant-perdant, ou encore perdant-perdant.

La prise en compte des interactions entre services est essentielle notamment dans les pratiques de gestion se basant sur la maximisation d'un seul service (ex. : les agroécosystèmes), car la diminution des autres services peut avoir en retour des conséquences à long terme sur la fourniture du service maximisé. Par exemple, l'agriculture intensive, par des usages importants de pesticides et d'intrants, dégrade les services de régulation (séquestration du carbone dans le sol, pollinisation, régulation des prédateurs des cultures, etc.) ce qui en retour limite à terme la productivité ou la régularité de la production agricole en diminuant les processus naturels positifs. Généralement,

nos connaissances dans les interactions entre services sont encore très limitées et restent donc à explorer.

Pour prendre en compte ces interdépendances, les services écosystémiques peuvent être considérés par bouquet. La notion de **bouquet de services** regroupe l'association dans l'espace et dans le temps de différents services écosystémiques, mais fait également référence à un mode de représentation des services écosystémiques. Il s'agit d'intégrer l'ensemble des services écosystémiques dans un seul schéma qui peut être par exemple sous forme de radar. Larondelle et Haase (2013) ont représenté dans un même bouquet les services produits par une ville et Campagne *et al.* (2017) ont représenté cela pour une région sous forme de diagramme en fleur.

2.5. Les politiques publiques et les programmes d'évaluation

La notion de services écosystémiques est de plus en plus intégrée dans les politiques publiques notamment liées à l'environnement et la biodiversité, tels que les objectifs d'Aïchi du plan stratégique pour la biodiversité 2011-2020 de la Convention pour la Diversité Biologique (CDB). En 2011, l'Union Européenne a adopté une stratégie pour protéger et améliorer l'état de la biodiversité en Europe appelée la stratégie biodiversité de l'UE à l'horizon 2020 qui répond à la CDB (European Commission, 2013). Dans l'action 5 de l'objectif 2 de cette stratégie, la Commission européenne demande aux États membres de cartographier et d'évaluer l'état des écosystèmes et de leurs services, d'évaluer la valeur

économique de ces services et de promouvoir l'intégration de ces valeurs dans les systèmes de comptabilité et d'information au niveau de l'UE et au niveau national d'ici 2020 (European Commission, 2013). Engagée dès 2004, la stratégie nationale française pour la biodiversité (SNB) a fait l'objet d'une révision en 2010 avec l'intégration des objectifs de la stratégie pour la biodiversité européenne et repose désormais pour une large part sur l'engagement volontaire des parties prenantes.

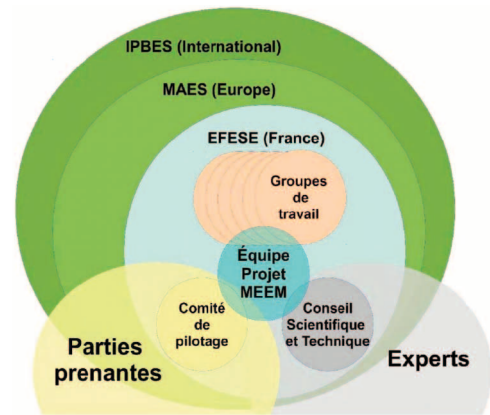


Figure 4 : schéma de la gouvernance de l'EFESE (Source: EFESE, 2016).

Le domaine de recherche autour des services écosystémiques se développe. Il est devenu le domaine le plus important et évoluant le plus rapidement des sciences environnementales et de l'économie écologique. De nos jours, il a une vocation affirmée d'aide à la décision publique au travers de programmes de recherche à l'échelle internationale et des organisations multi-acteurs. À l'échelle internationale, la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES pour l'acronyme anglais), démarrée en 2012, pro-

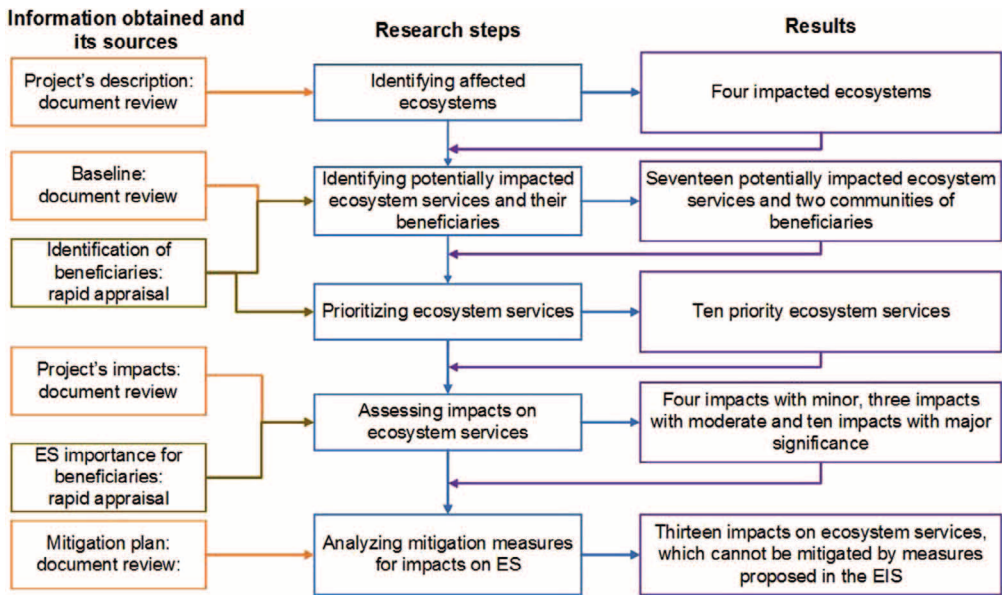


Figure 5 : déroulement d'une évaluation environnementale intégrant les services écosystémiques selon Rosa et Sanchez 2016.

vient de la volonté de construire une plateforme multi-acteurs afin d'améliorer l'interface entre science et politique sur la question de la biodiversité et des services écosystémiques, sur l'image du GIEC pour le climat (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). À l'échelle européenne, la Commission européenne a mis en place des groupes de travail associant des experts et des représentants des parties prenantes et des États membres tel que le programme Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services » (MAES) qui cartographie et évalue les écosystèmes et les services écosystémiques. En France, plusieurs projets ont été mis en place afin d'évaluer et de cartographier les services écosystémiques et ainsi contribuer aux activités de l'IPBES et du MAES.

Le programme du Ministère en charge de l'Environnement a engagé à partir de 2012 l'Évaluation Française des Écosystèmes et des Services Écosysté-

miques⁷ qui réalise l'état des lieux des SE produits au niveau national. L'EFESE regroupe des experts, des parties prenantes et une organisation en groupes de travail sous l'égide du Commissariat Général au Développement Durable du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire (Figure 4). La mise en œuvre de l'EFESE en France découle de la déclinaison nationale de la stratégie européenne.

2.6. La littérature scientifique sur l'intégration des services écosystémiques dans les évaluations d'incidences sur l'environnement

En France, il est possible de citer les grands schémas d'aménagement comme le SCOT (Schéma de cohérence territoriale qui réunit plusieurs schémas directeurs) ou le PLU (Plan local d'urbanisme qui concerne l'amé-

7. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/levaluation-francaise-des-ecosystemes-et-des-services-ecosystemiques>

Equivalences between the structure of EIA reports and ES categories: (0) no conceptual relationship expected; (+) significant relationship expected; (++) very significant relationship expected. Examples of key ES are presented below each ES type.

Structure of EIA reports (environmental factors)	Provisioning services (P)	Regulating services (S)	Cultural services (C)	Supporting services (S)
	Food (crops, wild game and food, capture fisheries) Biological raw materials and freshwater	Climate regulation Air quality regulation Prevention of soil erosion Water flow regulation	Recreation and tourism Aesthetical fulfillment derived from landscape	Habitats and biological corridors for biodiversity Nutrient and water cycling
Air quality	0	+	0	+
Climate	+	+	0	+
Noise	0	0	+	0
Landscape, land use and geomorphology	++	+	++	+
Geology	0	+	+	+
Soil	+	+	0	+
Water resources	+	+	++	+
Fauna/flora/habitats	+	+	++	++
Land planning/restrictions	+	++	+	+
Cultural heritage	0	0	++	0
Structuring systems	0	+	0	+
Socio-economics	++	+	++	+
Demography	+	+	+	+

Figure 6 : relations conceptuelles entre les composantes d'une évaluation environnementale et les catégories de services écosystémiques. Le 0 indique l'absence de relation, le nombre de + indique l'intensité de la relation (Source : Honrado et al. 2013).

nagement d'une commune – PLUi pour les intercommunalités). De plus, la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages, dite loi « Biodiversité » vise à protéger, restaurer et valoriser la biodiversité et notamment à éviter, réduire, compenser les impacts négatifs de certaines activités humaines sur l'environnement (Art L.110-1 : II).

La littérature scientifique concernant la prise en compte des services écosystémiques dans le cadre des études d'impact ou des évaluations stratégiques se focalise essentiellement sur la question de l'intérêt de la prise en compte des services écosystémiques, notamment dans une considération de la conservation de la biodiversité. Ainsi Baker et al. (2013) concluent que la prise en compte des SE doit être pragmatique et apporter des éléments complémentaires à la pratique habituelle des EIE. Comme le précisent Partidario et Gomes (2013), l'intégration des SE dans les plans stratégiques rend visibles les bénéfices issus de la nature et de la biodiversité. Cela crée des opportunités pour discuter des options prenant en compte les risques et les bénéfices pour les SE. Ils sont intégrés au cadre de valeur qui permet

l'analyse stratégique. L'Association internationale pour l'évaluation des impacts (IAIA - International Association for Impact Assessment) définit l'EIE comme le processus d'identification, de prévision, d'évaluation et d'atténuation des impacts potentiels avant de prendre des décisions. Le 16 avril 2014, l'Union européenne a approuvé une nouvelle directive (n° 2014/52/UE) qui souligne l'importance d'intégrer, dans le processus d'évaluation et de décision, d'autres composantes telles que la durabilité dans l'utilisation des ressources, la protection de la biodiversité et les changements climatiques. En France, cela a été implémenté à travers la loi sur la reconquête de la biodiversité (n° 2016-1087 du 8 août 2016).

De nombreux travaux pointent le manque de méthodologie harmonisée, mais les propositions convergent vers un certain nombre de points communs⁸. Ainsi, comme le présentent Rosa et Sánchez (2016), il est préconisé une première phase de délimitation du projet d'aménagement, l'identification d'une liste de SE essentiels, notamment en s'appuyant sur

8. Rosa and Sánchez, 2016; Söderman, 2012.; Sousa et al., 2019 ; Tardieu et al., 2015

une consultation extensive des porteurs d'enjeux locaux, l'évaluation de la quantité de services, puis la détermination des pertes en services résultant de l'aménagement, enfin les options de compensation pouvant être utilisées pour essayer d'atteindre une non-perte nette en SE (figure 5). La méthodologie que nous proposons dans le guide et présentons en partie 3 reprend cette série d'étapes. Il est à noter que **ces étapes doivent être répétées pour chaque scénario ou variante** du PPP dans le cadre d'une démarche ERc.

Un problème fréquemment évoqué est la difficulté d'évaluation des SE, car les données locales sont souvent manquantes ou disponibles à des échelles inadéquates. De même, la modélisation pose des problèmes de complexité qui ne peuvent souvent pas être pris en compte dans les EIE, généralement par manque de temps, de moyens et de compétences⁹.

Comme l'indiquent Partidario et Gomes (2013) : « L'évaluation des SE doit utiliser des critères standards et des échelles normalisées pour l'évalua-

tion des SE qui permettent la comparaison et la discussion entre les parties prenantes. L'évaluation qualitative et quantitative peut être utilisée selon les besoins, mais en fin de compte, elle doit être comparable. » En effet, dans une évaluation de plusieurs services, un problème identifié est le manque de comparabilité des valeurs de services si l'évaluation est basée sur des indicateurs spécifiques pour chaque SE.

Honrado *et al.* (2013) proposent de relier les différentes composantes d'une EIE aux catégories de services écosystémiques. Ainsi, les chapitres des évaluations environnementales qui concernent la qualité de l'air, le bruit, les sols, la faune et la flore... peuvent être conceptuellement liés aux services écosystémiques et alimenter l'analyse des impacts (Figure 6). Les données sur les autres composantes de l'évaluation sont des sources d'information pour déterminer les conditions structurelles et biologiques.

Tardieu *et al.* (2015) ont réalisé une étude des impacts directs et indirects de l'implantation d'une infrastructure linéaire de transport sur les services

9. Bagstad *et al.*, 2014 ; Burkhard *et al.*, 2012 ; Söderman, 2012

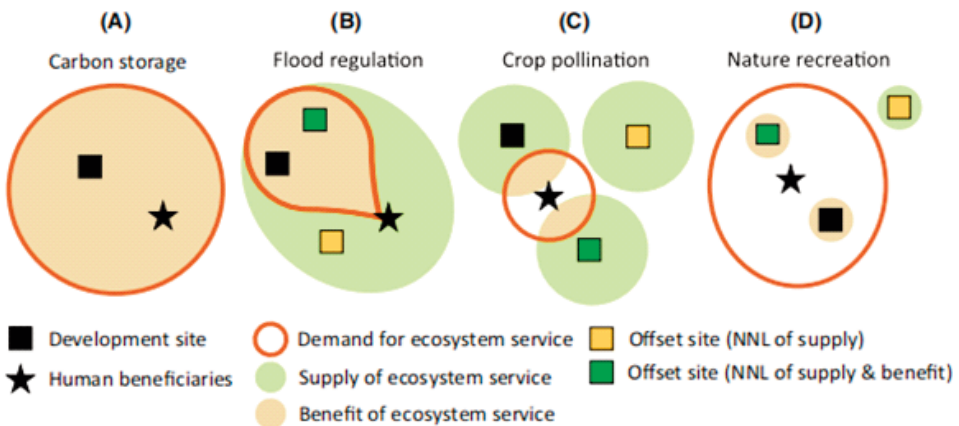


Figure 7 : distribution spatiale de la capacité et des bénéfices de différents services écosystémiques (Source : Sonter *et al.* 2020).

écosystémiques en adoptant un cadre de valeur monétaire et la prise en compte des impacts biophysiques. Les impacts de la conversion des terres sont directs sur les écosystèmes en raison de la perte et de la réduction des surfaces des écosystèmes naturels, avec une conséquence immédiate sur les services écosystémiques. Cependant, ils mettent en avant le fait que l'influence des perturbations du projet sur la faune, la végétation, l'hydrologie et le paysage environnant dépasse souvent la zone convertie et peut entraîner des impacts indirects importants sur la capacité en services écosystémiques.

Ils proposent un indicateur de la perte annuelle en services - le V(ESL) - qui intègre l'ensemble des services écosystémiques en un seul indicateur. Sur la base de cette étude et d'autres, nous avons préconisé la prise en compte des mutations des occupations et usages des sols, puis la considération de la condition des écosystèmes, qui permet de nuancer les variations de la capacité en SE.

Les considérations spatiales et notamment du périmètre d'impact par rapport au périmètre de fourniture des services sont rendues complexes par la diversité des mécanismes écologiques et des services que l'on est susceptible de prendre en compte.

Ainsi, comme l'illustrent Sonter *et al.* (2020), mais d'autres également avant eux, différentes catégories de services ont des aires de fourniture et de demandes différentes (Figure 7). Quatre grands cas de figure sont généralement possibles : A : la fourniture et le bénéfice sont non dépendants de la

localisation (ex : séquestration du carbone), B : la fourniture et le bénéfice sont liés par des mécanismes directionnels (ex : contrôle des flux hydrologiques), C : la fourniture et le bénéfice ont des relations de proximité (ex : pollinisation) et enfin, D : le bénéfice se fait sur le lieu de fourniture (ex : activités récréatives).

Ces aspects sont particulièrement importants lorsque l'on veut considérer les bénéfices pour les individus en plus des capacités en services comme nous l'avons appliqué dans le présent guide. De même, ces aspects spatiaux sont à prendre en compte pour définir les zones à éviter en priorité. De par leur définition même, les services écosystémiques ne sont effectifs que lorsque le bénéfice est acquis pour des personnes. La localisation relative des zones de fourniture de services et des bénéficiaires doit alors être prise en compte, de même que les conditions d'accès au service. Ainsi, une grande capacité de service récréatif est possible, mais si l'accès est fermé pour des raisons réglementaires (domaine privé) ou physiques (clôture), le bénéfice en service devient nul. De même, recréer un milieu favorable au service de pollinisation à plusieurs kilomètres des cultures qui en dépendent ne compense pas la perte de SE pour ces parcelles.

Peu de documents proposent une démarche méthodologique complète des évaluations environnementales et des évaluations stratégiques prenant en compte les services écosystémiques. Le rapport de Landsberg *et al.* (2013) du World Resources Institute peut également être cité. Ils proposent une démarche en 6 étapes (dont nous nous sommes inspirés), mais pas de

modalités d'évaluation des SE. Ils proposent notamment de définir :

- Une liste des services écosystémiques à inclure dans le cahier des charges de l'EIE ;
- L'identification des services écosystémiques prioritaires à prendre en compte et des parties prenantes à engager dans les étapes ultérieures du processus d'EIE ;
- L'évaluation des impacts et des dépendances des projets sur les services écosystémiques prioritaires ; et
- Des mesures visant à réduire les impacts des projets et à gérer les dépendances des projets à l'égard des services écosystémiques prioritaires, à inclure dans les plans de gestion environnementale et sociale.

2.7. Les différentes méthodes d'évaluation des services

La demande croissante d'évaluation et de cartographie des services écosystémiques à l'échelle locale et régionale pour soutenir la gestion de la biodiversité, l'aménagement du territoire et l'évaluation de l'impact environnemental a créé un besoin de méthodes robustes et scientifiquement solides pour évaluer les capacités, les demandes et/ou les préférences des services écosystémiques.

Pour évaluer les services écosystémiques et appréhender la complexité du fonctionnement des écosystèmes, une grande quantité de données pertinentes disponibles à différentes échelles spatiales et temporelles est nécessaire. Diverses méthodes d'évaluation des services écosystémiques ont été utilisées, nécessitant des types et degrés d'expertise variables de la

part des personnes qui les mettent en œuvre et mobilisant différentes quantités de données. Le bon choix de la méthode doit articuler les objectifs de l'évaluation et de la cartographie, mais aussi l'applicabilité, l'appropriation de la méthode, les résultats attendus par les parties prenantes. Au-delà des quantifications des experts scientifiques, le concept de services écosystémiques ne peut être mis en œuvre que si les évaluations sont comprises et soutenues par les utilisateurs finaux tels que les gestionnaires d'espaces ou les décideurs publics. La complexité réelle et la difficulté perçue de l'interprétation des résultats sont des facteurs limitants à prendre en compte dans tout exercice d'évaluation et de cartographie des services écosystémiques.

L'acquisition, la compilation et le traitement de sources de données multiples peuvent se révéler difficiles, voire impossibles pour de nombreux services écosystémiques, en particulier à échelles fines. Il faut alors se recentrer sur quelques services ou se reporter sur des protocoles d'échantillonnages, l'utilisation de modèles ou la mobilisation d'expertises territoriales ou sectorielles. Afin d'augmenter l'application des connaissances sur les services écosystémiques dans les actions territoriales, il faut un cadre souple, cohérent et instructif qui tienne compte des différences spatio-temporelles de la production en services écosystémiques.

Ainsi, ce cadre doit faire une distinction entre la production potentielle et la demande en services ainsi qu'être applicable dans un large éventail d'écosystèmes et de services.

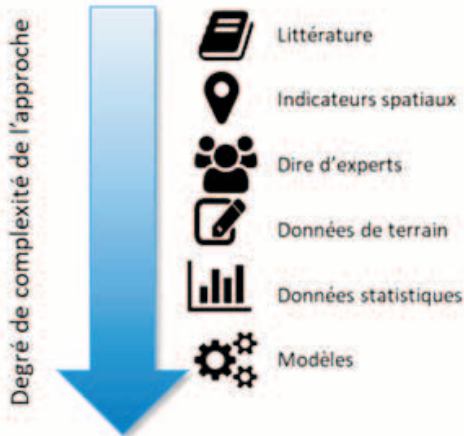


Figure 8 : degré de complexité des méthodes d'évaluation des services écosystémiques (d'après Burkhard et Maes, 2017).

Degré de complexité des méthodes

Chaque méthode a ses avantages et ses limites et nécessite différents degrés d'expertises et de temps. Il convient alors de choisir une méthode d'évaluation en fonction de : l'expertise nécessaire pour appliquer la méthode, du temps d'évaluation, de la complexité générale, de la disponibilité des données nécessaires, etc. (Figure 8).

Les types de méthodes et d'indicateurs

Les différentes méthodes d'évaluation des services écosystémiques sont généralement catégorisées en approches biophysiques, socioculturelles et économiques qui sont considérées comme les 3 valeurs ou domaines des services écosystémiques. Cette pluralité de la valeur est reconnue et doit être prise en compte dans les outils d'évaluation et de cartographie des services écosystémiques dans une approche de l'intégration de leurs valeurs.

L'**approche biophysique** des services écosystémiques évalue l'état, le fonc-

tionnement et les facteurs de changement directs et indirects des écosystèmes sur la base de paramètres biologiques, écologiques et physiques des écosystèmes. De nombreux indicateurs et modèles se sont développés pour évaluer la capacité biophysique en services écosystémiques. Les mesures peuvent être directes ou indirectes selon qu'elles sont basées sur des observations, des expérimentations ou des modèles.

Morelli et *al.* en 2017 utilisent un assemblage d'indicateurs pour évaluer les services écosystémiques qui peuvent être combinés avec des modèles. Cabral et *al.* en 2016 utilisent un assemblage d'indicateurs et de modèles tels que le modèle InVest.

L'**approche socio-culturelle** des services écosystémiques évalue « les préférences individuelles et collectives pour identifier les services qui sont importants pour la population, les potentiels conflits sociaux à cause des différents besoins et perceptions ainsi que les compromis entre services et les parties prenantes » (Santos-Martín et *al.* 2016). Les méthodes d'évaluation des préférences sont par exemple les méthodes délibératives, participatives ou narratives.

Dans l'étude de Teixeira et *al.* publiée en 2019, des entretiens avec des questions ouvertes ou semi-ouvertes sont effectués et analysés par l'analyse du discours et des méthodes quantitatives telles que des analyses des correspondances multiples pour évaluer la variabilité des perceptions des services et des disservices¹⁰ parmi les répondants et selon les types de forêts. L'**approche économique** des services

10. Les disservices écosystémiques représentent les aspects négatifs des écosystèmes pour le bien-être humain.

Zoom sur la méthode des matrices de capacité

Parmi les différentes approches d'évaluation des services écosystémiques, la méthode des matrices de capacité est considérée comme flexible et rapide à mettre en œuvre. Elle est constituée d'une table d'allocation d'un score pour chaque service écosystémique et chaque écosystème considéré. Cette méthode a été utilisée dans plus d'une centaine d'études scientifiques et a été étudiée et adaptée dans plusieurs d'entre elles. En France, elle a été appliquée dans plusieurs Parcs Naturels Régionaux depuis 2014 (entre autres le PNR des Baronnies Provençales, PNR Scarpe-Escaut et le PNR des Alpilles) et à l'échelle de la Région Hauts-de-France. C'est à partir des résultats de cette dernière application que nous proposons une des voies pour l'intégration des services dans les évaluations d'incidence sur l'environnement. Au-delà de l'évaluation elle-même, l'appropriation de la méthode et des résultats obtenus par les différents acteurs du territoire, les opérateurs des collectivités locales et de l'État et les bureaux d'études est particulièrement importante. Le concept de service écosystémique ne peut être mis en œuvre que si les évaluations sont comprises et acceptées par les utilisateurs finaux. La complexité des notions utilisées dans les études et la difficulté d'interprétation des résultats obtenus sont des facteurs limitant la prise en compte des résultats par les acteurs du territoire. En outre, l'acquisition, la compilation, l'exploitation et le traitement de sources de données multiples et de méthodes ou modèles lourds à mettre en œuvre peuvent se révéler difficiles, voire impossibles, pour de nombreux bureaux d'études et/ou services opérationnels, en particulier à des échelles fines.

En résumé, cette approche est basée sur l'utilisation d'un tableau composé d'unités géospatiales, qui peuvent par exemple être les types d'écosystèmes ou modes d'usage ou d'occupation du sol, et d'un ensemble de services qui doivent être évalués dans une zone d'étude spécifique. Dans la table, un score est généré en se référant à l'offre ou à la demande du service pour chaque unité géospatiale. Le score est généralement semi-quantitatif et sur une échelle de 0 à 5 avec 0 pour une offre ou une demande nulle en service et 5 pour une offre ou une demande forte. Ce score peut être défini à partir de diverses sources d'information : jugements d'experts, données statistiques, données quantitatives provenant de modèles basés sur des processus ou bien éventuellement de mesures in-situ. Il est majoritairement basé sur le dire d'experts et défini avec une méthodologie précise, comme présentée dans le rapport d'étude Campagne et Roche 2019. Il est important de préciser que les scores des services obtenus ne sont pas des préférences individuelles, mais des estimations fondées sur la connaissance de terrain des experts. La préférence est par nature une composante de la demande en service alors qu'ici nous avons à évaluer la capacité en services.

L'ensemble de la méthodologie est décrit dans le rapport d'étude Campagne et Roche 2019 sur l'Évaluation de la capacité des écosystèmes de la région Hauts-de-France à produire des services écosystémiques⁹.

9. <https://www.hauts-de-france.developpement-durable.gouv.fr/?Les-services-ecosystemiques-15560>

écosystémiques évaluée, en termes monétaires ou non, « des coûts et des avantages liés à des choix ou des actions, notamment en présence d'externalités (positives ou négatives), en vue d'intégrer ces éléments dans la réflexion sur la conception et la mise en place de politiques publiques » (EFESE, 2017). Le but de l'évaluation économique n'est pas nécessairement de donner une valeur marchande ou un prix à la nature, mais de donner une valeur économique permettant de prendre en compte les milieux naturels et aider à leur considération lors des prises de décision et de gestion. Depuis l'évaluation très médiatisée de Costanza et al. (1997), les études sur les évaluations économiques totales ont considérablement augmenté et les méthodes d'évaluation économique ont été améliorées. Les prix du marché sont généralement utilisés pour évaluer la valeur économique des services d'approvisionnement comme cela est fait dans l'EFESE pour évaluer la valeur économique de la capture et du prélèvement d'animaux issus des milieux humides et aquatiques.

Ces trois approches des services écosystémiques ne sont pas strictement distinctes, mais plutôt chevauchantes et complémentaires pour de nombreuses méthodes d'évaluation. La pluralité des valeurs des services écosystémiques peut être évaluée en combinant ces différentes approches. Ainsi, une approche intégrative peut être définie comme intégrant « les données et l'information sur les composantes biophysiques de l'écosystème avec les composantes du système socio-économique et les contextes sociétaux et politiques dans lesquels elles sont intégrées.

Les liens entre l'état des écosystèmes, la qualité de l'écosystème et la biodiversité, la façon dont ils affectent la capacité des écosystèmes à produire des services écosystémiques, puis l'évaluation des conséquences pour le bien-être humain sont également évalués. » (Burkhard et al. 2018). Ainsi, une approche intégrative englobe tous les éléments du système socio-écologique ainsi que leur interaction : les éléments du système socio-économique et les éléments du système écologique avec les fonctions, les processus et la biodiversité.

Dans le cadre de l'évaluation environnementale, il nous semble pertinent, entre les trois domaines de valeurs, d'utiliser en premier lieu les valeurs biophysiques plus directement reliées aux écosystèmes et à leur biodiversité.

Les données nécessaires pour une évaluation des services demandent rapidement un certain nombre d'indicateurs biophysiques spatiaux qui peuvent être disponibles en ligne (voir Site COPERNICUS¹¹), mais sont souvent complexes à mobiliser et à consolider. Un des problèmes est lié aux échelles pour lesquelles ces données sont disponibles et à leur date de production.

Ainsi, pour évaluer la régulation du climat à l'échelle globale, il est possible de mobiliser des indicateurs satellitaires, tels que le LAI (Leaf Area Index), le NPP (Net Primary Productivity) ou bien le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Pour la régulation du climat local, il est possible de se tourner sur des données Infra-Rouge Thermique telles que celles fournies

11. <https://www.copernicus.eu/fr/>

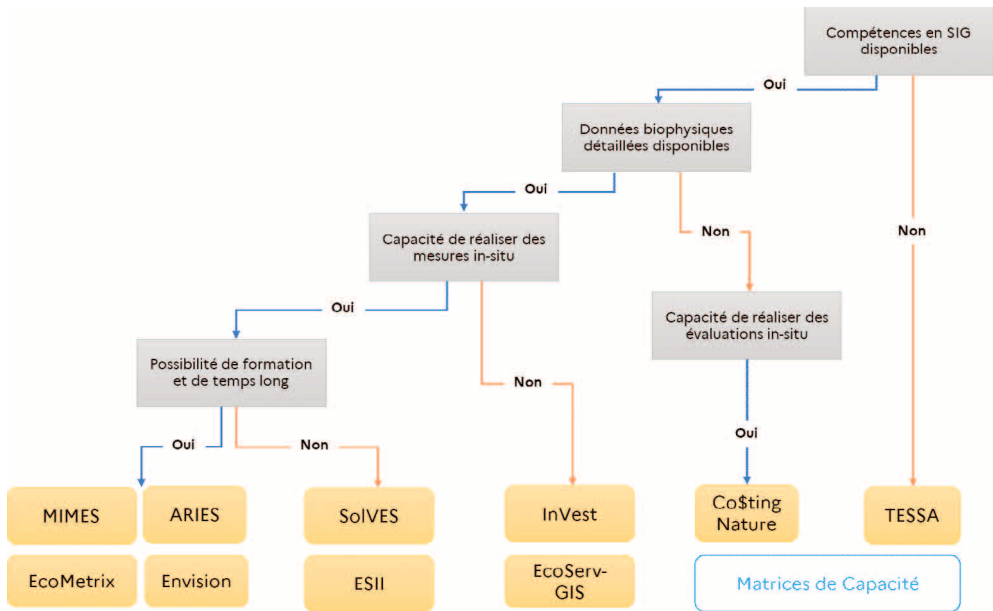


Figure 9 : arbre de sélection de différents outils d'évaluation des services écosystémiques (cadre à fond jaune) en fonction de critères liés aux compétences et données disponibles. La méthode des matrices de capacité développée dans ce guide est positionnée par rapport aux autres outils.

par la série des satellites Landsat. Cependant, pour certains SE, tels que la pollinisation ou bien la régulation des ravageurs, les indicateurs spatiaux ne sont pas disponibles et il faut se tourner sur des observations in situ qui sont généralement longues et onéreuses ou des modèles de complexité variable.

Outils de modélisation des SE disponibles

Un modèle de service écosystémique prédit les valeurs pour un service écosystémique spécifié en fonction de la manière dont une ou plusieurs variables environnementales affectent la valeur de ce service. La "valeur" peut être une mesure d'une variable environnementale pertinente (par exemple, des tonnes de carbone ou des litres d'eau), la valeur monétaire ou

non monétaire ou une mesure de l'utilisation du service. Les modèles de services écosystémiques varient en fonction de la complexité de leur utilisation de ces variables. Nous ne détaillerons pas dans ce guide les différentes plateformes et propositions méthodologiques pour évaluer les services écosystémiques. Le tableau 2 présente les caractéristiques principales d'une série de 10 outils. Pour plus détails, il conviendra de se rapporter aux ressources disponibles en ligne pour chacun de ces outils. Un catalogue exhaustif des méthodes d'évaluation des SE est disponible (en anglais) dans les rapports du projet ESERALDA disponible sur le site internet¹²: (par exemple le rapport D4.2 fait une revue de toutes les méthodes économiques) et des exemples et fiches descriptives sont disponibles

12. <http://www.esmeralda-project.eu/documents/1/>

Tableau 2 : comparaison de différents outils pour évaluer les services écosystémiques.

Outil/modèle	Nom détaillé	Valeurs	Composante	Accessibilité	Nombre de services écosystémiques	SIG	Complexité	Commentaires
Invest	Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs	Biophysique	Capacité, Flux	Libre	13 + 5 abiotiques	Oui	****	Limité par les données locales, certains modèles sont trop simplistes, courbe d'apprentissage forte
TESSA	Toolkit for Ecosystem Services Site Based Assessment	Economique	Capacité, Flux	Libre	8 (dont 3 en développement)	Non	***	Assez lourd, temps moyen donné 40 jours/homme, méthode participative assez intensive, ne mesure pas tous les SE, sert surtout au criblage
ARIES	Artificial Intelligence for Ecosystem Services	Biophysique, Economique	Capacité, Flux	Libre	11	Oui	****	Très lourd, temps moyen 140 jours/homme, non inclus la formation nécessaire, nécessite également le soutien de spécialistes en modélisation
Co\$ting Nature		Economique	Capacité	Libre	5 + 3 liés à la biodiversité	Oui	***	Evalue la valeur de la protection de la nature pour quelques services, ne permet pas la cartographie des SE individuels, modèles très simplistes, usage en planification de la conservation du capital naturel
EcoServ-GIS	Geographic Information System (GIS) toolkit for mapping ecosystem services	Biophysique	Capacité, Demande	Libre, mais nécessite ArcGIS avec Spatial Analyst	8-10 (approvisionnement et régulation)	Oui	***	Combinaison d'informations biophysiques et socio-économiques, nécessite des données de références sur les habitats régionaux, connaissance en SIG nécessaire
EcoMetrix		Biophysique	Capacité	Propriétaire	15	Oui	?	Les analyses doivent être réalisées par les professionnels de l'ESG. Pas de transfert de licence ! Se base sur des modélisations fonctionnelles
ESII	Ecosystem Services Identification & Inventory	Biophysique	Capacité	Licence gratuite	10	Oui	**	Données récoltées sur le terrain avec une application spécifique sous IOS (Apple) ou formulaire papier. Nécessite un technicien de terrain pour parcourir et cartographier l'intégralité du site
ESR	Ecosystem Services Review for Impact Assessment	Biophysique, Economique et Sociale	Capacité, Flux	Libre	Non fixé	Non	**	Méthode basée sur une séquence méthodologique et des feuilles de tableur. Démarche en plusieurs étapes à documenter pour évaluer l'impact du la capacité et les bénéfices en SE d'un projet. Approche essentiellement qualitative et de criblage. Peut utiliser différentes sources d'information et de valeur
MIMES	Multi-scale Integrated Models of Ecosystem Services	Biophysique, Economique	Capacité, Flux	Libre, mais nécessite une licence SIMILLE	Non fixé	Oui	****	Nécessite une équipe de modélisation dédiée. Multi-échelle, mais très lourd à mettre en œuvre, peu de support. En cours de révision
Envision	Integrated Modeling Platform for Coupled Human/Natural Systems Analyses	Economique, Sans dimension	Capacité	Libre	Non fixé	Oui	****	Modélisation Multi-Agent sur une plateforme SIG. Doit être adapté à chaque site. Les auteurs indiquent un coût de 100-150K€ et 1 an par site de modélisation. Repose sur des plug-ins qui peuvent être développés à façon par les utilisateurs
SoLIVES	Social Values for Ecosystem Services	Sociale	Préférence	Toolbox pour ArcGIS	Surtout Services Culturels	Oui	**	Données cartographiques et enquête auprès des acteurs et citoyens. Coûtage de données un peu complexe

dans la base de données en ligne¹³.

Plusieurs documents de synthèse (en anglais) présentent également une revue en détail des caractéristiques des outils les plus connus (cf En savoir plus).

Les modèles les plus simples sont basés sur le transfert de bénéfices. C'est-à-dire, l'utilisation de valeurs spécifiques d'un service estimées par des études antérieures. Par exemple, le modèle InVEST pour le carbone a principalement besoin d'une carte de la couverture terrestre et d'estimations des stocks de carbone pour les classes de couverture terrestre.

Puis les modèles déterministes sont un peu plus complexes, et utilisent des relations supposées ou mesurées entre données mesurées et un service écosystémique pour en prédire les valeurs. Ils nécessitent donc des données d'entrée assez importantes dans le domaine biophysique et/ou socio-économique.

Enfin, la classe la plus complexe est formée par des modèles mécanistes qui représentent des processus fonctionnels et peuvent gérer des interactions de facteurs. Ces derniers modèles sont complexes et nécessitent une formation spécifique longue pour être à même de les mettre en œuvre. Ils nécessitent également de nombreuses données initiales.

La Figure 9 présente un arbre de décision simplifié qui permet notamment d'identifier des outils possibles en

fonction des données et ressources disponibles. Nous avons positionné dans cet arbre, la méthode des matrices de capacité qui est détaillée dans le guide.

Certains outils reposent sur des outils de modélisation informatisés (par exemple : MIMES, ARIES, InVEST, SOLVES), d'autres utilisent des plateformes en ligne (par exemple : Co\$ting Nature) et enfin certains s'appuient sur un guide méthodologique (par exemple : TESSA).

2.8. Les services écosystémiques de la région Hauts-de-France

Les services écosystémiques de la région des Hauts-de-France ont été évalués en utilisant la méthode des matrices de capacité qui consiste à estimer l'ensemble des services produits par les différents écosystèmes au travers d'une série de scores qui représentent la capacité en services pour chacun des services et des écosystèmes considérés - score noté de 0 (aucune) à 5 (forte). La matrice de la Région Hauts-de-France ce sont **25 services écosystémiques et 45 écosystèmes**, soit 1 125 scores. Ces scores ont été établis par un panel d'experts du territoire selon une méthodologie précise¹⁴.

En tout, 30 matrices ont été remplies

13. <http://database.esmeralda-project.eu/methods>.

14. <https://www.hauts-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/rapport.regionhdfv10.pdf>

EN SAVOIR PLUS :

Vihervaara, P. et al. (2018) ; Neugarten, R.A. et al.(2018) ; Bullock, J.M. & Ding, H. (2018).

par 33 experts du territoire régional dont les types d'activités varient : décisionnaires, gestionnaires, experts naturalistes et bureaux d'études. À partir de la matrice de capacité de la région Hauts-de-France, il est possible de créer des bouquets de services (Figure 10), mais également des cartographies (Figure 11). Les bouquets permettent l'analyse des synergies entre les différents services.

Par exemple, les services écosystémiques produits par les grands types d'écosystèmes de la région Hauts-de-France sont :

- Écosystèmes aquatiques : capacité élevée à produire des services culturels
- Écosystèmes agricoles : capacité moyenne à produire les 3 grands types de services,
- Écosystèmes forestiers : produisent le plus de services par rapport à l'ensemble des écosystèmes,
- Écosystèmes urbains : produisent le moins de services, particulièrement les services de régulation,
- Écosystèmes marins et littoraux : produisent le plus de services culturels.

Selon les objectifs de gestion, les actions peuvent être orientées soit vers un service particulier et donc les écosystèmes importants pour sa fourniture, soit être orientées vers un écosystème donné et son bouquet de services associé.

Exemples de services écosystémiques évalués en région Hauts-de-France :

- Maintien de la qualité des eaux : scores forts pour les écosystèmes aquatiques et forestiers,

- Contrôle de l'érosion : scores forts pour les écosystèmes forestiers,
- Régulation des inondations : scores forts pour les écosystèmes forestiers,
- Pollinisation : scores forts pour les écosystèmes agricoles et forestiers,
- Activités récréatives : scores forts pour les écosystèmes marins et littoraux.

2.9. Modulation de la capacité en services écosystémiques et condition écosystémique

Une matrice de capacité est l'évaluation de l'état moyen des écosystèmes. Ceci implique, lorsqu'il est nécessaire d'avoir une meilleure estimation en fonction de l'état local actuel ou futur des écosystèmes, d'utiliser des indicateurs d'état, appelés ici « **indicateurs de condition** ». Ces indicateurs doivent être sensibles aux changements de l'état et de l'étendue des écosystèmes, et refléter les changements dans la génération de services écosystémiques.

Il convient de noter que le terme « condition écosystémique » **se rapporte aux différentes caractéristiques et processus écologiques qui supportent les services.**

Des indicateurs de fonctionnement, et particulièrement ceux associés à la productivité et à la biomasse, sont très importants pour de nombreux services écosystémiques. La productivité primaire nette (PPN), qui est le gain de carbone réalisé par l'écosystème, une fois considérées la respiration et les pertes, a souvent été utilisée comme proxy de services écosystémiques.

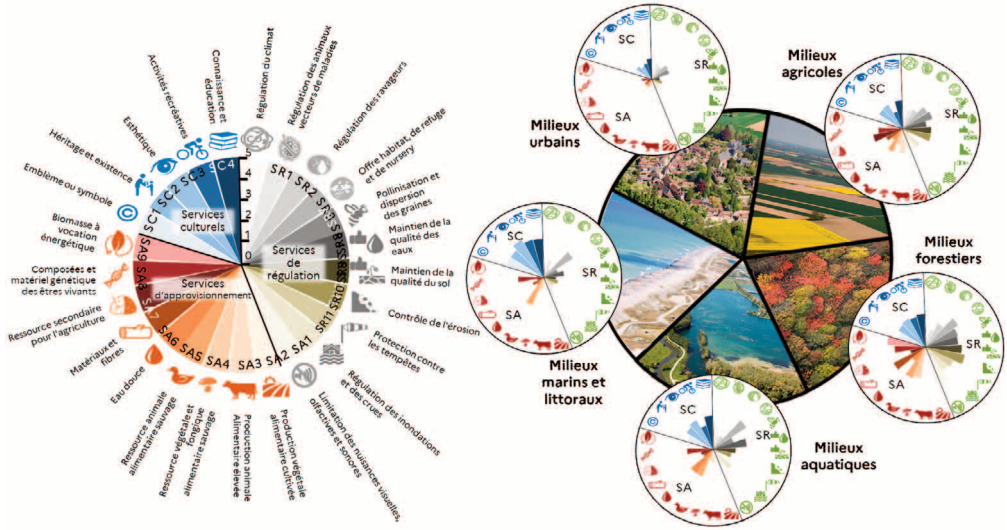


Figure 10 : bouquets des 25 services écosystémiques considérés pour l'évaluation régionale des Hauts-de-France et Bouquets des scores de services écosystémiques pour les 5 grands types d'écosystèmes de la région des Hauts-de-France. Les valeurs sont des moyennes pour les différents services au sein des différents écosystèmes regroupés en grands types. Plus le pétale est grand, plus la capacité en SE est importante. (Source Photos : DREAL - Futier).

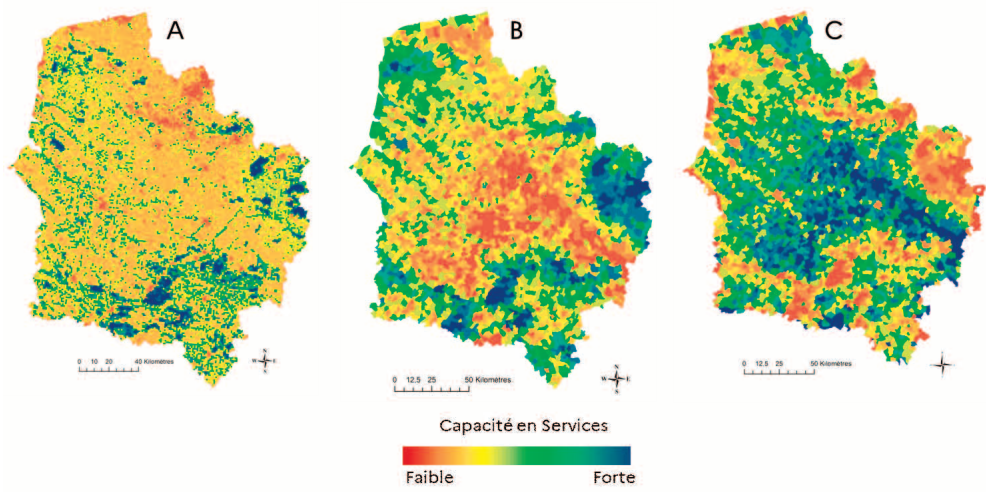


Figure 11 : cartographie de la capacité potentielle pour 3 services écosystémiques (région Hauts-de-France). a. séquestration du carbone, b. contrôle des ravageurs des cultures et c. production végétale alimentaire. L'échelle des valeurs va de 0 (rouge) à 5 (bleu foncé). La figure a est à la résolution de 1km², les figures b et c sont agrégées au niveau communal.

EN SAVOIR PLUS : Campagne et Roche 2019. Évaluation de la capacité des écosystèmes de la région Hauts-de-France à produire des services écosystémiques, Rapport d'étude, IRSTEA, 49p.

Tous les écosystèmes terrestres dépendent de la PPN par le biais de la photosynthèse végétale pour obtenir de l'énergie et du carbone, essentiels à la production de services écosystémiques. Ainsi, la vigueur de l'écosystème est un bon indicateur de condition pour les SE, notamment les SE d'approvisionnement. Cependant, certains niveaux maximums de services d'approvisionnement comme la production végétale cultivée, associés à des valeurs élevées de l'indicateur PPN, coïncident parfois avec de faibles niveaux de services de régulation.

Cette constatation implique de considérer un second ensemble d'indicateurs de condition associés à la biodiversité spécifique, à la diversité fonctionnelle et de manière générale à l'état de conservation. Que ce soit pour les écosystèmes terrestres, les écosystèmes d'eau continentale ou bien marins, la biodiversité a des effets positifs sur de nombreux services écosystémiques de régulation, mais peut également aider à la stabilité temporelle des services d'approvisionnement. Des effets positifs sur la biodiversité ont été constatés pour la plupart des propriétés des écosystèmes associés aux services du cycle des nutriments. La diversité végétale a des effets positifs sur l'activité et la diversité des décomposeurs et la diversité des plantes et des mycorhizes augmente les nutriments stockés dans le compartiment des plantes de l'écosystème. Dans le cas de la régulation de pestes, il a été constaté une réduction de l'abondance, de la survie, de la fertilité et de la diversité des envahisseurs lorsque la diversité végétale était plus élevée.

Il reste cependant des services qui ont des relations plus complexes avec la condition écosystémique, c'est le cas de services liés à la régulation de l'eau, davantage associés à une structure hydrologique et topographique. Aucune association n'a été observée entre les mesures du régime hydrologique des zones humides (hydropériode, éclairs) et les mesures (rapides ou intensives) de l'état des écosystèmes.

Sur la base des constats présentés ci-dessus, **nous proposons de définir la condition écosystémique sur la base de 2 ensembles de conditions indépendants :**

Un premier ensemble que l'on va qualifier de **condition structurelle** est associé à la structure biophysique des écosystèmes (Figure 12). Pour les écosystèmes terrestres la productivité de la végétation, la biomasse aérienne et souterraine, la densité des tiges, la taille/le poids des espèces et la structure verticale et horizontale de la végétation sont très importants. Ces éléments ont tendance à avoir des effets bénéfiques sur de nombreux services écosystémiques et en particulier une grande partie des services d'approvisionnement et un groupe particulier de services de régulation : régulation atmosphérique (stockage du carbone), régulation du débit d'eau (protection contre les inondations), régulation du débit de masse (prévention de l'érosion), régulation de la qualité de l'eau (purification de l'eau) et régulation de la qualité de l'air. Pour les écosystèmes d'eau douce, la naturalité des rives et des fonds, l'importance quantitative de la masse d'eau, l'altération ou non de la qualité de l'eau peuvent être

considérées. Pour les écosystèmes marins, la naturalité du littoral et des fonds, la qualité des eaux, l'importance de la colonne d'eau ou de la structure au regard d'un état naturel sont importantes (zones estuariennes, zones tidales, plages, etc.).

Un **second ensemble** que l'on va qualifier de **condition biologique** se rapporte à la biodiversité, à la composition des assemblages biotiques, aux interactions spécifiques et aux réseaux trophiques (Figure 12). Elle comprend des indicateurs liés à la diversité : la richesse des espèces, la diversité des populations d'espèces, la richesse fonctionnelle, la diversité fonctionnelle, la complexité structurelle et la diversité des paysages. La diversité s'avère importante pour un large éventail de services qui sont déterminés fortement par des interactions biotiques et renforcés par la complémentarité des espèces. Ce sont en parti-

culier des services de régulation : pollinisation, régulation des prédateurs des cultures, maintien de la qualité des sols, mais également en complément du premier ensemble de conditions pour certains services d'approvisionnement et de régulation, tels que la production de matériaux et fibres, la régulation du climat, les ressources alimentaires sauvages, etc. Certains services culturels comme la valeur d'existence, la valeur patrimoniale, l'esthétique et la connaissance et l'éducation sont associés à une biodiversité importante à différentes échelles.

Au sein de cet ensemble de conditions biologiques, il est possible quelquefois de noter une importance particulière de la présence ou l'abondance d'espèces ou de groupes fonctionnels importants. Ceci est particulièrement important pour la pêche en eau douce, le bois, les loisirs basés sur l'observa-

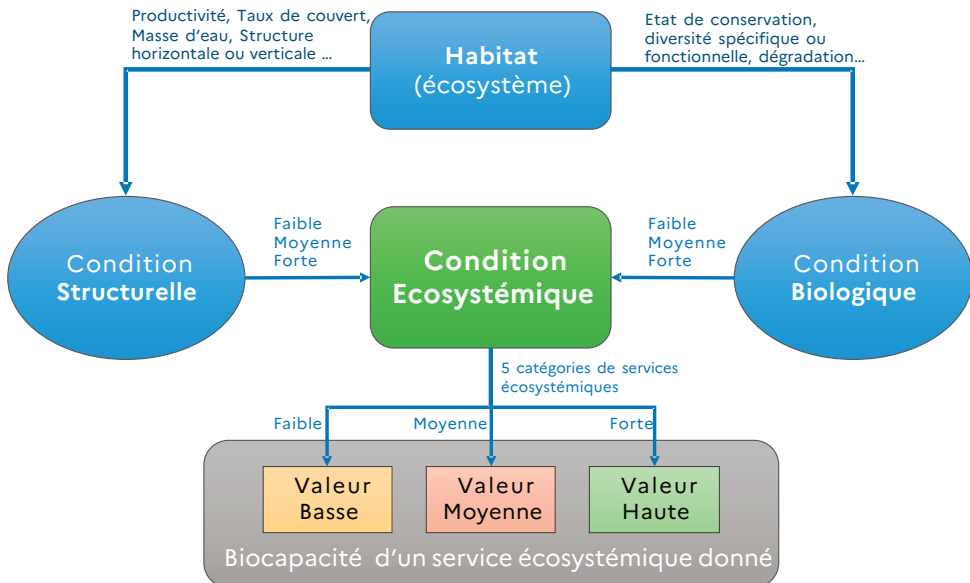


Figure 12 : schéma d'évaluation de la condition écosystémique pour moduler les scores de services moyens fournis par une matrice de capacité

tion de la biodiversité (ornithologique, floristique), la pollinisation et la régulation des nuisibles ; un certain nombre de caractéristiques au niveau des espèces (telles que la taille ou le comportement de prédation) sont importantes pour déterminer quels sont les contributeurs les plus efficaces au service écosystémique.

Enfin, seules quelques caractéristiques biotiques ont un impact négatif avéré sur la fourniture de services écosystémiques. Il s'agit du taux de mortalité des espèces, de l'abondance de certaines espèces non-indigènes (par exemple, la végétation envahissante) et de la présence de plantations forestières qui peuvent avoir un impact négatif sur l'approvisionnement en eau douce. La diversité peut aussi avoir un effet négatif si l'on ne considère que la biomasse brute du produit ciblé. En effet la productivité de la culture principale est maximale en monocultures, les systèmes en polyculture vont maximiser la diversité et la stabilité aux détriment de la biomasse brute. Ces éléments sont à considérer lorsque l'on évalue l'état de condition biologique.

Important : l'approche présentée ci-dessous concerne exclusivement la modulation des scores de capacité en services issus d'une matrice de capacité moyenne. Si l'évaluation des services écosystémiques est réalisée par une autre approche (InvEST, TESSA ou autre), il convient de se rapporter à la méthodologie d'évaluation pour considérer les états des écosystèmes locaux, mais également suite à des altérations ou des restaurations dans le cadre du projet d'aménagement évalué.

Groupes de services écosystémiques

Les relations entre les services écosystémiques et la condition écosystémique sont complexes et variables. Nous proposons d'identifier 5 groupes de services en fonction de leur dépendance à 2 groupes de paramètres: d'une part, la productivité et la biomasse et d'autre part, l'état de conservation ou la biodiversité. Pour certains SE, il convient en plus de considérer la présence et l'abondance de certaines espèces-cibles. Par exemple, des espèces comestibles ou bien des espèces emblématiques. De même, les matériaux et fibres sont proportionnels à la biomasse, mais la nature des espèces peut être également importante pour la capacité de ce service écosystémique.

Le tableau 3 présente la répartition des services écosystémiques en 5 groupes et les 2 critères utilisés pour le regroupement. La biomasse et le couvert végétal déterminent la vigueur et la densité de biomasse primaire qui supportent de nombreux services et notamment les services d'approvisionnement, mais également d'autres tels que le contrôle de l'érosion qui est fonction du couvert et de l'enracinement des espèces végétales. La caractéristique conservation/biodiversité représente la naturalité des écosystèmes et leur biodiversité spécifique et fonctionnelle.

Groupe 1 : les SE qui dépendent essentiellement de la biomasse végétale de l'écosystème et marginalement de la biodiversité

- Régulation du climat et de la composition atmosphérique
- Contrôle de l'érosion

Tableau 3 : Regroupement des services écosystémiques en fonction de leur dépendance à des critères de condition écosystémique. Les symboles + à +++ indiquent l'importance faible ou forte du critère. La case vide indique une relation très faible à nulle.

Code	Intitulé des services écosystémiques	Groupe	Condition structurelle	Condition biologique
SR8	Contrôle de l'érosion	1	+++	+
SR1	Régulation du climat et de la composition atmosphérique	1	+++	+
SR11	Limitation des nuisances visuelles, olfactives et sonores	1	+++	+
SR9	Protection contre les tempêtes	1	+++	+
SA8	Composés et matériel génétique des êtres vivants	2	++	++
SA4	Ressource animale alimentaire sauvage	2	++	++
SA3	Ressource végétale et fongique alimentaire sauvage	2	++	++
SR5	Pollinisation et dispersion des graines	2	++	++
SA6	Matériaux et fibres	3	+++	
SA9	Biomasse à vocation énergétique	3	+++	
SR10	Régulation des inondations et des crues	3	++	
SA7	Ressource secondaire pour l'agriculture	3	++	
SA2	Production animale alimentaire élevée	3	++	
SA1	Production végétale alimentaire cultivée	3	++	
SR4	Offre habitat, de refuge et de nurserie	4	+	++
SC2	Héritage (passé et futur) et existence	4	+	+
SC3	Esthétique	4	+	++
SC4	Activités récréatives	4	+	+
SC1	Emblème ou symbole	4	+	+
SA5	Eau douce	4	+	+
SR6	Maintien de la qualité des eaux	4	+	++
SR2	Régulation des vecteurs de maladies pour l'Homme	5	+	+++
SR3	Régulation des ravageurs	5	+	+++
SC5	Connaissance et éducation	5	+	+++
SR7	Maintien de la qualité du sol	5	+	+++

- *Protection contre les tempêtes*
- *Limitation des nuisances visuelles, olfactives et sonores*

Ce groupe rassemble les SE de régulation qui dépendent surtout des éléments structurels des écosystèmes, tels que la biomasse, le recouvrement végétal (protection contre les tempêtes, etc.), la productivité primaire (régulation du climat/séquestration du carbone) ou la capacité de stockage

des milieux aquatiques et humides (régulation des inondations et des crues, etc.).

C'est donc la structure de l'écosystème qui influence l'intensité du service rendu. Par exemple, plus le couvert végétal d'une forêt (toutes strates confondues) est important, plus cette forêt rendra le SE de protection contre les tempêtes de manière efficace.

En outre, les SE de ce groupe ne sont

Tableau 4 : matrice de détermination de la matrice de capacité à utiliser pour les services écosystémiques du groupe 1.

		Condition biologique		
		Faible	Moyenne	Forte
Condition structurelle	Faible	Basse	Basse	Moyenne
	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Haute
	Forte	Haute	Haute	Haute

pas (ou peu) influencés par la composition spécifique. En effet, la capacité des écosystèmes à rendre ces SE ne dépend pas (ou peu) des espèces qui les composent ou de leur état de conservation.

Par exemple, en général, une forêt rendra tout de même le service de protection contre les tempêtes, même si elle est pauvre en termes de biodiversité spécifique (peu d'espèces).

En termes de valeurs seuils pour le recouvrement végétal, les seuils de 30 % et 70 % de couvert végétal peuvent être considérés pour déterminer des valeurs faibles (<30%), moyennes (entre 30 et 70%) ou fortes (>70%). Ces seuils peuvent être légèrement modulés en fonction de l'état de santé de la végétation (éléments compositionnels), ainsi un couvert de 80 %, mais avec 20 % de végétation dans un état de santé faible (feuillage roussi, malade...) peut être classé en valeur moyenne.

La biomasse s'apprécie en fonction du type d'écosystèmes et du contexte régional. Ainsi, la biomasse d'une prairie est de l'ordre de la dizaine de tonnes/hectare et celle d'une forêt de la centaine de tonnes/hectare. Il n'est donc pas possible de définir des va-

leurs seuils communes aux différents écosystèmes. Une estimation doit être réalisée à partir du biovolume afin de déterminer si la végétation est très dense ou bien clairsemée. Pour les forêts, la densité et la hauteur des arbres est à prendre en compte (Campagne et Roche, 2019).

Groupe 2 : les SE qui dépendent de la structure de l'écosystème et de sa composition spécifique ou fonctionnelle

- Ressource végétale et fongique alimentaire sauvage
- Ressource animale alimentaire sauvage
- Composés biochimiques et matériel génétique des êtres vivants
- Pollinisation et dispersion des graines

Ce sont principalement des services d'approvisionnement issus de l'usage de la faune et de la flore sauvage. La capacité de ces SE dépend avant tout de la structure de l'écosystème et de la productivité du milieu, mais également de sa composition. La disponibilité en espèces-cibles et l'état de conservation peut être également im-

Tableau 5 : matrice de détermination de la matrice de capacité à utiliser pour les services écosystémiques du groupe 2.

		Condition biologique		
		Faible	Moyenne	Forte
Condition structurelle	Faible	Basse	Basse	Moyenne
	Moyenne	Basse	Moyenne	Haute
	Forte	Moyenne	Haute	Haute

portant. Par exemple, plus le milieu marin est productif, plus la ressource piscicole sera importante pour la pêche marine. Cependant, la pêche marine est dépendante du maintien des espèces ciblées par l'activité. La détérioration de l'état de conservation de l'écosystème, par une surexploitation des ressources par exemple, pourrait entraver le maintien de ce SE. La condition biologique peut être évaluée sur la base des inventaires et observations réalisés pour la composante biodiversité de l'évaluation environnementale. Il faut noter que la seule prise en compte des espèces patrimoniales n'est pas suffisante, car les services écosystémiques reposent sur de nombreuses espèces dites « ordinaires ».

Groupe 3 : les SE qui dépendent essentiellement de la biomasse et du couvert végétal

- Matériaux et fibres
- Biomasse à vocation énergétique
- Régulation des inondations et des crues
- Ressource secondaire pour l'agriculture/alimentation indirecte
- Production animale alimentaire élevée
- Production végétale alimentaire cultivée

Ce sont essentiellement des SE d'approvisionnement issus de l'exploitation des ressources animales élevées ou végétales cultivées. L'expression de ces SE dépend surtout de la structure de l'écosystème, et en particulier de la productivité du milieu, mais sera également déterminée par sa composition. Les éléments de composition déterminants pour ces SE sont l'occurrence d'espèces particulières associées à des ressources spécifiques, par

Tableau 6 : matrice de détermination de la matrice de capacité à utiliser pour les services écosystémiques du groupe 3.

		Condition biologique		
		Faible	Moyenne	Forte
Condition structurelle	Faible	Basse	Basse	Basse
	Moyenne	Basse	Moyenne	Moyenne
	Forte	Moyenne	Haute	Haute

exemple des espèces cultivées, mais également l'état de conservation de l'écosystème. Par ailleurs, un milieu qui n'a pas été exploité de manière intensive aura un meilleur état de conservation. L'état de conservation, pour ces SE, fait donc référence ici à l'intensité des pratiques (bio, biodynamique, extensif, ou intensif). Les systèmes les plus intensifs étant associés à un état de conservation le plus faible.

Groupe 4 : les SE qui dépendent principalement de la composition spécifique et fonctionnelle de l'écosystème et de sa structure

- Offre habitat, de refuge et de nurserie
- Héritage (passé et futur) et existence
- Esthétique
- Activités récréatives
- Emblème ou symbole
- Eau douce
- Maintien de la qualité des eaux

Ce sont principalement des SE socio-culturels, dont la valeur peut être modulée par des éléments de contexte paysager, topographique ou non bio-

tique (falaises, plages de sable, rochers, etc.). Par exemple, la valeur d'héritage d'un site ne dépend pas de sa structure, mais de sa valeur patrimoniale et historique. Les activités récréatives, telles que la chasse par

Tableau 7 : matrice de détermination de la matrice de capacité à utiliser pour les services écosystémiques du groupe 4.

		Condition biologique		
		Faible	Moyenne	Forte
Condition structurelle	Faible	Basse	Moyenne	Haute
	Moyenne	Basse	Moyenne	Haute
	Forte	Moyenne	Haute	Haute

exemple, ne dépendent pas directement de la structure de l'écosystème (par ex. recouvrement végétal), mais seront modulées par la richesse et l'abondance en espèces cibles de l'écosystème. Le choix de la matrice de capacité basse, moyenne ou haute peut être complété par une argumentation sur le contexte.

Groupe 5 : les SE qui dépendent principalement de l'état de conservation et de la biodiversité au sein des habitats

- Régulation des animaux vecteurs de maladies pour l'Homme
- Régulation des ravageurs
- Connaissance et éducation
- Maintien de la qualité du sol

Des inventaires in situ et une analyse naturaliste permettront d'identifier le niveau de condition biologique et l'intérêt en termes de biodiversité (y compris non patrimoniale).

La condition structurelle agit de manière secondaire. Ce sont essentiellement les SE de régulation qui reposent sur des processus biotiques en premier lieu : fonctionnement microbiologique pour le maintien de la qualité des eaux et de la qualité des sols, diversité des animaux prédateurs pour la régulation des animaux vecteurs de maladies et régulation des ravageurs.

Ces processus biotiques sont intrinsèquement liés à la composition de l'écosystème, mais également modulés par sa structure, tel que le SE « l'offre d'habitat, de refuge et de nurserie ».

Tableau 8 : matrice de détermination de la matrice de capacité à utiliser pour les services écosystémiques du groupe 5.

		Condition biologique		
		Faible	Moyenne	Forte
Condition structurelle	Faible	Basse	Basse	Moyenne
	Moyenne	Basse	Moyenne	Haute
	Forte	Basse	Moyenne	Haute

EN SAVOIR PLUS : Balvanera et al. (2006) ; Maskell et al. (2013) ; McLaughlin et al. (2013) ; Peterson & Bennett (2010) ; Worm et al. (2006).

L'ESSENTIEL

Notions de base sur les services écosystémiques :

Les services écosystémiques sont les bénéfiques que les humains tirent des écosystèmes.

- ✓ Ils sont généralement groupés en 3 catégories : les services d'approvisionnement (ex. : la nourriture pour l'homme, les différents matériaux extraits de la nature) ; les services de régulation (ex. : la régulation du climat, de la qualité de l'eau et de l'air, la pollinisation) ; les services culturels (ex. : les valeurs esthétiques, emblématiques et les activités de pleine nature).
- ✓ L'échelle « d'effet » ou « d'action » des services peut varier selon les fonctions de l'écosystème qui leur sont liées. Le service de pollinisation aura une échelle d'impact plutôt zonale autour des habitats de vie des pollinisateurs alors que les services d'approvisionnement sont localisés au lieu précis car liés à une source de production définie.
- ✓ Les services peuvent être évalués en fonction de l'offre et de la demande. L'offre détermine ce que la nature produit et fournit. La demande regroupe ce que l'homme consomme ou utilise. Dans chacun de ces deux aspects, des distinctions sont encore faites dans les valeurs et les méthodes d'évaluation qui peuvent être différentes.
- ✓ Les services sont en interactions entre eux et dépendent de l'état de l'écosystème.
- ✓ Il existe de nombreuses méthodes d'évaluation des services, liées à leurs valeurs économiques, sociales et biophysiques.
- ✓ La région Haut-de-France dispose des résultats de son évaluation des services écosystémiques publiés en 2019 (<https://www.hauts-de-france.developpement-durable.gouv.fr/?Les-services-ecosystemiques-15560>).
- ✓ La condition écosystémique se rapporte aux différentes caractéristiques et processus écologiques qui supportent les services écosystémiques.



3. Évaluer les services écosystémiques

Afin de prendre en compte les SE dans les EIE, nous proposons une méthodologie en 6 étapes à réaliser pour chaque scénario ou variante du projet, plan ou programme (Figure 13) :

- 1. Délimitation des zones d'impact du PPP et des zones d'évaluations** : déterminer l'emprise de l'évaluation et de l'impact sur les services écosystémiques ;
- 2. Évaluation des écosystèmes impactés** : identifier et quantifier les écosystèmes impactés par le projet, plan ou programme ;
- 3. Priorisation des services écosystémiques** : déterminer les services écosystémiques à enjeux à prendre en compte pour l'évaluation de l'impact ;
- 4. Évaluation des services écosystémiques** : qualifier ou quantifier les services écosystémiques sur la zone d'évaluation de l'impact ;
- 5. Bilan des gains et pertes en services écosystémiques** : faire le bilan des gains et pertes en services, standardiser les valeurs, définir l'importance de la variation en services écosystémiques et représenter les résultats, puis les analyser ;
- 6. Intégration des résultats dans le rapport de l'évaluation des incidences sur l'environnement** : comparer les résultats de chaque

alternative/scénario, justifier le choix final et confronter les pertes et gains en services avec les autres parties de l'évaluation des incidences sur l'environnement et orienter le choix vers le scénario ou la variante de moindre impact vis-à-vis des SE.

* **Démarche itérative** : si les impacts sont significatifs, il peut être nécessaire de revoir le PPP soit en envisageant l'implantation sur une autre parcelle (alternative) soit en examinant une implantation différente sur la parcelle (scénario). L'ajout de mesures ERc peut aussi modifier l'impact sur les SE. Les étapes précédentes sont à réaliser pour chaque alternative et/ou scénario présenté dans l'EIE, que celui-ci ait été envisagé pour améliorer l'impact sur les SE spécifiquement ou sur une autre thématique.

À certaines étapes de la méthode, il y a plusieurs options pour atteindre le résultat nécessaire. Nous listons alors les différentes options possibles selon le degré de complexité en connaissances ou expertises nécessaires, en temps nécessaire et en temps moyen d'application pour la réalisation des options via plusieurs niveaux de complexité tels que présentés en Figure 14.

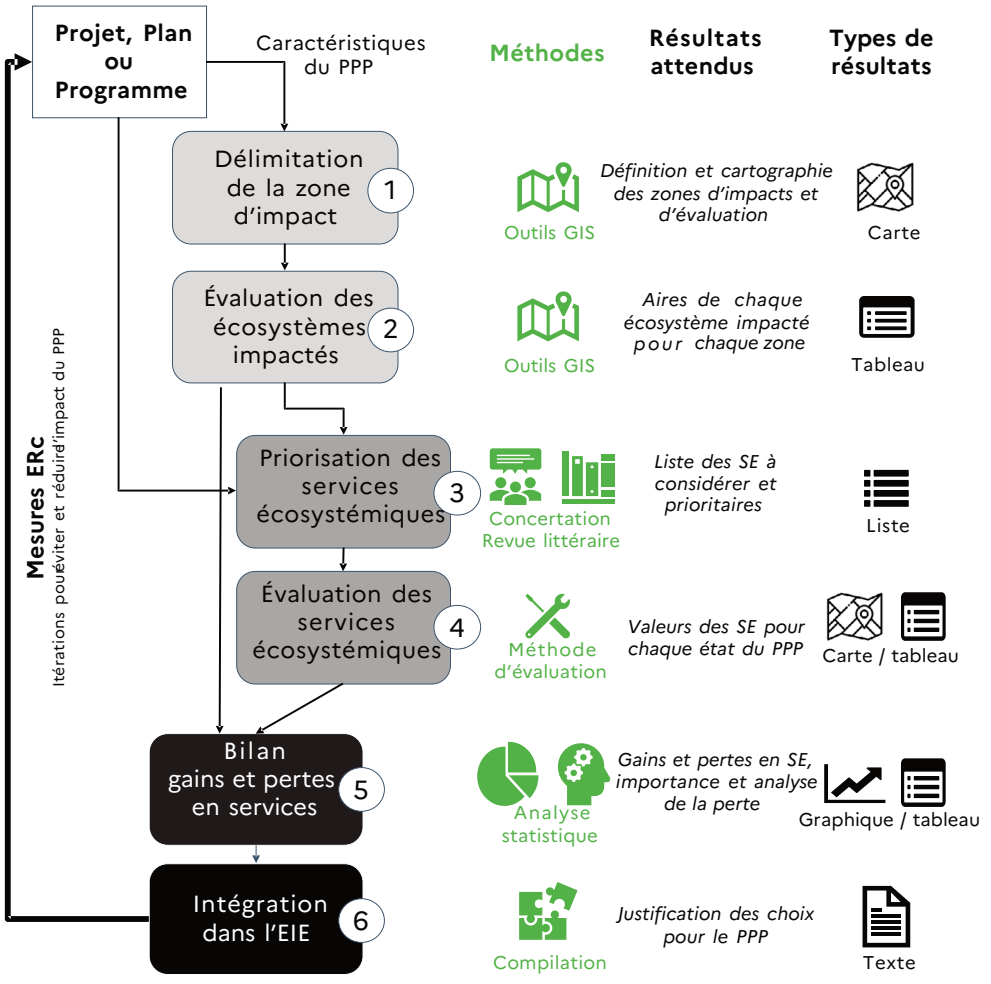


Figure 13 : méthodologie pour l'intégration des SE dans les EIE (PPP : projet, plan or programme ; SE : service écosystémique ; EIE : évaluation des incidences sur l'environnement)

Degré de complexité de l'approche



Figure 14 : explication des différents degrés de complexité d'une approche.

ÉTAPE 1 : délimitation des zones d'impact et des zones d'évaluations du projet

La première étape consiste à définir et à cartographier deux catégories de zones : les zones d'impacts qui sont les zones sur lesquelles les SE vont être affectés par l'aménagement et les zones d'évaluations qui sont les zones sur lesquelles est produit un rapportage des variations des SE suite à l'aménagement (Figure 15). Ces zones sont définies pour chaque scénario et les sites de compensation éventuels.

Les zones d'impacts

Le changement d'occupation du sol est la première source d'impact direct sur les écosystèmes. Il en résulte qu'il convient de différencier les PPP en fonction de leurs impacts sur l'occupation du sol : par exemple, plus un projet engendrera un changement d'occupation du sol sur une grande surface, plus il aura potentiellement un impact sur les services écosystémiques et les autres composantes de l'écosystème (fonctions, biodiversité...). De même, plus les PPP prévoient un changement d'occupation du sol vers des milieux intensément gérés ou de moins en moins naturels, plus ils auront un impact négatif sur la capacité de la zone à produire de multiples services écosystémiques.

Le second type d'impact direct est l'altération de la condition écologique des écosystèmes. Il est possible de modifier différents paramètres d'état de l'écosystème, mais sans changer sa nature. Par exemple il est possible de tasser les sols avec des engins, débroussailler, réduire le couvert végétal... Cela aura pour effet de modifier également

la capacité en services écosystémiques comme il est présenté dans la partie 2.9 de ce guide.

Pour certains PPP, notamment de grande ampleur, il sera nécessaire de définir un troisième niveau d'impact, cette fois indirect sur le territoire. Ce niveau concerne les milieux qui sont souvent hors de la zone d'étude ou « zone d'évaluation 2 ». Les impacts indirects peuvent être des altérations écosystémiques avec des effets à longue distance (par exemple altération de flux hydrologiques, ruptures de grandes continuités écologiques, etc.), ils sont plus détaillés dans l'encadré « Aller plus loin » suivant.

Les zones de compensation du PPP sont aussi à prendre en compte, car les mesures compensatoires, souvent liées à des restaurations d'écosystèmes, peuvent avoir un effet sur les SE évalués.

Ainsi, la zone d'impact direct est définie par la zone de modification d'occupation du sol et d'altération de la condition écologique liée aux travaux et à l'aménagement final du projet. Cette zone est généralement différente de la zone de délimitation du PPP qui est souvent plus large (Figure 10). Selon la nature du projet, la zone de modification d'occupation du sol peut varier temporellement et doit aussi prendre en compte les zones touchées lors de la construction des infrastructures.

Par exemple, un projet d'infrastructure linéaire (type route ou ferroviaire) a une zone de modification d'occupation du sol qui dépasse son changement d'occupation final (la route elle-

même), car il faut aussi considérer les zones impactées lors de la construction de l'infrastructure linéaire (Figure 15). En effet, comme le met en avant Léa Tardieu (2014) : « Les zones en bordure de l'axe d'infrastructure sont généralement modifiées par le besoin de déblayer, de niveler, de combler et de couper les milieux et éléments naturels. Les travaux de construction modifient la structure des sols, le relief du paysage, l'écoulement des eaux de surface et souterraines et le microclimat, altérant les fonctions écologiques et la composition des écosystèmes qui, à leur tour, affectent l'offre en services écosystémiques ».

Les zones d'évaluations

Les variations de la capacité en services écosystémiques ne dépendent pas des périmètres définis. Par contre, le périmètre utilisé pour conduire l'évaluation et le rapportage de l'impact du projet va avoir une influence forte sur les taux de variation de la capacité en SE et donc sur l'interprétation des résultats.

En effet, plus l'on considère une surface importante, plus le ratio entre les

zones impactées et les zones non impactées va réduire et de ce fait le taux de variation des services écosystémiques va être également diminué (voir la partie sur le calcul des variations). Il est donc important de définir des bonnes pratiques pour cadrer les évaluations.

Nous proposons de déterminer un rapportage des variations de capacité en SE pour 2 niveaux : la zone d'impact du projet et la zone de délimitation du projet (Figure 15).

Niveau d'évaluation 1 : la zone d'impact direct (et indirect) du projet

Cette zone correspond à l'emprise cumulée de l'aménagement final du projet et des zones qui seront altérées lors des travaux ou lors de la mise en place d'installations temporaires, soit la totalité des zones faisant l'objet d'une modification.

Pour les plans et programmes, il peut s'agir de l'ensemble des zones à urbaniser ou faisant l'objet d'orientations d'aménagement et de programmation, et des secteurs de taille et capacité d'accueil limitées. Lorsqu'elle est

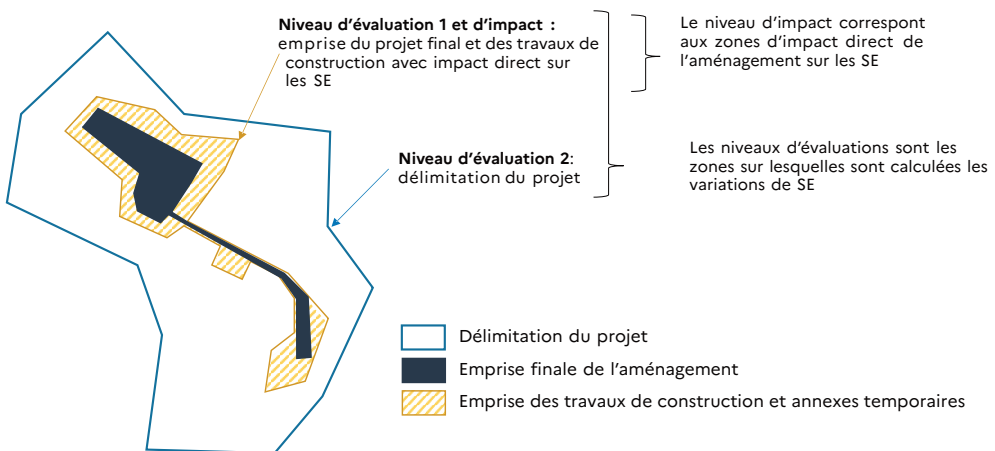


Figure 15 : exemple illustratif schématique des niveaux d'impacts et des niveaux d'évaluations.

connue, la zone d'impact indirect doit être prise en compte.

Les projets présentent souvent des mesures compensatoires hors site, notamment pour compenser des pertes en termes de biodiversité. Il est nécessaire d'évaluer également les gains et pertes en SE sur ces sites et les intégrer à la zone d'impact.

Niveau d'évaluation 2 : la zone de délimitation du projet

Il s'agit de l'emprise globale du projet. Par exemple pour un plan local d'urbanisme, il peut s'agir de la totalité du territoire communal. Pour certains projets, il peut s'agir de la zone de la déclaration d'utilité publique (DUP).

De manière simple, elle reprend les périmètres définis pour les autres composantes de l'évaluation environnementale : aire d'étude immédiate ou rapprochée selon les projets ainsi que les aires concernées par les impacts indirects. Elle est généralement plus grande que l'aménagement lui-même et sert de délimitation pour les autres éléments de l'évaluation environnementale.

Les zones de mesures compensatoires doivent être prises en compte dans cette délimitation. D'autre part, les autres PPP inclus dans la zone d'évaluation devraient être intégrés à l'évaluation pour prendre en compte les effets cumulés.

Selon les projets, il peut y avoir plusieurs délimitations d'étude telles que l'aire d'étude rapprochée avec un rayon de 500 m, le périmètre d'étude élargi avec un rayon de plusieurs km ou avec des zones de mesures compensatoires sur une aire diffé-

rente... Il conviendra alors selon la nature du projet de réaliser une évaluation pour ces différentes zones.

COMMENT FAIRE ?

En se basant sur les descriptions du projet, plan ou programme, il convient de définir les différents périmètres d'impacts et d'évaluations. Les données cartographiques associées aux projets et programmes permettent généralement de définir assez précisément le niveau d'impact direct et les niveaux d'évaluation en utilisant un logiciel de SIG.

Résultat 1 : définition et cartographie des zones d'évaluations et d'impacts

EXEMPLE ILLUSTRATIF

L'illustration des différentes étapes de l'évaluation est sur la base d'un exemple fictif d'un projet d'aménagement d'une route secondaire d'environ 2 kilomètres faisant la liaison entre deux routes préexistantes (Figure 16). Il s'agit d'un exemple volontairement simplifié pour illustrer chaque étape de cette méthodologie.

La Figure 16 représente le projet d'aménagement et les différents niveaux d'évaluation et d'impact. Sur cette base il est possible de définir que le niveau d'évaluation 1 et d'impact direct et indirect a une surface de 18,4 ha. Le niveau d'évaluation 2, ici la DUP, a une surface de 86,2 ha.

Cet exemple illustratif ne comprend pas de zone pour des mesures compensatoires. Dans un vrai projet, il conviendrait d'évaluer les SE pour

Aller plus loin dans l'analyse des zones d'impact indirect de proximité

✓ En plus de la zone d'impact direct, une zone d'impact indirect de proximité existe et forme la zone tampon autour de la zone de changement d'occupation du sol à partir duquel le fonctionnement des écosystèmes et des services écosystémiques peut être modifié. Il s'agit d'une zone d'effet des services écosystémiques. Elle est déterminée sur la base de l'emprise finale des aménagements et englobe généralement la zone de niveau d'évaluation 1 concernée par les travaux intermédiaires, mais également des zones non directement impactées.

✓ Au vu de la diversité des SE et du manque de connaissances sur les zones d'effet ou tampon, cette zone d'impact indirect n'est pas présentée dans cette première version de la méthodologie, mais si des données sont disponibles sur cette zone, alors toute prise en compte est recommandée.

Aller plus loin dans l'analyse des incidences en fonction du type de projet

Même si chaque type de projets, plans ou programmes a un impact particulier sur l'environnement, nous pouvons regrouper les projets selon leur structure et leurs impacts sur l'occupation du sol. L'impact peut être plus détaillé avec des informations sur la nature de l'incidence avec des informations sur :

- Sa durée (permanente ou temporaire) ;
- Sa fréquence
- Son intensité, il est possible de classer l'incidence sur l'occupation du sol comme faible, moyenne ou forte à partir des enjeux locaux et des conditions écosystémiques ;
- Sa réversibilité.

L'irréversibilité à long terme et la substituabilité des services fournis sont ainsi définies par Léa Tardieu (2014, p. 134) :

Cas 0 : pas d'évolution dans le temps ;

Cas 1 : pertes irréversibles de composants de services écosystémiques techniquement substituables ;

Cas 2 : pertes d'éléments irremplaçables de la biodiversité, mais pour lesquels les conséquences ne menacent pas la survie de la société humaine ;

Cas 3 : pertes de composants essentiels de la biodiversité, dont les conséquences sont imprévisibles et peuvent menacer la survie de nos sociétés.

Ces informations peuvent être intégrées à cette évaluation et/ou peuvent servir en discussion pour la réflexion sur les incidences globales.

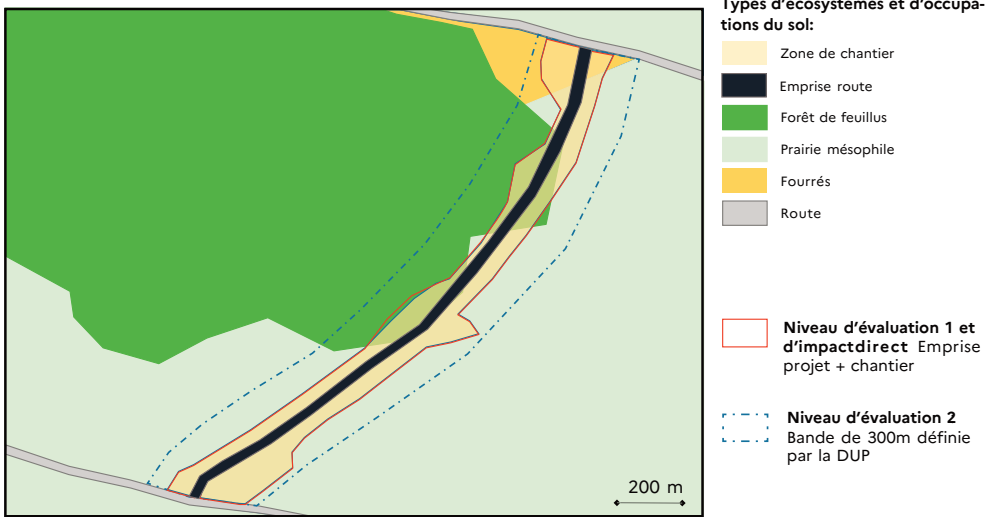


Figure 16 : cartographie illustrative d'un projet de construction d'une portion de route secondaire

différents scénarios et à chaque modification du projet (démarche itérative) afin d'identifier les zones à éviter et les mesures de réduction à adopter.

ÉTAPE 2 : identification des écosystèmes impactés

Les écosystèmes impactés sont les écosystèmes subissant une modification d'occupation du sol ou une modification de leur condition. Il s'agit des écosystèmes inclus dans la zone d'évaluation 1, soit d'impact direct et indirect. Cette liste d'écosystèmes va servir à définir les services écosystémiques à évaluer en priorité. Cependant, il est nécessaire d'identifier également les écosystèmes non impactés inclus dans la zone d'évaluation 2 (Figure 15) afin de calculer le taux de variation de la capacité de SE à cette échelle.

COMMENT FAIRE ?

À partir de la définition et de la carto-

graphie des zones d'évaluations, il faut lister les écosystèmes impactés en se basant sur les occupations du sol et déterminer leurs surfaces avant et après les projets, plans et programmes pour chaque variante ou scénario, avec 2 tableaux : un avec les surfaces de la zone d'évaluation 1 (exemple tableau 9a), et un avec les surfaces de la zone d'évaluation 2 (exemple tableau 9b).

Nous avons à définir la surface des écosystèmes pour chaque état du PPP soit à l'état initial du projet, durant le projet - s'il y a un état intermédiaire avec des zones modifiées pendant le projet et restauré avant la fin du projet - et après le projet. Ainsi, les surfaces modifiées de chaque écosystème peuvent être facilement calculées par soustraction.

De manière générale, 2 états sont considérés à minima :

1. l'état initial avant toute intervention et,
2. l'état final après projet qui intègre

les actions de restauration au sein du périmètre d'évaluation.

Il est possible de considérer également, notamment dans le cas de projets de grande ampleur et de longue durée, un état intermédiaire qui correspond à la phase de chantier en cours. Nous prendrons en compte un état intermédiaire dans l'exemple d'illustration.

Résultat 2 : liste des écosystèmes et de leurs surfaces au sein du périmètre d'étude aux différentes étapes considérées

EXEMPLE ILLUSTRATIF

La route de près de 2 km de long doit être construite pour relier deux autres routes (Figure 16) et a un tracé prévu qui traverse 3 types d'écosystèmes : une forêt de charmes et chênes, des prairies mésophiles partiellement pâturées et une petite zone de fourrés. Une bande de 300 m dans laquelle sera réalisée la route a été définie lors de la DUP.

On peut construire un tableau qui résume les surfaces initiales, intermédiaires et finales du projet d'aménagement. La route aura une emprise finale de 8 m de large, auxquels s'ajoutent les bords de route qui seront régulièrement entretenus par débroussaillage mécanique. L'emprise du projet est de 18,4 ha.

Pour construire la route, 9,8 ha de prairie, 6,7 ha de forêt et 1,7 ha de fourrés seront impactés directement au sein de la zone de 86,3 ha définie par la DUP (avec destruction partielle à totale). La partie utilisée temporairement pour le chantier de construction

sera restaurée à la fin du projet, mais aboutira à court terme à des formations végétales de qualité écologique faible. Une fois le projet réalisé, l'emprise du projet sera occupée par 2,2 ha de route, 9,4 ha de pelouse graminéenne, 5 ha de plantation forestière et 1,8 ha de bord de route (tableau 9a et 9b).

Ces tableaux d'évolution des surfaces des différents écosystèmes et modes d'occupation du sol fournissent les premières données de base nécessaires à l'évaluation des services écosystémiques. L'unité de mesure de la surface n'a pas d'influence sur le taux de variation en services écosystémiques.

ÉTAPE 3 : priorisation des services écosystémiques

Dans un processus d'évaluation des services écosystémiques, il est souvent nécessaire de réaliser une sélection des services qui seront étudiés, notamment pour réduire la quantité de travail en n'évaluant que les services les plus importants.

Il convient cependant de définir des critères pour objectiver cette priorisation des services écosystémiques. Il est recommandé dans un premier temps d'utiliser une liste de services écosystémiques de référence et de s'en servir comme base pour la priorisation. Il existe des classifications de services telles que les listes de services dans le MEA (2005), dans l'EFESE (tableau 10) et dans le CICES V5.1 (<https://cices.eu>) et la liste des services écosystémiques que nous avons utilisée dans l'évaluation des services rendus par la région Hauts-de-France (tableau 11).

À partir d'une - ou plusieurs - liste de services écosystémiques, il faut sélectionner

tionner ceux à prendre en compte dans l'EIE.

Pour cela, pour chaque service de la liste existante, il faut répondre à différentes questions, en utilisant par exemple un arbre de décision (Figure 17). Même s'il est possible de définir la liste des services écosystémiques avec d'autres méthodes, nous recommandons l'arbre de décision ci-dessous qui aborde les thématiques importantes pour prioriser les services. Plusieurs éléments de priorisation doivent être pris en compte en fonction de la nature et du contexte du projet.

A. En fonction de la nature du PPP (point 1 - figure 17)

Sur la base du PPP et des écosystèmes qui seront impactés, il s'agit de déter-

miner les principaux services écosystémiques associés à ces écosystèmes. À titre d'exemple et sur la base de l'évaluation des services écosystémiques rendus par les écosystèmes des Hauts-de-France, une matrice simplifiée en termes d'écosystèmes qui présente en 3 niveaux la capacité des SE pour les différents écosystèmes (tableau 12) permet très rapidement de déterminer les SE qui seront potentiellement les plus impactés.

À partir de la liste des écosystèmes impactés obtenue en Résultat 2, il est possible de déterminer les principaux SE rendus par ces écosystèmes. Les valeurs indiquent l'importance du SE pour chaque type d'écosystème : 1= capacité nulle à faible, 2= capacité

Tableaux 9 : tableau type de la liste des écosystèmes et les surfaces occupées aux différentes phases du projet sur la zone d'évaluation 1 et d'impact (Tableau a) et de la zone d'évaluation 2 (DUP) de l'exemple illustratif (Tableau b).

Tableau 9a

Type d'écosystèmes	État initial (ha)	État intermédiaire (ha)	État final (ha)
Forêt feuillue	6.7		
Prairie mésophile	9.8		
Fourrés	1.7		
Terre nue chantier		18.2	
Route			2.2
Bord de route	0.2	0.2	1.8
Pelouse restaurée			9.4
Plantation feuillus			5.0

Tableau 9b

Type d'écosystèmes	État initial (ha)	État intermédiaire (ha)	État final (ha)
Forêt feuillue	35.8	29.1	29.1
Prairie mésophile	45.4	35.6	35.6
Fourrés	4.9	3.2	3.2
Terre nue chantier		18.2	
Route			2.2
Bord de route	0.2	0.2	1.8
Pelouse restaurée			9.4
Plantation feuillus			5.0

modérée et 3= capacité forte. La valeur d'impact potentiel est la valeur maximale rencontrée pour la liste des écosystèmes impactés (tableau 13).

L'exemple illustratif a un impact direct sur une forêt, qui est un type d'écosystème à forte capacité en services écosystémiques, l'impact potentiel concerne un grand nombre de SE (21 SE fortement impactés sur 25 et 3 SE à impacts modérés). Seul le service « Production végétale alimentaire cultivée » aurait un impact potentiel faible.

B. En fonction du contexte d'application du PPP (point 2 - figure 17)

a) Les services importants pour les acteurs (ou autres publics cibles)

Afin de définir si un service est important pour un public cible, il faut soit se baser sur la littérature, soit effectuer une évaluation sociale de la demande et/ou de la préférence du public cible.

Comme présenté dans la partie 2 "Notions de base sur les services écosystémiques", il existe de nombreuses approches socio-culturelles des services qui présentent des degrés de complexité différents. Pour choisir la méthode adaptée, il faut connaître l'expertise nécessaire à sa mise en œuvre, disposer du temps nécessaire et avoir les informations déjà existantes à son application.

b) Les services à enjeux sont à définir à partir de leur importance sur la zone concernée, sur la ou les communes touchées ou même plus largement sur la communauté de communes ou le département pour certains services. Les différents documents réglementaires tels que les documents de gestion des risques (PPRI par exemple) peuvent être étudiés pour identifier

les services à enjeux cités en leur sein.

Les services dépendant fortement de la biodiversité (groupe 5 du tableau 3 partie 2.9) semblent particulièrement importants à prendre en compte au vu de la jurisprudence. De même le service de régulation du climat doit être évalué sur tous les territoires français, car il concourt aux objectifs nationaux de lutte contre le changement climatique.

Selon la méthode, il est possible d'impliquer différents publics cibles, mais une augmentation du nombre de personnes engendre généralement aussi une augmentation du degré de complexité de l'approche et du temps nécessaire. Le minimum est de prendre en compte les acteurs impliqués dans l'EIE, ensuite les décideurs publics peuvent être sollicités, les acteurs impactés par le PPP et enfin les citoyens du territoire peuvent être impliqués dans la priorisation des services.

COMMENT FAIRE ?

Pour définir la liste des services écosystémiques pris en compte et leur priorité, il faut passer par 5 points pour cette sous-étape 3 :

3.1. Choisir une liste existante de services ;






















3.2. Pour chaque service, définir s'il est impacté par le projet, plan ou programme, par exemple, en fonction des écosystèmes impactés listés précédemment ;

3.3. Pour chaque service, à partir de la littérature ou d'une méthode sollicitant des personnes cibles, définir s'il est un enjeu pour le territoire et s'il est important pour les per-

Tableau 10 : exemples de services écosystémiques et d'éléments de patrimoine naturel de l'EFESE (Source: tableau 1.1 page 28 EFESE Rapport intermédiaire de Décembre 2016).

Services de régulation	Régulation du climat global, régulation du climat local, Régulation qualitative et quantitative des eaux, pollinisation des cultures, régulation des bio-agresseurs des cultures.
Biens produits par les écosystèmes	Végétaux (bois, algues, fibres, etc.), Animaux (Viande, peaux, etc.).
Services culturels	Activités récréatives et de loisir, aménités paysagères
Patrimoine naturel	Patrimoine spirituel et identitaire, espèces emblématiques, sites et paysages naturels remarquables.

Tableau 11 : liste des services écosystémiques pris en compte dans l'évaluation des services rendus par la région Hauts-de-France (adaptée du CICES) d'après Campagne et Roche 2019.

Services écosystémiques					
Services d'approvisionnement	Nutrition	Biomasse non sauvage	Production végétale alimentaire cultivée	SA1 	
			Production animale alimentaire élevée	SA2 	
		Biomasse sauvage	Ressource végétale et fongique alimentaire sauvage	SA3 	
			Ressource animale alimentaire sauvage	SA4 	
		Eau	Eau douce	SA5 	
	Matériaux	Matériaux bruts		Matériaux et fibres	SA6 
				Ressource secondaire pour l'agriculture/ alimentation indirecte	SA7 
				Composées et matériel génétique des êtres vivants	SA8 
		Énergie		Biomasse à vocation énergétique	SA9 
		Services de régulation	Maintien des conditions biologiques, physiques et chimiques	Régulation du climat et de la composition atmosphérique	
Régulation des animaux vecteurs de maladies pour l'homme				SR2 	
Régulation des ravageurs				SR3 	
Maintenance du cycle de vie et de l'habitat	Offre d'habitat, de refuge et de nurserie			SR4 	
	Pollinisation et dispersion des graines			SR5 	
Médiation des flux-régulation des risques naturels	Maintien de la qualité des eaux		SR6 		
	Maintien de la qualité du sol		SR7 		
	Contrôle de l'érosion		SR8 		
	Protection contre les tempêtes		SR9 		
	Régulation des inondations et des crues		SR10 		
Réduction des nuisances	Limitation des nuisances visuelles, olfactives et sonore		SR11 		
Services culturels	REPRESENTATIONS- subjectif : interactions spirituelles, symboliques, religieuses & historiques		Emblème ou symbole	SC1 	
			Héritage (passé et futur) et existence	SC2 	
			Esthétique	SC3	
	USAGES- objectif : interactions physiques et intellectuelles avec les écosystèmes et paysages		Activités récréatives	SC4	
			Connaissance et éducation	SC5	

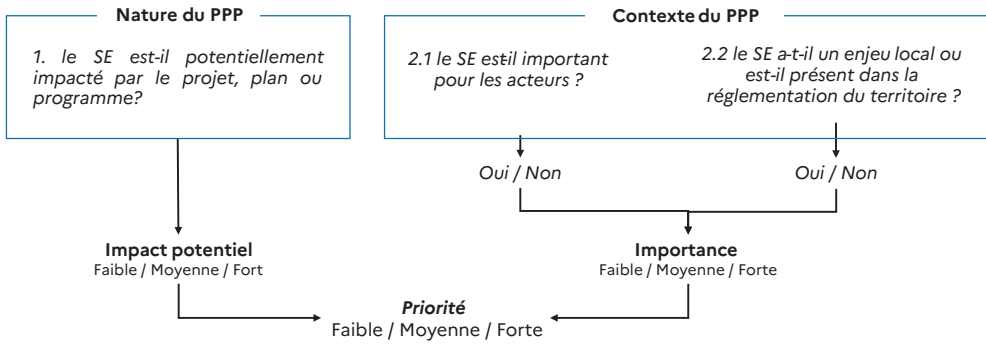


Figure 17 : méthode de priorisation et arbre de décision pour la priorité d'un service.

sonnes cibles ;

3.4. Enfin, à partir des réponses, définir le degré de priorité finale de chaque service suivant la Figure 17. Si les résultats du point 1 et des sous-étapes 2.1 et 2.2 donnent une priorité forte et une priorité faible ainsi la priorité du service sera moyenne. Si les priorités sont proches (faible et moyenne ou moyenne et faible) il faut décider au cas par cas en discussion en fonction des autres données de l'évaluation sur l'incidence environnementale.

3.5. En fonction du nombre de services en priorité forte, moyenne et faible, il faut au minimum prendre les services de priorité forte et si possible plus.

Résultat 3 : liste des services écosystémiques pris en compte et leur priorité

EXEMPLE ILLUSTRATIF

Nous partons de la liste des services de la matrice de capacité de la région Hauts-de-France présentés en tableau 11 (sous-étape 3.1). Le projet de route touche une prairie et une forêt. Ainsi pour chaque service nous prenons l'impact potentiel maximal entre les écosystèmes (tableau 13) et déduisons son impact comme présenté dans le

tableau 14 (sous-étapes 3.2, 3.3 et 3.4). Pour chaque service, nous avons défini son enjeu pour le territoire et s'il est important avec des valeurs illustratives. Enfin, à partir des réponses, nous avons déduit le degré de priorité final de chaque service suivant la Figure 16 et présent dans le tableau 14.

Les services écosystémiques de priorité forte sont alors : *régulation du climat, pollinisation et dispersion des graines, maintien de la qualité des eaux, maintien de la qualité du sol, production animale alimentaire élevée, ressource végétale et fongique alimentaire sauvage, ressource animale alimentaire sauvage, ressource secondaire pour l'agriculture, emblème ou symbole, héritage (passé et futur) et existence, esthétique, activités récréatives, connaissance et éducation.*

Ces services seront pris en compte pour l'évaluation de l'impact du projet sur les services écosystémiques. Si les ressources sont disponibles, il n'est bien entendu pas exclus de prendre en compte d'autres services écosystémiques, mais **il convient de faire une priorité des services à enjeu fort.**

Tableau 12 : matrice des impacts potentiels des écosystèmes sur les services écosystémiques.

	Services de régulation										Services d'approvisionnement										Services culturels				
	Régulation du climat	Régulation des animaux vecteurs de maladies pour L'homme	Régulation des ravageurs	Offre d'habitat, de refuge et de nurserie	Pollinisation et dispersion des graines	Maintien de la qualité des eaux	Maintien de la qualité du sol	Contrôle de l'érosion	Protection contre les tempêtes	Régulation des inondations et des crues	Limitation des nuisances visuelles, olfactives et sonores	Production végétale alimentaire cultivée	Production animale alimentaire élevée	Ressource végétale et fongique alimentaire sauvage	Ressource animale alimentaire sauvage	Eau douce	Matériaux et fibres	Ressource secondaire pour l'agriculture	Composés et matériel génétique des êtres vivants	Biomasse à vocation énergétique	Emblème ou symbole	Héritage (passé et futur) et existence	Esthétique	Activités récréatives	Connaissance et éducation
Eau douce	2	2	2	3	2	2	1	1	2	2	1	2	2	3	3	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3
Végétation immergées	2	2	2	3	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2
Zones humides	3	1	2	3	2	3	3	1	3	2	3	2	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3
Cultures	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	3	2	1	2	2	2	3	2	2	3	2	2	2	2	2
Prairies	2	2	2	2	2	2	3	1	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2
Habitats marges agricoles	2	2	2	3	2	3	3	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
Landes et fourrés	2	2	2	3	3	2	3	2	2	2	1	1	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Haies et alignements	3	2	3	3	3	3	3	3	2	3	2	1	3	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3
Forêts	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	1	1	3	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3
Espaces verts urbains	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3
Espaces bâtis	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Routes et dépendances	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	2
Espaces industriels	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
Mer et espaces en eau	3	2	1	3	2	2	1	1	2	2	1	2	2	3	2	2	2	3	1	1	3	3	3	3	3
Plages et	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	3	3	3	3	2
Zones dunaires vives	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	3	3	3	3	3
Zones dunaires grises et autres	2	2	2	3	2	2	2	3	2	2	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3

Tableau 13 : impact potentiel sur les SE pour l'exemple illustratif.

	Régulation du climat	Régulation des animaux vecteurs de maladies pour l'homme	Régulation des ravageurs	Offre d'habitat, de refuge et de nurserie	Pollinisation et dispersion des graines	Maintien de la qualité des eaux	Maintien de la qualité du sol	Contrôle de l'érosion	Protection contre les tempêtes	Régulation des inondations et des crues	Limitation des nuisances visuelles, olfactives et sonores	Production végétale alimentaire cultivée	Production animale alimentaire élevée	Ressource végétale et fongique alimentaire sauvage	Ressource animale alimentaire sauvage	Eau douce	Matériaux et fibres	Ressource secondaire pour l'agriculture	Composées et matériel génétique des êtres vivants	Biomasse à vocation énergétique	Emblème ou symbole	Héritage (passé et futur) et existence	Esthétique	Activités récréatives	Connaissance et éducation
Prairies	2	2	2	2	3	2	2	3	1	2	2	1	3	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2
Landes et fourrés	2	2	2	3	3	2	3	3	2	2	2	1	1	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Forêts	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3
Impact potentiel	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Tableau 14 : exemple de tableau pour le Résultat 3 avec l'exemple illustratif.

Services écosystémiques	1. Nature du PPP	2. Contexte du PPP			Résultat
	1. Impact potentiel	2.1 Importance du SE pour les acteurs	2.2 Enjeu local ou réglementaire spécifique	2. Importance locale du SE	Priorité
Régulation du climat	Fort	Oui	Oui	Fort	Forte
Régulation des animaux vecteurs de maladies pour l'homme	Moyen	Non	Non	Faible	Faible
Régulation des ravageurs	Moyen	Non	Oui	Moyenne	Moyenne
Offre d'habitat, de refuge et de nurserie	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Pollinisation et dispersion des graines	Fort	Oui	Oui	Fort	Forte
Maintien de la qualité des eaux	Fort	Non	Oui	Moyenne	Forte
Maintien de la qualité du sol	Fort	Oui	Oui	Fort	Forte
Contrôle de l'érosion	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Protection contre les tempêtes	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Régulation des inondations et des crues	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Limitation des nuisances visuelles, olfactives et sonores	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Production végétale alimentaire cultivée	Faible	Oui	Oui	Fort	Moyenne
Production animale alimentaire élevée	Fort	Non	Oui	Moyenne	Forte
Ressource végétale et fongique alimentaire sauvage	Fort	Oui	Oui	Fort	Forte
Ressource animale alimentaire sauvage	Fort	Oui	Oui	Fort	Forte
Eau douce	Moyen	Oui	Non	Moyen	Moyenne
Matériaux et fibres	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Ressource secondaire pour l'agriculture	Fort	Non	Oui	Moyenne	Forte
Composées et matériel génétique des êtres vivants	Fort	non	Non	Faible	Moyenne
Biomasse à vocation énergétique	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Emblème ou symbole	Fort	Oui	Oui	Fort	Forte
Héritage (passé et futur) et existence	Fort	Non	Oui	Fort	Forte
Esthétique	Fort	Oui	Oui	Fort	Forte
Activités récréatives	Fort	Oui	Oui	Fort	Forte
Connaissance et éducation	Fort	Non	Non	Fort	Forte

ALLER PLUS LOIN dans la prise en compte d'éléments dans la priorisation

En plus de ces 3 éléments utilisés ici, d'autres peuvent être considérés dans la priorisation :

- Le SE est-il directement ou indirectement mentionné dans les autres parties de l'EIE ? En effet, les autres parties de l'EIE (ou des EIE similaires) peuvent mettre en avant des services écosystémiques importants à prendre en compte.
- Le projet dépend-il de ce SE ? En fonction de la nature du projet et de la nature de l'activité future sur la zone, des services écosystémiques peuvent être nécessaires
- Dans les services potentiellement prioritaires, lesquels sont irremplaçables ? Existe-t-il une alternative à ces services si leurs capacités sont diminuées ?

ÉTAPE 4 : évaluation des services écosystémiques

Nous avons détaillé dans la Partie 2 "Notions de base sur les services écosystémiques". Ainsi dans la cascade des éléments (Figure 3 de la partie 2.3), il faut faire attention à évaluer les services écosystémiques et non pas des fonctions écologiques.

Il convient d'être cohérent et de ne pas mélanger indicateurs de capacité et indicateurs de demande.

De même, il convient de considérer un seul domaine de valeur (biophysique, économique ou social), sauf en cas d'évaluation intégrée.

Chaque composante et chaque domaine de valeurs ont une cohérence interne, mais ne peuvent pas être mélangés sans une extrême précaution.

Dans le cadre des EIE, **nous recommandons d'évaluer en priorité la capacité en services** qui repose fortement sur les caractéristiques structurelles et fonctionnelles des écosystèmes et de leur biodiversité.

L'usage et la demande sont plus déterminés par les actions de l'Homme.

Nous continuons la méthode avec l'évaluation de la capacité en services écosystémiques, mais les étapes sont les mêmes quelle que soit la composante en services écosystémiques choisie.

COMMENT FAIRE ?

Pour évaluer les services écosystémiques pris en compte et leurs priorités, il convient de considérer plusieurs sous-étapes :

4.1. Choisir la méthode d'évaluation des services écosystémiques

Comme le présente succinctement la partie 2.7, il existe de nombreuses méthodes pour évaluer les services écosystémiques - regroupées en méthodes biophysiques, économiques et sociales - qui utilisent des mesures directes, indirectes et/ou des modèles.

Des outils avec des méthodologies existent, certains sont présentés en partie 2.7. Le choix d'une méthode peut être orienté par de nombreux critères tels qu'un besoin de résultats spatialement et/ou temporellement explicites, une application facile, compréhensible par les non-spécia-

listes en SE, etc.

De nombreux critères de choix de méthode et un arbre de décision pour choisir la méthode sont présentés dans l'article de *Harrison et al.*, publié en 2017 dans le journal *Ecosystem Services*. Il faut aussi choisir la méthode en fonction des ressources, des données disponibles et des compétences techniques disponibles. Il est important de choisir la méthode, l'indicateur ou le modèle en fonction de la composante du service évalué.

De plus, la méthode doit être choisie pour atteindre l'objectif final d'évaluer le gain ou la perte en services écosystémiques en fonction du PPP.

Il est possible d'utiliser des méthodes différentes pour chaque service ou une méthode pour tous les services. Si des méthodes, des indicateurs ou des modèles différents sont utilisés entre les différents services, il faudra normaliser les valeurs en dernière étape pour avoir une visualisation homogène entre les valeurs de services.

Pour l'évaluation des services écosystémiques et l'intégration des résultats dans l'EIE, la méthode d'évaluation doit :

- être spatialement explicite ou liée aux types d'écosystèmes ;
- être adaptée à la composante du service écosystémique souhaité – ici la capacité ;
- utiliser des données, ressources et/ou compétences techniques disponibles ;
- être transparente et compréhensible des non spécialistes.

Ce dernier point est essentiel dans le cadre d'une EIE, car chacun doit pou-

voir comprendre un dossier soumis à enquête publique.

4.2. Appliquer pour arriver à des valeurs par service.

En fonction de la ou des méthodes choisies, il faut alors suivre la méthodologie liée, ainsi que les recommandations et reporter les limites de la méthode dans le dossier d'EIE.

S'il est choisi d'utiliser la matrice de capacité de la région Hauts-de-France, voici les étapes à suivre :

4.2.1. Prendre connaissance du rapport d'étude expliquant la méthode des matrices de capacité et les résultats pour la région Hauts-de-France. Il est important de comprendre la matrice et la signification des scores de services.

4.2.2. Prendre en compte la condition des écosystèmes. À partir de la matrice de capacité de la région Hauts-de-France, nous avons défini 3 matrices avec des capacités basses, moyennes et hautes.

Plusieurs cas sont possibles :

Cas 1. Il n'est pas possible de définir la condition des écosystèmes pour le PPP qui comprend uniquement des variations de surfaces et des changements d'habitats. Dans ce cas, seule une matrice de capacité pour les états initial et final est faite à partir de l'extraction des scores de la matrice des Hauts-de-France pour les services écosystémiques de l'étude pour les écosystèmes sur les zones d'évaluation.

Cas 2. La condition des écosystèmes est évaluée et il n'y a pas de variation de la condition entre l'état initial et l'état final. Une matrice de capacité

avec la condition évaluée pour les états initial et final est faite à partir de l'extraction des scores des matrices de capacité faible, moyenne ou forte des Hauts-de-France en fonction des conditions des écosystèmes du projet (sans variation de la condition entre les états initial et final).

Cas 3. Le projet comprend des variations de la condition écologique entre l'état initial et l'état final, il convient de construire une matrice de capacité avec la condition de l'état initial et une matrice de capacité avec la condition de l'état final. Pour cela, il faut extraire les scores des matrices des Hauts-de-France basse, moyenne ou haute en fonction des conditions des écosystèmes du projet avec une variation de la condition entre l'état initial et final et donc dans 2 matrices (ou plu si des étapes intermédiaires sont considérées).

Pour chaque scénario/variante, il est nécessaire de déterminer les conditions écosystémiques (faible, moyenne ou forte) à l'état initial et final du PPP (ainsi qu'aux états intermédiaires s'il y en a) pour chaque écosystème impacté (Résultat 2) à partir des connaissances du terrain (observations, etc.) ou d'informations issues des autres parties de l'EIE. La condition des écosystèmes doit être justifiée par des éléments physiques identifiés sur la zone de PPP ou d'informations référencées.

La mise en œuvre de la modulation de scores repose sur une démarche en 3 phases détaillée au chapitre 2.

Phase 1 : déterminer les niveaux de condition structurelle et de condition biologique pour chacun des

écosystèmes

Phase 2 : déterminer la condition écosystémique pour chaque écosystème et chaque groupe de services écosystémiques

Phase 3 : reconstruire les matrices de capacité modulées par la condition écosystémique pour chaque état du PPP soit au minimum une matrice avec la condition à l'état initial et une matrice avec la condition à l'état final.

La condition écosystémique est évaluée sur la base de quelques critères peu complexes. Cependant, il n'est pas possible de déterminer un seul niveau de condition écosystémique pour l'ensemble des services.

Dans les méthodes basées sur des modèles de services écosystémiques, ce seront les données d'entrée des modèles qui vont moduler les valeurs des services en fonction des conditions écosystémiques prises en compte.

Pour l'approche par matrice de capacité telle qu'utilisée lors de l'évaluation des SE en région Hauts-de-France, la modulation locale va se faire par la prise en compte de la condition écosystémique locale qui va déterminer quelle valeur (basse, moyenne ou haute) des services écosystémiques considérés est utilisée (tableau 15).

Pour cela, il faut s'appuyer sur 3 matrices de capacité : une matrice des valeurs basses, une matrice des valeurs moyennes et une matrice des valeurs hautes (en Annexe). Cela permet pour chaque écosystème et chaque service écosystémique de déterminer la matrice de capacité à utiliser pour évaluer les services en fonction des conditions

Tableau 15 : illustration de la démarche pour déterminer la condition écosystémique pour 5 écosystèmes et les 5 groupes de SE. L'allocation de la condition pour chaque groupe de SE est réalisée à partir des tables 4 à 8.

	CONDITION		MATRICE DE RÉFÉRENCE PAR GROUPE				
	Condition Structurelle	Condition biologique	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5
Forêt feuillue	Bonne	Moyenne	Haute	Haute	Haute	Moyenne	Moyenne
Prairie mésophile	Moyenne	Bonne	Haute	Haute	Moyenne	Haute	Haute
Fourrés	Moyenne	Faible	Moyenne	Basse	Basse	Basse	Basse
Bord de route	Faible	Moyenne	Basse	Basse	Basse	Moyenne	Basse
Pelouse restaurée	Faible	Faible	Basse	Basse	Basse	Basse	Basse
Plantation feuillus	Faible	Faible	Basse	Basse	Basse	Basse	Basse

locales, et abouti à la production d'une matrice de capacité adaptée aux conditions locales du projet (tableau 15).

Pour une adaptation locale des scores, nous avons des scores dérivés selon 3 conditions des écosystèmes : condition basse, moyenne ou haute. Ces scores ont été définis dans la gamme de variations des scores de la matrice des écosystèmes.

Il faut prendre pour référence la valeur annuelle correspondant au pic de végétation pour ne pas dépendre de fluctuations saisonnières.

4.2.3. Pour finir il faut pour chaque service prioritaire, sélectionner les scores dans la matrice de capacité de la Région Hauts-de-France correspondant à la condition locale définie pour les écosystèmes impactés.

Résultat 4 : valeurs quantitatives ou qualitatives des services écosystémiques – préférentiellement liées à l'offre

EXEMPLE ILLUSTRATIF

Nous présentons l'évaluation des services écosystémiques de l'exemple illustratif avec la matrice de capacité

pour l'ensemble des services prioritaires ainsi qu'avec le modèle InVEST pour le service écosystémique de séquestration du carbone.

Évaluation des services écosystémiques avec la matrice de capacité de la région Hauts-de-France

Nous utilisons les résultats de l'évaluation de la capacité des écosystèmes de la région Hauts-de-France à produire des services écosystémiques pour définir les scores des services à priorité forte du résultat 3.

Nous utilisons comme résultats principaux les scores en capacité de la matrice des Hauts-de-France. Il convient également de considérer la variabilité des scores et la confiance (si évaluée) pour une interprétation affinée des résultats.

Les scores de la matrice représentent la capacité de l'écosystème à produire le service écosystémique avec des scores de 0 (pour une capacité nulle ou faible de l'écosystème à fournir le service) à 5 (pour une capacité forte). S'il n'est pas possible de définir la condition des écosystèmes, nous extrayons les scores de la matrice des Hauts-de-France pour les services écosystémiques sélectionnés (tableau 14)

pour les écosystèmes sur les zones d'évaluation (tableau 11) et nous définissons une matrice des scores de capacité pour l'exemple illustratif de la construction de route sans condition définie (soit le cas 1 ; tableau 16).

Cependant, nous avons défini (à titre illustratif) une condition pour les écosystèmes sans variation entre l'état initial et l'état final (Cas 2). [Le cas 3 - avec une variation de la condition entre l'état initial et l'état final est présentée dans le fichier tableur téléchargeable, mais n'est pas repris dans ce guide].

Nous suivons les 2 phases pour définir une matrice de capacité modulée par la condition écosystémique des écosystèmes impactés dans cet exemple illustratif. Nous avons défini la condition structurelle et la condition biologique de ces écosystèmes impactés comme demandé dans la phase 1 présentée en partie 2.9 avec les résultats en tableau 17 pour les écosystèmes impactés par la construction de la route. Il s'agit de forêt de feuillus, prairie mésophile, fourrés, terre nue de chantier, route, bords de route, pelouse restaurée et plantation de forêt de feuillus.


Ensuite, nous en déduisons la condition écosystémique à utiliser pour chaque écosystème et chaque groupe de services écosystémiques – soit la phase 2 – avec les différents tableaux de la partie 2.9 et avec les services à forte priorité de l'exemple illustratif qui sont (tableau 14) : Régulation du climat, Pollinisation et dispersion des graines, Maintien de la qualité des eaux, Maintien de la qualité du sol, Ressource végétale et fongique alimentaire sauvage, Ressource animale alimentaire sauvage, Ressource secondaire pour l'agriculture, Emblème ou symbole, Héritage (passé et futur) et existence, Esthétique, Activités récréatives, Connaissance et éducation.

À partir des matrices de capacité correspondant aux conditions écosystémiques basse, moyenne ou haute de la Région Hauts-de-France (en annexe et dans le fichier Excel disponible en téléchargement), de la condition des écosystèmes et de la liste des services prioritaires, il est possible de constituer un tableau de capacité réduit pour le PPP. Les valeurs de services écosystémiques rendus dans l'exemple illustratif sont présentées dans le ta-

Tableau 16 : matrice des scores de capacité pour l'exemple illustratif de la construction de route sans condition définie

Services écosystémiques	Forêt feuillue	Prairie mésophile	Fourrés	Terre nue chantier	Route	Bord de route	Pelouse restaurée	Plantation feuillus
Régulation du climat	4.6	2.3	2.8	0.0	0.0	0.9	2.1	4.1
Pollinisation et dispersion des graines	3.3	3.3	3.2	0.0	0.7	2.3	3.1	3.0
Maintien de la qualité des eaux	3.6	2.9	2.7	0.0	0.0	0.8	3.2	3.2
Maintien de la qualité du sol	4.2	3.2	3.2	0.0	0.0	0.6	3.1	3.4
Production animale alimentaire élevée	0.6	3.8	1.0	0.0	0.2	0.2	1.1	0.7
Ressource végétale et fongique alimentaire sauvage	3.8	2.2	2.6	0.0	0.0	1.2	1.3	2.7
Ressource animale alimentaire sauvage	3.8	2.4	3.0	0.0	0.3	1.1	2.3	3.3
Ressource secondaire pour l'agriculture	1.7	3.5	1.5	0.0	0.0	0.6	2.6	1.3
Emblème ou symbole	3.9	2.0	1.6	0.0	0.4	0.9	1.2	2.0
Héritage (passé et futur) et existence	4.1	2.4	1.8	0.0	0.6	1.1	1.7	2.2
Esthétique	4.2	2.7	2.1	0.0	0.3	0.4	1.4	2.2
Activités récréatives	4.3	1.9	1.7	0.0	0.6	0.7	1.4	2.9
Connaissance et éducation	4.2	2.5	2.2	0.0	0.7	1.2	2.4	2.7

Tableau 17 : condition structurelle et condition biologique des écosystèmes impactés dans l'exemple illustratif et définition de la table de scores liée aux groupes de services pour l'état initial et l'état final.

	CONDITION			MATRICE DE RÉFÉRENCE PAR GROUPE				
	Condition Structurelle	Condition biologique		Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5
Forêt feuillue	Bonne	Moyenne		Haute	Haute	Haute	Moyenne	Moyenne
Prairie mésophile	Moyenne	Bonne		Haute	Haute	Moyenne	Haute	Haute
Fourrés	Moyenne	Faible		Moyenne	Basse	Basse	Basse	Basse
Terre nue chantier	NA	NA		Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Route	NA	NA		Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Bord de route	Faible	Moyenne		Basse	Basse	Basse	Moyenne	Basse
Pelouse restaurée	Faible	Faible		Basse	Basse	Basse	Basse	Basse
Plantation feuillus	Faible	Faible		Basse	Basse	Basse	Basse	Basse

bleau 18, ce qui correspond à l'étape 3 présentée en partie 2.9.

Évaluation des services écosystémiques avec le modèle InVEST

Le principe est d'obtenir une évaluation de la capacité en services à minima à l'état initial et à l'état final du projet. Pour rappel, ces évaluations sont à conduire à chaque itération (i.e. à chaque modification du PPP, chaque variante ou scénario envisagé) et doivent servir à définir la variante de moindre impact.

Si le logiciel InVEST est utilisé, par exemple, il convient de créer des couches géomatiques au format raster de la zone d'emprise directe du projet

(zone d'évaluation 1) et de la zone du projet (zone d'évaluation 2). Ces couches géomatiques doivent correspondre aux modes d'occupation du sol/écosystèmes qui servent de données d'entrée aux modules InVEST. Cependant, le nombre de services écosystémiques pris en compte par InVEST reste limité. Nous illustrons l'évaluation par le modèle InVEST avec le service écosystémique de « régulation du climat global ».

Pour le module « Carbon Model » qui correspond au service écosystémique « régulation du climat global », il convient de disposer d'une couche raster d'occupation du sol à l'état initial - ici « DUP_Avant.tif » - et à l'état

Tableau 18 : matrice de capacité avec les scores des SE prioritaires des différents écosystèmes de l'exemple illustratif en fonction de la condition écosystémique. Échelle de 0 à 5.

Services écosystémiques	Forêt feuillue	Prairie mésophile	Fourrés	Terre nue chantier	Route	Bord de route	Pelouse restaurée	Plantation feuillus
Régulation du climat	5.0	3.4	2.8	0.0	0.0	0.0	1.0	2.9
Pollinisation et dispersion des graines	4.8	4.4	2.0	0.0	0.0	1.1	1.5	1.6
Maintien de la qualité des eaux	3.6	2.9	1.3	0.0	0.0	0.0	1.9	2.0
Maintien de la qualité du sol	4.2	3.2	2.0	0.0	0.0	0.0	0.6	2.1
Production animale alimentaire élevée	1.6	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0
Ressource végétale et fongique alimentaire sauvage	5.0	3.4	1.2	0.0	0.0	0.0	1.7	1.1
Ressource animale alimentaire sauvage	5.0	3.7	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9
Ressource secondaire pour l'agriculture	3.0	3.1	0.3	0.0	0.0	0.0	1.1	0.1
Emblème ou symbole	3.9	2.0	0.2	0.0	0.4	0.0	0.1	0.5
Héritage (passé et futur) et existence	4.1	2.4	0.3	0.0	0.6	0.0	0.2	0.6
Esthétique	4.2	2.7	0.6	0.0	0.3	0.0	0.4	0.9
Activités récréatives	4.3	1.9	0.6	0.0	0.6	0.0	0.2	1.5
Connaissance et éducation	4.2	2.5	0.8	0.0	0.7	0.0	0.5	1.6

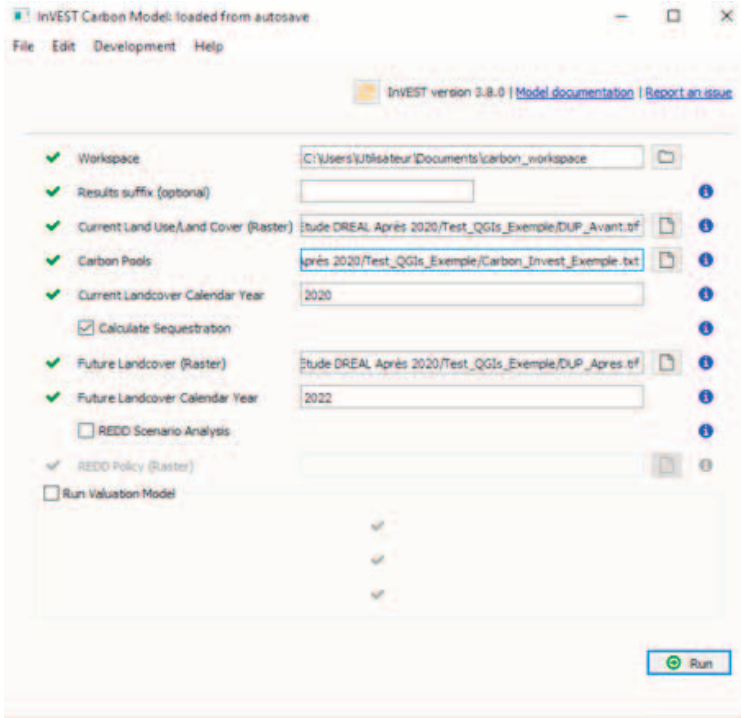


Figure 19 : capture d'écran du module de calcul du stock et de la séquestration du carbone d'InVEST utilisé dans l'exemple illustratif pour évaluer le services de régulation du climat global.

final - ici « DUP_Après.tif » (Figure 19).

Il faut également construire un tableau au format « .txt » qui contient pour chaque catégorie d'occupation du sol, une estimation des stocks de carbone dans les différents compartiments (aérien, racinaire, sol et matière morte).

Ces valeurs peuvent être estimées en utilisant la littérature et ou des mesures in situ.

Enfin, nous avons fait l'hypothèse que

le chantier durerait 2 ans (début en 2020 et fin en 2022). Le module calcule le stock de carbone initial et final du projet, ainsi que la variation qui correspond à la séquestration (Figure 20). Un stock de 13433,5 tonnes de carbone est obtenu à l'état initial du projet et un stock de 11692,6 tonnes de carbone à l'état final du projet. La différence correspond à la perte de carbone, soit 1740,9 tonnes.

Aggregate Results

Description	Value	Units	Raw File
Total cur	13433.55	Mg of C	C:\Users\Utilisateur\Documents\carbon_workspace\tot_c_cur.tif
Total fut	11692.64	Mg of C	C:\Users\Utilisateur\Documents\carbon_workspace\tot_c_fut.tif
Change in C for fut	-1740.91	Mg of C	C:\Users\Utilisateur\Documents\carbon_workspace\delta_cur_fut.tif

Figure 20 : sortie du module InEst « Carbon model » pour l'exemple illustratif (niveau zone d'évaluation 2 - DUP)

ÉTAPE 5 : bilan des gains et pertes en services écosystémiques

COMMENT FAIRE ?

Le bilan des gains et pertes en services écosystémiques - étape 5 - peut être regroupé en 4 points : faire le bilan des gains et pertes par services, standardiser les valeurs, définir l'importance de la variation en services écosystémiques et représenter les résultats.

5.1. Faire le bilan des gains et des pertes par services

La manière de réaliser le bilan des gains et pertes en services dépend en partie de la forme prise par les évaluations réalisées aux étapes précédentes.

Cas 1: la méthode d'évaluation fournit des cartes de valeurs des services, il convient de déterminer le changement des valeurs de service sur la zone à l'état initial et à l'état final (éventuellement intermédiaire si le projet le nécessite) et pour chaque variant ou scénario, en réalisant une analyse spatiale avec un logiciel de SIG pour chacun des services. Il est également possible de déterminer la somme totale de la capacité en SE par extraction spatiale afin de construire des tables de capacité totale pour chaque service aux différents états du projet.

Cas 2: les valeurs des services sont évaluées par types d'écosystèmes et en fonction de leurs surfaces, il convient de soustraire les valeurs à l'état initial des valeurs à l'état final. La variation en services écosystémiques peut également être évaluée

en utilisant un indice.

Bilan des gains et pertes avec la matrice de capacité de la région Hauts-de-France

Avec la méthode des matrices, tous les services sont évalués avec la même approche et la même échelle d'unité, ainsi il n'y a pas de standardisation nécessaire.

Nous proposons 3 étapes pour avoir une visualisation du bilan des gains et pertes en services écosystémiques si l'on utilise la matrice de capacité de la Région Hauts-de-France :

5.1.1. Calculer les scores pondérés pour chaque état du PPP

Il faut tout d'abord multiplier les scores de capacité des différents SE (Résultat 4) avec l'aire respective de chaque écosystème (Résultat 2) à l'état initial et à l'état final du PPP, en suivant la formule suivante :

$$(1) \quad X'_i = X_i * S_i$$

X'_i = score de SE pondéré de l'écosystème i

X_i = Score de SE de l'écosystème i

S_i = Surface de l'écosystème i

5.1.2. Calculer les sommes des scores pondérés de tous les écosystèmes pour un SE donné

Ensuite, il faut additionner les scores pondérés (1) pour tous les écosystèmes présents pour chaque service écosystémique afin d'avoir un score pondéré pour chaque service écosystémique avec la formule (2).

$$(2) \quad Y_{se} = \sum X'_i$$

Y_{se} = Somme des scores pondérés de tous les écosystèmes pour un SE donné

Les formules (1) et (2) sont réalisées à partir des surfaces des écosystèmes pour quantifier la capacité des SE fournis à l'état initial et à l'état final. Cette capacité de la zone à fournir chaque SE peut être qualifiée de très faible, faible, modérée, forte ou très forte. Une qualification simple consiste à diviser la somme des scores pondérés par la surface totale afin d'obtenir le score moyen d'une unité de surface :

$$(3) \quad Z = \frac{\sum X_i * S_i}{\sum S_i}$$

Cela conduit à des scores de SE sur une échelle de 0 à 5. Les 5 classes peuvent être définies de façon égale.

En faisant le ratio entre les sommes des scores pondérés à l'état initial et à l'état final, on obtient une mesure de l'impact du PPP. Plus la différence est grande, plus l'aménagement impacte les services produits. Il est possible alors de classer les SE impactés négativement et les SE impactés positivement suite à l'aménagement (en %) par rapport à l'état initial.

Qualification de la capacité en SE	Z
Très faible	≤ 1
Faible	$1 < Z \leq 2$
Modérée	$2 < Z \leq 3$
Forte	$3 < Z \leq 4$
Très forte	$4 < Z \leq 5$

5.1.3. Calculer l'indice d'impact (SEII)

On peut calculer un indice de variation en SE, tel que le SE Impact Index (SEII) selon la formule (4).

$$(4) \quad SEII = \frac{Y_{se \text{ après}} - Y_{se \text{ avant}}}{Y_{se \text{ avant}}} \times 100$$

Le SEII représente le pourcentage de variation en SE suite à l'aménagement par rapport à l'état initial.

Il est négatif quand "*Yse après*" (sommes des scores pondérés) est inférieur à "*Yse avant*", ce qui traduit une baisse de capacité en service. Il est positif quand après est supérieur à "*Yse avant*", ce qui traduit une hausse de capacité en service.

5.2. Standardiser les valeurs

Les services écosystémiques reposent sur une grande variété de processus et de grandeurs biophysiques, sociales et économiques. Selon les méthodes d'évaluation utilisées, soit les résultats sont exprimés dans des grandeurs relatives, sans dimension soit ils sont exprimés avec une dimension biophysique définie (ex : kg/ha, mg/m³...).

Pour comparer ou bien simplement représenter plusieurs services écosystémiques ensemble, il est nécessaire, lorsque l'on a des mesures de dimensions différentes, de les standardiser au préalable. Par exemple en les ramenant à une variation entre 0 et 1, ou bien comme dans la matrice de capacité entre 0 et 5. **La valeur maximale peut être déterminée par la plus grande valeur observée à l'échelle régionale.**

5.3. Définir l'importance de la variation en services écosystémiques

Il est usuel d'indiquer si l'impact d'un projet est nul, faible, modéré, fort ou

très fort sur une échelle qualitative qui permet de comprendre aisément les conséquences de l'aménagement considéré. Dans le domaine des services écosystémiques, il n'existe pas à l'heure actuelle de définition scientifique de ce qui serait considéré comme un impact faible ou fort sur la capacité en services écosystémiques. Nous proposons d'appuyer l'identification des seuils de variation sur la distribution statistique des estimations de la valeur des services écosystémiques. Il est possible de tester la différence statistique entre les niveaux de SE à l'état initial et à l'état final d'un projet en s'appuyant sur la variabilité statistique des indicateurs de services. Certaines méthodes comme notamment, la matrice de capacité à dire d'expert permettent de fournir une valeur centrale (le score de service) et une valeur de variation (l'écart-type). L'écart-type renseigne sur l'étendue de la variabilité du score de service. Plus l'écart-type est grand, plus les valeurs fournies par les experts divergent.

Si les services écosystémiques sont évalués par une autre méthode que la matrice de capacité.

Les seuils peuvent être calculés si la variabilité des estimations est connue. Des tests statistiques doivent être faits pour vérifier que les estimations sont conformes à une loi normale¹⁰. La loi normale peut être utilisée pour évaluer la précision des estimations d'un service écosystémique et également définir des seuils d'écart à cette valeur moyenne de probabilité d'observation de plus en plus faible. Ces seuils vont

10. La distribution des scores moyens peut être approchée par une loi Normale si l'on a un très grand échantillon ou bien une loi de Student si l'échantillon (le nombre d'expert ou de mesures) est limité.

nous permettre de définir des niveaux de variation que l'on va appeler : **non significatif, faible, modéré, fort et très fort**. Nous proposons d'associer à ces niveaux les probabilités d'observation (p) suivantes : Non significatif $p > 5\%$, Faible $5\% \geq p > 1\%$, Modéré $1\% \geq p > 0.1\%$, Fort $0.1\% \geq p > 0.01\%$ et Très Fort $P \leq 0.01\%$.

Prenons l'exemple d'un service de séquestration du carbone qui aurait été évalué au stade initial à 15 t.eqC02/an/ha avec un écart-type de 2 t.eqC02/ha/an.

Si le nombre de mesures ($n=20$) ayant permis l'estimation est connu, l'erreur standard associée à la valeur moyenne peut être déduite :

$$\frac{2}{\sqrt{20-1}} = 0,459$$

$$(5) \text{ Valeurs seuils}_{\alpha,n} = t_{\alpha/2,n} * \text{erreur standard} * \sqrt{\frac{n+1}{n}}$$

$t_{\alpha/2,n}$ est une variable qui suit la loi de Student pour un nombre n d'observations.

Les valeurs seuils pour les niveaux non significatif, faible, modéré, fort et très fort sont alors, respectivement : 0,81, 0,98, 1,35 et 1,83.

Ainsi, si le taux de séquestration du carbone passe de 15 t.eqC02/an/ha (stade initial) à 13,8 t.eqC02/an/ha (stade final), soit une différence de 1,2 t.eqC02/an/ha, il s'agira d'une **variation modérée** (entre 0,98 et 1,35).

Remarque : si l'écart-type ou l'erreur standard de la valeur en service écosystémique n'est pas connu, il n'est pas possible de définir de seuils de référence standards pour évaluer l'intensité de la variation des niveaux de service.

Si les services écosystémiques sont évalués avec la matrice de capacité de la région Hauts-de-France

Dans le cas de la méthode de la matrice de capacité, nous avons à disposition une matrice des scores et une matrice de variation des scores qui est exprimée en écarts-types (Annexe). Des tests statistiques nous ont montré que les scores fournis par les différents experts sont conformes à une loi normale¹¹. La loi normale peut être utilisée pour évaluer la précision de l'estimation du score d'un service écosystémique et également définir des seuils d'écart à cette valeur moyenne de probabilité d'observation de plus en plus faible.

Dans le cas d'une matrice de capacité et de manière générale des mesures issues d'un échantillon, il est préférable d'utiliser la loi de Student qui corrige pour des échantillons de taille réduite et est généralement utilisée pour les tests statistiques.

La formule de l'intervalle de confiance d'un échantillon est alors :

$$(6) \quad \text{moyenne} \pm t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} * \frac{\text{écart} - \text{type}}{\sqrt{n-1}}$$

Avec $t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}$ une variable de Student définie par la probabilité α et le nombre de mesures n .

$\frac{\text{écart} - \text{type}}{\sqrt{n-1}}$ est l'erreur-standard, avec n le nombre de mesures utilisées pour calculer la moyenne.

L'évaluation de l'impact consiste à comparer la valeur de SE au stade final avec la valeur de SE de l'état initial en

11. La distribution des scores moyens peut être approchée par une loi Normale si l'on a un très grand échantillon ou bien une loi de Student si l'échantillon (le nombre d'experts ou de mesures) est limité.

prenant en compte la variation des évaluations de scores de SE. Cela revient à un test de comparaison d'une valeur unique avec la moyenne d'un échantillon¹².

La formule générale est :

$$(7) \quad t_s = \frac{SE_{final} - SE_{initial}}{(\text{écart} - \text{type}_{SE_{initial}}) * \sqrt{\frac{n+1}{n}}}$$

t_s est une variable qui suit une loi de Student avec $n-1$ degrés de liberté.

En renversant la formule et en fixant pour des niveaux prédéfinis de risque (Non significatif $p > 5\%$, Faible $5\% \geq p > 1\%$, Modéré $1\% \geq p > 0.1\%$, Fort $0.1\% \geq p > 0.01\%$ et Très Fort $P \leq 0.01\%$), on peut déterminer les écarts ($SE_{final} - SE_{initial}$) correspondants.

Les écarts-types des scores de la matrice de capacité sont différents pour chaque combinaison SE/Habitat. Mais il est possible de déterminer une approche simple, mais qui conserve une robustesse suffisante.

Une approximation peut être réalisée en utilisant un écart-type unique pour l'ensemble des services écosystémiques.

Les écarts-types médians des différents services écosystémiques varient entre 0,456 et 0,724, avec **une valeur médiane de 0,644**.

Nous proposons d'utiliser cette valeur médiane pour définir les seuils de variations.

L'erreur-standard de la moyenne des

12. Pour plus de détails, consulter : Sokal, R and Rohlf, FJ, 1998. The biometry : principles and practice of statistics in Biological research. Freeman and Co Editors. 887pages, ou un ouvrage équivalent.

SE de la matrice des Hauts-de-France peut être calculée, car 30 matrices individuelles ont été considérées, soit $n=30$.

$$(8) \quad \text{erreur standard} = \frac{0,644}{\sqrt{30-1}} = 0,119$$

À partir des probabilités définies 5 %, 1 %, 0,1 % et 0,01 %, les seuils de variations peuvent facilement être déterminés (tableau 19).

En pratique, le score de service va être leur différence va être comparée aux valeurs seuils (tableau 19).

5.4. Représenter les résultats

Les résultats doivent être regroupés et présentés de façon explicite. Nous indiquons différentes représentations dans l'exemple illustratif.

Il faut éviter de regrouper les services entre eux en favorisant les représentations qui montrent tous les services. Il existe plusieurs façons de représenter les résultats. En voici quelques exemples :

Sous forme de tableau (par exemple le tableau 21) ;

- Avec les valeurs de la capacité en

services écosystémiques sur la zone d'évaluation 1 et la zone d'évaluation 2 (tableau 21) avec les résultats avant, pendant et après l'aménagement ;

- Sous forme de figure représentant le SE Impact Index (SEII) en histogramme ou avec, par exemple la moyenne des scores (pondérés ou non) sous forme de bouquet de services tel qu'en Figure 21 et Figure 22.

En cas de besoin impérieux de simplification pour des éléments de communication, il convient de regrouper les services par catégories logiques telles que les 3 catégories de SE : culturel, approvisionnement et régulation.

Par exemple, il ne faut pas regrouper la production de fibres avec la régulation de la qualité de l'eau. Nous recommandons aussi de calculer la moyenne par groupe de services et non pas la somme, car le nombre de services peut être différent selon les groupes et donc entraîner un effet de taille.

Résultat 5 : gains et pertes en services écosystémiques

ALLER PLUS LOIN

✓ Quand le nombre d'experts est inférieur à 30, pour plus de précisions, une loi de distribution de Student peut être utilisée.

✓ Par ailleurs, la distribution des scores de la matrice de capacité est limitée entre 0 et 5, ce qui induit que la distribution statistique de référence est plus précisément une loi normale tronquée ou une loi de Student tronquée. Le logiciel gratuit R permet de faire ces calculs en utilisant les packages `truncnorm` ou `crch`.

✓ Avec les niveaux de précision de la matrice des Hauts-de-France, la différence n'est perceptible qu'au voisinage immédiat des bornes inférieures et supérieures.

EXEMPLE ILLUSTRATIF

1. Bilan des gains et pertes en services avec l'approche de la matrice de capacité

En croisant le tableau 9 qui contient la liste des écosystèmes et des surfaces impactées avec le tableau 18 qui est la matrice de capacité réduite au projet avec la condition des écosystèmes (Cas 2 ; même condition pour l'état initial et l'état final), les capacités en services écosystémiques pondérées par les surfaces, ainsi que les variations aux différents états du projet sont évaluées via les formules (1) et (2) - étapes 5.1.1 et 5.1.2.

Les sommes des scores pondérés sont majoritairement entre 2 et 4 soit une capacité moyenne à forte (tableau 20). Si l'on considère la zone d'évaluation le SEII (étape 5.1.3) varie entre -10 % pour le maintien de la qualité des eaux et -18 % pour le service d'esthétique.

2. Bilan des gains et des pertes avec le modèle InVEST

Les valeurs pour le service de régulation du climat sont de 13433,55 Mg de C à l'état initial du projet et de 11 692,64 Mg de C à l'état final du projet

pour le périmètre d'étude. Ainsi une baisse de 1740,91 Mg de C, due au projet, est calculable ce qui correspond à un SEII = -13,3 %.

Nous pouvons noter la valeur est similaire au SEII = -13,7 % obtenue avec la méthode de la matrice de capacité (tableau 21).

Pour des raisons de comparaison entre service, il peut être utile de standardiser les valeurs. Cependant, il peut également faire plus pertinent dans certains cas d'exprimer les valeurs par unité de surface. Ainsi, nous aurions une capacité de stockage du carbone moyenne de 155,7 t/ha à l'état initial et de 135,5 t/ha à l'état final, ce qui peut être plus facile à interpréter.

3. Importance de la variation en services écosystémiques

En utilisant les seuils standards sur la base de la méthode de test simplifiée en tableau 19, nous pouvons déterminer l'importance de la variation des SE (donc l'impact du PPP), ici pour la construction de la route dans l'exemple illustratif (tableau 21).

Pour la zone d'évaluation 2, l'impact varie entre un impact très fort pour les services Pollinisation et dispersion

Tableau 19 : définition des seuils d'impact basée sur l'importance de la différence des scores finaux et initiaux. Ces seuils ne sont valides que pour la matrice de capacité des Hauts-de-France, dont les scores varient de 0 à 5 (Campagne et Roche, 2019).

Niveau d'impact	Signification statistique	Risque d'erreur	Valeur Seuil de différence
NS	Non significatif	$\alpha > 5\%$	$\text{Diff} \leq 0.25$
Faible	Marginalement significatif	$1\% < \alpha \leq 5\%$	$0.25 < \text{Diff} \leq 0.35$
Modéré	Significatif	$0,1\% < \alpha \leq 1\%$	$0.35 < \text{Diff} \leq 0.47$
Fort	Hautement significatif	$0,01\% < \alpha \leq 0,1\%$	$0.47 < \text{Diff} \leq 0.60$
Très fort	Très hautement significatif	$\alpha \leq 0,01\%$	$\text{Diff} > 0.60$

Tableau 20 : sommes des scores pondérés sur la zone d'évaluation 2 (la DUP) et qualification en termes de capacité en SE

Services Ecosystémiques	Somme des scores pondérés		Qualification de la capacité en SE	
	Initial	Final	Initial	Final
Régulation du climat	4,0	3,5	Forte	Forte
Pollinisation et dispersion des graines	4,4	3,8	Très forte	Forte
Maintien de la qualité des eaux	3,1	2,8	Forte	Moyenne
Maintien de la qualité du sol	3,5	3,0	Forte	Moyenne
Production animale alimentaire élevée	2,7	2,3	Moyenne	Moyenne
Ressource végétale et fongique alimentaire sauvage	4,0	3,4	Forte	Forte
Ressource animale alimentaire sauvage	4,1	3,4	Très forte	Forte
Ressource secondaire pour l'agriculture	3,1	2,6	Forte	Moyenne
Emblème ou symbole	2,7	2,2	Moyenne	Moyenne
Héritage (passé et futur) et existence	3,0	2,4	Moyenne	Moyenne
Esthétique	3,2	2,7	Forte	Moyenne
Activités récréatives	2,8	2,4	Moyenne	Moyenne
Connaissance et éducation	3,1	2,6	Forte	Moyenne

des graines, Ressource animale alimentaire sauvage ; un impact fort pour Régulation du climat, Maintien de la qualité du sol, Ressource végétale et fongique alimentaire sauvage, Emblème ou symbole, Héritage (passé et futur) et existence et Esthétique ; un impact modéré pour Ressource secondaire pour l'agriculture, Production animale alimentaire élevée et Activités récréatives et Connaissance et éducation et un impact faible pour le service

Maintien de la qualité des eaux (tableau 21).

4. Représentation des résultats

Les résultats sont présentés afin de mettre en avant le détail de valeurs et d'illustrer les résultats (Figure 21). Nous pouvons ainsi voir l'effet du choix de la zone considérée sur le bilan de l'impact sur les services écosystémiques et sur l'importance de l'impact mesuré. Il serait également possible d'utiliser

Tableau 21 : évaluation de la variation de capacité en services écosystémiques sur la zone d'évaluation 2 (la DUP) entre les états initial et final du projet basé sur la matrice de capacité pour l'ensemble des SE prioritaires et le modèle InVEST pour 2 SE.

Services Ecosystémiques	Somme des scores pondérés		Bilan de l'impact sur les services écosystémiques			InVEST SEII
	Initial	Final	SEII	Différence Final-Initial	Impact	
Régulation du climat	4,0	3,5	-13,7%	-0,55	Très fort	-13.3%
Pollinisation et dispersion des graines	4,4	3,8	-14,3%	-0,62	Très fort	-18.2%
Maintien de la qualité des eaux	3,1	2,8	-10,1%	-0,32	Faible	
Maintien de la qualité du sol	3,5	3,0	-15,3%	-0,54	Fort	
Production animale alimentaire élevée	2,7	2,3	-16,0%	-0,43	Modéré	
Ressource végétale et fongique alimentaire	4,0	3,4	-14,0%	-0,55	Très fort	
Ressource animale alimentaire sauvage	4,1	3,4	-17,8%	-0,74	Très fort	
Ressource secondaire pour l'agriculture	3,1	2,6	-16,5%	-0,51	Fort	
Emblème ou symbole	2,7	2,2	-18,0%	-0,48	Fort	
Héritage (passé et futur) et existence	3,0	2,4	-17,6%	-0,52	Fort	
Esthétique	3,2	2,7	-16,9%	-0,55	Fort	
Activités récréatives	2,8	2,4	-15,6%	-0,44	Modéré	
Connaissance et éducation	3,1	2,6	-14,9%	-0,46	Modéré	

liser un graphique en bouquet, pour représenter les SE aux états initial et

final, ainsi que la différence entre les deux (figure 22).

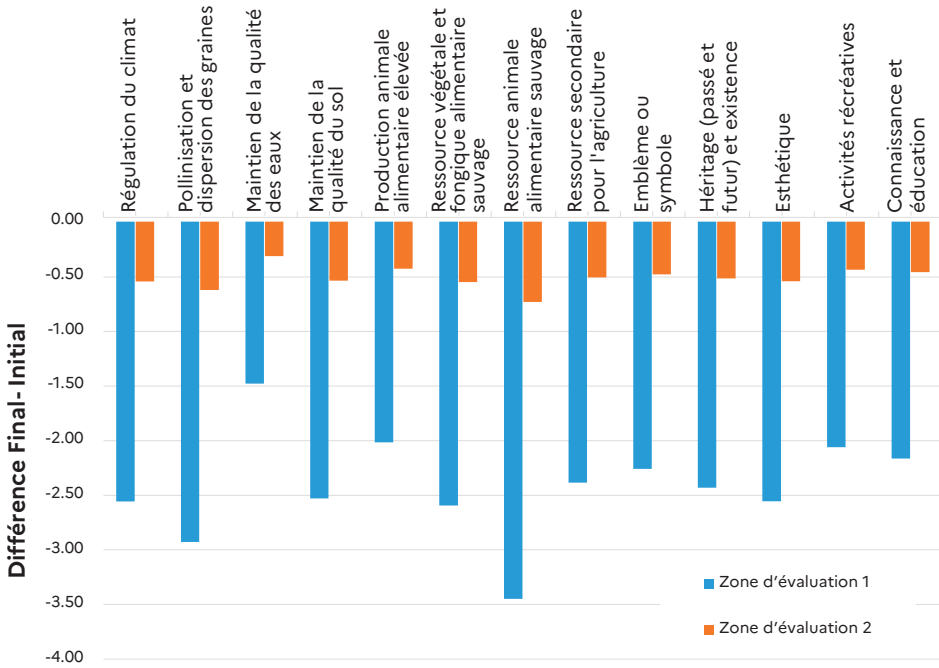


Figure 21 : bilan de l'impact sur les services écosystémiques en considérant le niveau d'évaluation 1 et le niveau d'évaluation 2

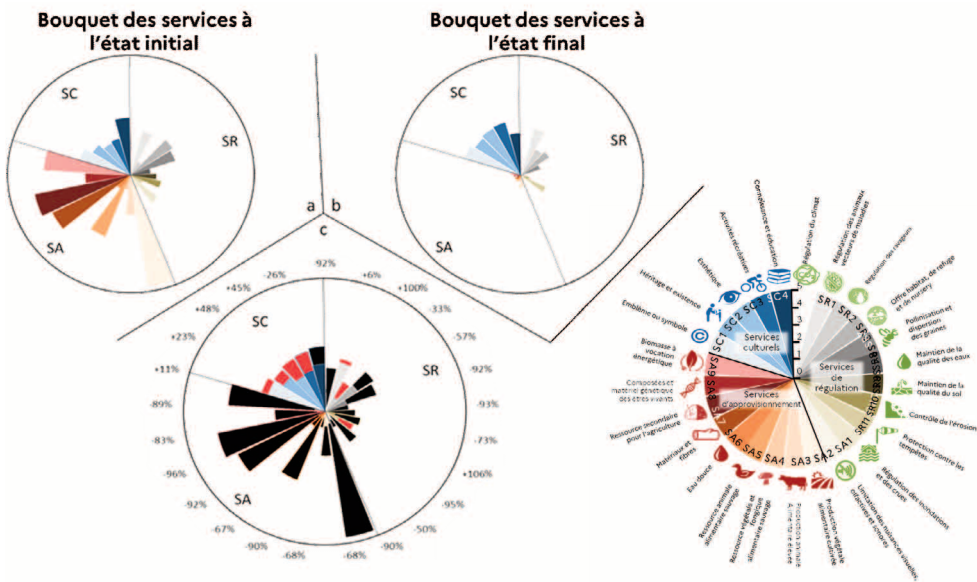


Figure 22 : exemple de bilan (c) de services (en noir les capacités perdues, en rouge les capacités gagnées). État initial (a) et état final (b) une action de gestion avec des bouquets de services – Campagne et Roche 2018. SC= services culturels, SA=services d'approvisionnement et SR=services de régulation.

ÉTAPE 6 : intégration des résultats dans le rapport d'évaluation des incidences sur l'environnement

L'ensemble des résultats de l'évaluation des services écosystémiques doit figurer dans le dossier d'EIE. Les méthodes choisies pour chaque étape doivent être justifiées et leurs limites indiquées clairement. Les résultats seront bien sûr analysés et mis en perspective par rapport aux autres parties de l'évaluation. Ils contribueront à définir les zones à éviter, à étudier des alternatives et des variantes du projet pour aboutir à une solution de moindre impact et à justifier les choix opérés dans le projet, plan ou programme et pourront faire l'objet de mesures afin de satisfaire au 2^o du II. de l'article L110-1 du code de l'environnement.

La connaissance et l'évaluation des services écosystémiques en tant que composantes de l'état initial, font partie de la mise en œuvre de la séquence ERc.

Les services écosystémiques sont donc à intégrer dans la description de l'état initial (résultats 1 à 4 de cette méthode) et des incidences notables (résultat 5 de cette méthode) du projet, plan ou programme (Article L122-3 II. 2^o b¹³). Ce guide ne préconise pas de mesures ERc dédiées aux services écosystémiques, ni n'a vocation à préciser comment dimensionner de telles mesures. À ce sujet, il est possible de se reporter au guide de mise en œuvre *Approche standardisée du dimensionnement de la compensation écologique*¹⁴, publié en 2021.

L'évaluation des services écosystémiques permet d'évaluer les interactions entre la société et la nature et sa biodiversité (5^o du III. de l'article L122-1¹⁵). Ainsi, bien qu'elle nécessite la connaissance des écosystèmes impactés par le projet, plan ou programme, l'évaluation des services écosystémiques n'est pas nécessairement à inclure dans la partie 'biodiversité' du dossier d'autorisation ou de déclaration (souvent appelée 'Contexte naturel', 'Annexe écologique', 'Étude faune flore' ou 'Expertise naturaliste'). Elle peut constituer un chapitre à part entière.

COMMENT FAIRE ?

Pour intégrer l'évaluation des services écosystémiques dans l'EIE, il faut passer par 3 points.

6.1. Analyser les résultats

L'étape 5 a permis d'obtenir pour chaque SE prioritaire des valeurs aux états initiaux et finaux du PPP, et à un taux de variation pour chacun. Il est nécessaire d'analyser ces gains et pertes de SE. Il peut s'agir d'identifier les principaux SE impactés négativement/positivement par le PPP et les évolutions au sein des écosystèmes à l'origine des principales variations.

6.2. Alternatives et mesures ERc

Si les impacts sont significatifs, il peut être nécessaire de revoir le PPP en envisageant l'implantation sur une autre parcelle (alternative) en examinant une implantation différente sur la parcelle (scénario). L'ajout de mesures ERc peut aussi modifier l'impact sur les SE. Les

13. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000036671147/2018-11-25

14. https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Approche_standardisee%20du_dimensionnement_de_la_compensation_ecologique.pdf

sionnement_compensation_%C3%A9cologique.pdf

15. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000037666688/2018-11-25

étapes précédentes sont à réaliser pour chaque alternative et/ou scénario présenté dans l'EIE, que celui-ci ait été envisagé pour améliorer l'impact sur les SE spécifiquement ou sur une autre thématique. Avec les résultats et les analyses des valeurs de services dans les différents états du PPP et pour les différentes variantes ou scénarios, il est maintenant possible de choisir la meilleure option du PPP pour éviter les impacts, réduire les impacts inévitables et compenser les impacts résiduels significatifs.

Si différents scénarios ou options ont été testés, il faut choisir la variante dont les impacts environnementaux sont les plus faibles. De même, avec les meilleures options, les impacts inévitables doivent être analysés pour être réduits. La condition des écosystèmes peut également être importante pour réduire le changement inévitable d'utilisation des terres. La réduction de l'impact peut également être envisagée dans le temps, car certains impacts des PPP évoluent dans le temps.

Les résultats obtenus permettent également de proposer de nouveaux scénarios ou alternatives et de revenir à la première étape afin de trouver la meilleure façon d'éviter les impacts sur les SE. Enfin, une fois la meilleure option choisie, il s'agit d'expliquer les avantages et inconvénients de chaque variante et justifier du choix retenu.

6.3. Intégrer et confronter les pertes et gains en services avec les autres parties de l'EIE

Les services écosystémiques ne peuvent être analysés sans tenir compte des autres parties de l'EIE. Par exem-

ple, la partie sur les risques naturels peut mettre en évidence un besoin accru en régulation des inondations qui peut être satisfait par les services rendus par le patrimoine naturel ou a contrario aggravé par la destruction de certains écosystèmes.

Résultat 6 : interprétation des résultats et justification des choix du PPP

EXEMPLE ILLUSTRATIF

1. Analyser les résultats

Les services écosystémiques sont identiquement impactés selon la considération de la zone d'évaluation 1 et la zone d'évaluation 2 (tableau 22). Les deux services les plus impactés sont le service lié à la ressource animale alimentaire sauvage et le service de Pollinisation et dispersion des graines.

Cette perte de SE est principalement due à la destruction d'hectares de forêt de feuillus et de prairies mésophiles en bonne condition qui ne sont pas restaurées, mais remplacées par de la pelouse restaurée et de la plantation de feuillus.

L'importance de l'impact varie entre les niveaux d'évaluation 1 et 2 mais reste très forte et forte pour de nombreux services, ce qui montre que la perte en services n'est pas compensée même à une échelle plus grande.

Les choix méthodologiques ont été détaillés à chaque étape.

2. Alternatives et mesures ERC

Nous n'avons pas intégré différents scénarios dans cet exemple illustratif, mais plusieurs scénarios sont présents dans l'exemple illustratif d'un PLU

(Partie 4.2).

Nous pouvons constater que les impacts de la construction de la route ont été qualifiés de très forts pour 4 services et de forts pour 5 services sur les 13 services évalués (au Niveau 2 d'évaluation) ce qui met en avant des choix d'aménagement pris qui engendrent une forte dégradation de la capacité des écosystèmes à fournir les services étudiés.

D'autres scénarios pour le tracé de la route nécessiteraient d'être étudiés. Vu la carte de la zone (Figure 15), il serait possible de décaler la route vers le nord-est pour qu'elle ne touche pas la forêt de feuillus ou les fourrés¹⁶.

3. Intégrer et confronter les pertes et gains en services avec les autres parties de l'EIE

L'analyse des continuités écologiques menée dans l'EIE peut indiquer que cette route constituera un obstacle aux déplacements d'animaux et à la dissémination des graines ce qui viendrait s'ajouter à l'impact sur 3 services qui sont fortement associés aux espèces sauvages.

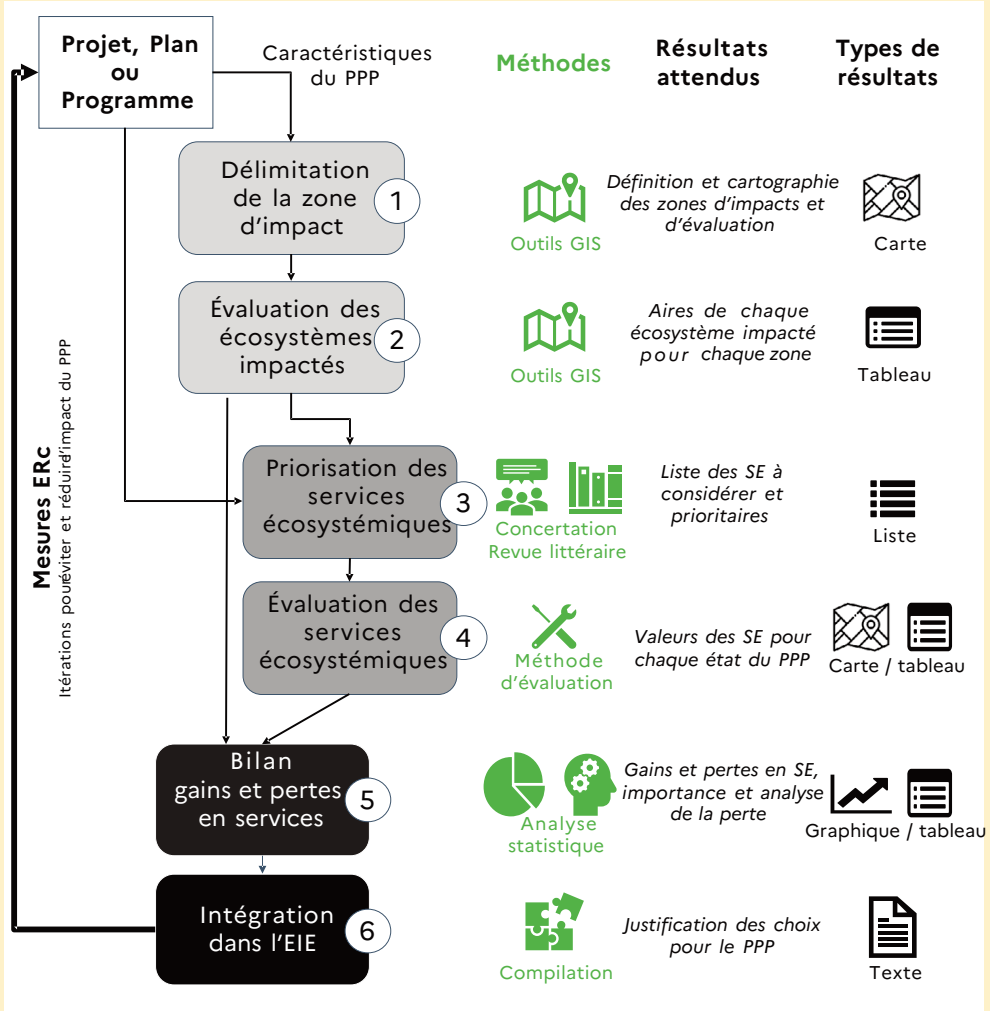
Les écosystèmes perdent le moins en capacité de maintien de la qualité des eaux. Or la création et surtout l'exploitation d'une route augmentent les risques de pollution des eaux. Le croisement de ces informations peut conduire le maître d'ouvrage à prévoir des mesures supplémentaires pour le traitement des eaux de ruissellement.

16. Note des auteurs : ce scénario devrait être étudié en reprenant à l'étape 1 de l'évaluation. Ce n'est pas fait ici pour ne pas alourdir le guide.

L'ESSENTIEL pour prendre en compte les services écosystémiques dans une évaluation des incidences sur l'environnement

Afin de prendre en compte les SE dans les EIE, nous proposons une méthodologie en 6 étapes à réaliser pour chaque alternative ou variante du projet, plan ou programme.

Il faut évaluer les services écosystémiques pour chaque état du PPP (a minima à l'état initial avant PPP et à l'état final après PPP) et pour chaque variant ou scénario.



Check-list - Étapes de la méthode

En noir les étapes générales

En bleu les étapes spécifiques à l'utilisation de la matrice de capacité des Hauts-de-France

ÉTAPE 1 : délimitation des zones d'impact et des zones d'évaluations du projet

Niveau d'évaluation 1 : la zone d'impact direct (et indirect) du projet

Niveau d'évaluation 2 : la zone de délimitation du projet

Résultat 1 : définition et cartographie des zones d'évaluations et d'impacts

ÉTAPE 2 : identification des écosystèmes impactés

Résultat 2 : liste des écosystèmes et surfaces associées au sein du périmètre d'étude aux différentes étapes considérées

ÉTAPE 3 : priorisation des services écosystémiques

3.1 choisir une liste existante de services ;

3.2 pour chaque service, définir s'il est impacté par le projet, plan ou programme, par exemple, en fonction des écosystèmes impactés listés précédemment ;

3.3 pour chaque service, à partir de la littérature ou d'une méthode sollicitant des personnes cibles, définir s'il est un enjeu pour le territoire et s'il est important pour les personnes cibles ;

3.4 enfin, à partir des réponses, définir le degré de priorité finale de chaque service ;

3.5 prendre au minimum les services de priorité forte et plus si possible, notamment selon le nombre de chaque catégorie.

Résultat 3 : liste des services écosystémiques pris en compte et leur priorité

ÉTAPE 4 : évaluation des services écosystémiques

4.1 choisir la méthode d'évaluation des services écosystémiques

4.2 appliquer la méthode ou les méthodes pour arriver à des valeurs par service.

4.2.1 prendre connaissance du rapport d'étude expliquant la méthode des matrices de capacité et les résultats

4.2.2 évaluer la condition des écosystèmes

Cas 1. il n'est pas possible de définir la condition des éco-

systemes pour le PPP

Cas 2. la condition des écosystèmes est évaluée et il n'y a pas de variation de la condition entre l'état initial et l'état final

Cas 3. le projet comprend des variations de la condition écologique entre l'état initial et l'état final

Phase 1 : déterminer les niveaux de condition structurelle et de condition biologique pour chacun des écosystèmes

Phase 2 : déterminer la condition écosystémique pour chaque écosystème et chaque groupe de services écosystémiques

Phase 3 : reconstruire les matrices de capacité modulées par la condition écosystémique pour chaque état du PPP soit au minimum une matrice avec la condition à l'état initial et une matrice avec la condition à l'état final.

4.2.3 pour finir il faut pour chaque service prioritaire, sélectionner les scores dans les matrices de la région Hauts-de-France correspondant à la condition locale définie pour les écosystèmes impactés.

Résultat 4 : valeurs quantitatives ou qualitatives des services écosystémiques – préférentiellement liées à l'offre

ÉTAPE 5 : bilan des gains et pertes en services écosystémiques

5.1 faire le bilan des gains et des pertes par service

5.1.1 calculer les scores pondérés pour chaque état du PPP

5.1.2 calculer les sommes des scores pondérés de tous les écosystèmes pour un SE donné

5.1.3 calculer l'Impact Index (SEII)

5.2 standardiser les valeurs

5.3 définir l'importance de la variation en services écosystémiques

5.4 représenter les résultats

Résultat 5 : gains et pertes en services écosystémiques

ÉTAPE 6 : intégration des résultats dans le rapport d'évaluation des incidences sur l'environnement

6.1 analyser les résultats

6.2 proposer des alternatives ou des variantes

6.3 intégrer et confronter les pertes et gains en services avec les autres parties de l'EE

4. Exemples d'applications de la méthodologie

Note des auteurs : les exemples présentés dans ce chapitre ont pour vocation de mieux comprendre certains points de la méthodologie présentée. Ils n'ont pas vocation à servir de référence ou de modèle pour la rédaction d'un dossier. La présentation de ces exemples dans ce guide ne préjuge en rien de leur approbation ou non par les services instructeurs. Ces exemples permettent d'illustrer de manière simple les différentes étapes de la méthodologie.

4.1. Projet de construction d'une route (exemple illustratif)

ÉTAPE 1 : délimitation des zones d'impact et des zones d'évaluations du projet

Le projet est l'aménagement d'une route secondaire d'environ 2 kilomètres faisant la liaison entre deux

routes préexistantes (figure 23). Il s'agit d'un exemple volontairement simplifié pour illustrer chaque étape de cette méthodologie.

La figure 23 représente le projet d'aménagement et les différents niveaux d'évaluation et d'impact. Sur cette base, il est possible de définir que le niveau d'évaluation 1 et d'im-

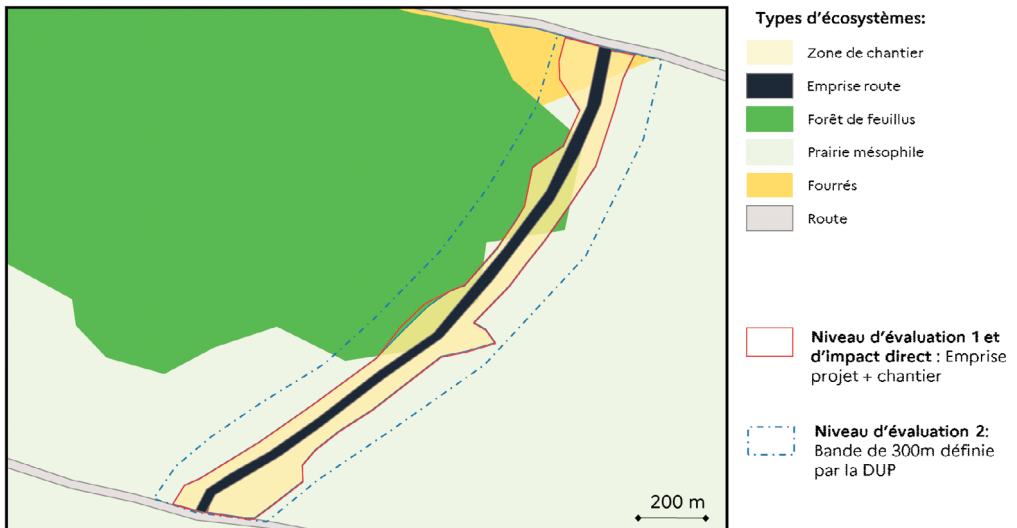


Figure 23 : cartographie illustrative d'un projet de construction d'une portion de route secondaire

compact direct et indirect a une surface de 18,4 ha. Le niveau d'évaluation 2, ici la DUP, a une surface de 86,2 ha. Cet exemple illustratif ne comprend pas de zone pour des mesures compensatoires. Dans un projet plus complet, il conviendrait d'évaluer les SE pour différents scénarios et à chaque modification du projet (démarche itérative) afin d'identifier les zones à éviter et les mesures de réduction à adopter.

ÉTAPE 2 : identification des écosystèmes impactés

La route de près de 2 km de long doit être construite pour relier deux autres routes (figure 23) et son tracé prévisionnel traverse 3 types d'écosystèmes : une forêt de charme et chêne, des

prairies mésophiles partiellement pâturées et une petite zone de fourrés. Une bande de 300 m dans laquelle sera réalisée la route a été définie lors de la DUP.

La route aura une emprise finale de 8 m de large, auxquels s'ajoutent les bords de route qui seront régulièrement entretenus par débroussaillage mécanique. L'emprise du projet est de 18,4 ha.

Pour construire la route, 9,8 ha de prairie, 6,7 ha de forêt et 1,7 ha de fourrés seront impactés directement au sein de la zone de 86,3 ha définie par la DUP (avec destruction partielle à totale). La partie utilisée temporairement pour le chantier de construction sera restaurée à la fin du projet, mais aboutira à court terme à des forma-

Tableaux 22 : tableau type de la liste des écosystèmes et les surfaces occupées aux différentes phases du projet sur la zone d'évaluation 1 et d'impact (Tableau a) et de la zone d'évaluation 2 (DUP) (Tableau b).

Tableau 22a

Type d'écosystèmes	État initial (ha)	État intermédiaire (ha)	État final (ha)
Forêt de feuillus	6,7		
Prairie mésophile	9,8		
Fourrés	1,7		
Terre nue Chantier		18,2	
Route			2,2
Bord de route enherbé	0,2	0,2	1,8
Pelouse restaurée			9,4
Plantation Forêt de feuillus			5,0

Tableau 22b

Type d'écosystèmes	État initial (ha)	État intermédiaire (ha)	État final (ha)
Forêt de feuillus	35,8	29,1	29,1
Prairie mésophile	45,4	35,6	35,6
Fourrés	4,9	3,2	3,2
Terre nue Chantier		18,2	
Route			2,2
Bord de route	0,2	0,2	1,8
Pelouse restaurée			9,4
Plantation Forêt de feuillus			5,0

Tableau 24 : exemple de tableau pour le Résultat 3.

Services écosystémiques	1. Nature du PPP	2. Contexte du PPP			Résultat
	1. Impact potentiel du projet sur le SE / Capacité	2.1 Importance du SE pour les acteurs	2.2 Enjeux local ou réglementaire spécifique pour ce SE	2. Importance locale du SE	Priorité du SE (Faible/Moyenne/Forte)
Régulation du climat	Fort	Oui	Oui	Fort	Forte
Régulation des animaux vecteurs de maladies pour l'homme	Moyen	Non	Non	Faible	Faible
Régulation des ravageurs	Moyen	Non	Oui	Moyenne	Moyenne
Offre d'habitat, de refuge et de nurserie	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Pollinisation et dispersion des graines	Fort	Oui	Oui	Fort	Forte
Maintien de la qualité des eaux	Fort	Non	Oui	Moyenne	Forte
Maintien de la qualité du sol	Fort	Oui	Oui	Fort	Forte
Contrôle de l'érosion	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Protection contre les tempêtes	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Régulation des inondations et des crues	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Limitation des nuisances visuelles, olfactives et sonores	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Production végétale alimentaire cultivée	Faible	Oui	Oui	Fort	Moyenne
Production animale alimentaire élevée	Fort	Non	Oui	Moyenne	Forte
Ressource végétale et fongique alimentaire sauvage	Fort	Oui	Oui	Fort	Forte
Ressource animale alimentaire sauvage	Fort	Oui	Oui	Fort	Forte
Eau douce	Moyen	Oui	Non	Moyen	Moyenne
Matériaux et fibres	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Ressource secondaire pour l'agriculture	Fort	Non	Oui	Moyenne	Forte
Composées et matériel génétique des êtres vivants	Fort	non	Non	Faible	Moyenne
Biomasse à vocation énergétique	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Emblème ou symbole	Fort	Oui	Oui	Fort	Forte
Héritage (passé et futur) et existence	Fort	Non	Oui	Fort	Forte
Esthétique	Fort	Oui	Oui	Fort	Forte
Activités récréatives	Fort	Oui	Oui	Fort	Forte

cation.

Ce sont ces services qui seront pris en compte pour l'évaluation de l'impact du projet sur les services écosystémiques.

ÉTAPE 4 : évaluation des services écosystémiques

Les services écosystémiques sont évalués en utilisant la matrice de capacité

Tableau 25 : détermination des niveaux de SE à partir de la condition écosystémique. L'allocation de la condition pour chaque groupe de SE est réalisée à partir des tableaux 4 à 8. NA= non concerné par la notion de condition écosystémique.

	CONDITION		MATRICE DE RÉFÉRENCE PAR GROUPE				
	Condition Structurelle	Condition biologique	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5
Forêt feuillue	Bonne	Moyenne	Haute	Haute	Haute	Moyenne	Moyenne
Prairie mésophile	Moyenne	Bonne	Haute	Haute	Moyenne	Haute	Haute
Fourrés	Moyenne	Faible	Moyenne	Basse	Basse	Basse	Basse
Terre nue chantier	NA	NA	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Route	NA	NA	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Bord de route	Faible	Moyenne	Basse	Basse	Basse	Moyenne	Basse
Pelouse restaurée	Faible	Faible	Basse	Basse	Basse	Basse	Basse
Plantation feuillus	Faible	Faible	Basse	Basse	Basse	Basse	Basse

Tableau 26 : matrice de capacité avec les scores des SE prioritaires des différents écosystèmes en fonction de la condition écosystémique. Échelle de 0 à 5.

Services écosystémiques	Forêt feuillue	Prairie mésophile	Fourrés	Terre nue chantier	Route	Bord de route	Pelouse restaurée	Plantation feuillus
Régulation du climat	5.0	3.4	2.8	0.0	0.0	0.0	1.0	2.9
Pollinisation et dispersion des graines	4.8	4.4	2.0	0.0	0.0	1.1	1.5	1.6
Maintien de la qualité des eaux	3.6	2.9	1.3	0.0	0.0	0.0	1.9	2.0
Maintien de la qualité du sol	4.2	3.2	2.0	0.0	0.0	0.0	0.6	2.1
Production animale alimentaire élevée	1.6	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0
Ressource végétale et fongique alimentaire sauvage	5.0	3.4	1.2	0.0	0.0	0.0	1.7	1.1
Ressource animale alimentaire sauvage	5.0	3.7	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9
Ressource secondaire pour l'agriculture	3.0	3.1	0.3	0.0	0.0	0.0	1.1	0.1
Emblème ou symbole	3.9	2.0	0.2	0.0	0.4	0.0	0.1	0.5
Héritage (passé et futur) et existence	4.1	2.4	0.3	0.0	0.6	0.0	0.2	0.6
Esthétique	4.2	2.7	0.6	0.0	0.3	0.0	0.4	0.9
Activités récréatives	4.3	1.9	0.6	0.0	0.6	0.0	0.2	1.5
Connaissance et éducation	4.2	2.5	0.8	0.0	0.7	0.0	0.5	1.6

pour l'ensemble des services prioritaires ainsi qu'avec, à titre d'exemple, le modèle InVEST pour le service écosystémique de séquestration du carbone et le service de pollinisation.

Évaluation des services écosystémiques avec la matrice de capacité de la région Hauts-de-France

Nous utilisons les résultats de la matrice de capacité de la région Hauts-de-France pour définir les scores des services à priorité forte de l'étape 3. Nous avons défini la condition structurelle et la condition biologique de ces écosystèmes impactés (tableau 26). La condition des écosystèmes est sans variation entre l'état initial et l'état final (Cas 2). Ensuite, nous en déduisons la condition écosystémique pour chaque groupe de services écosystémiques – soit l'étape 2 - (tableau 25) avec les services à forte priorité : Régulation du climat, Pollinisation et dispersion des graines, Maintien de la qualité des eaux, Maintien de la qualité du sol, Ressource végétale et fongique alimentaire sauvage, Ressource animale alimentaire sauvage, Ressource secondaire pour l'agriculture, Emblème ou symbole, Héritage (passé et

futur) et existence, Esthétique, Activités récréatives, Connaissance et éducation.

À partir des matrices de capacité avec des conditions basses, moyennes ou fortes de la région Hauts-de-France, de la condition des écosystèmes et de la liste des services prioritaires, la matrice de capacité réduite pour le projet est construite (tableau 26).

Évaluation des services écosystémiques avec le modèle InVEST

Avec le logiciel InVEST, nous utilisons des couches géomatiques au format raster de la zone d'emprise directe du projet (zone d'évaluation 1) et de la zone du projet (zone d'évaluation 2). Ces couches géomatiques correspondent aux modes d'occupation du sol/écosystèmes qui servent de données d'entrée aux modules InVEST. Nous évaluons le service écosystémique de « régulation du climat global ».

Nous utilisons le module « Carbon Model » qui correspond au service écosystémique « régulation du climat global » avec une couche raster d'occupation du sol à l'état initial - « DUP_Avant.tif » - et à l'état final - «

Tableau 27: sommes des scores pondérés sur la zone d'évaluation 2 soit la DUP et qualification en termes de capacité en SE.

Services Ecosystémiques	Somme des scores pondérés		Qualification de la capacité en SE	
	Initial	Final	Initial	Final
Régulation du climat	4,0	3,5	Forte	Forte
Pollinisation et dispersion des graines	4,4	3,8	Très forte	Forte
Maintien de la qualité des eaux	3,1	2,8	Forte	Moyenne
Maintien de la qualité du sol	3,5	3,0	Forte	Moyenne
Production animale alimentaire élevée	2,7	2,3	Moyenne	Moyenne
Ressource végétale et fongique alimentaire sauvage	4,0	3,4	Forte	Forte
Ressource animale alimentaire sauvage	4,1	3,4	Très forte	Forte
Ressource secondaire pour l'agriculture	3,1	2,6	Forte	Moyenne
Emblème ou symbole	2,7	2,2	Moyenne	Moyenne
Héritage (passé et futur) et existence	3,0	2,4	Moyenne	Moyenne
Esthétique	3,2	2,7	Forte	Moyenne
Activités récréatives	2,8	2,4	Moyenne	Moyenne
Connaissance et éducation	3,1	2,6	Forte	Moyenne

DUP_Après.tif » (figure 24). Nous utilisons un tableau au format .txt qui contient pour chaque catégorie d'occupation du sol, une estimation des stocks de carbone dans les différents compartiments (aérien, racinaire, sol et matière morte).

Enfin, le chantier durera 2 ans (début en 2020 et fin en 2022). Le module calcule le stock de carbone initial et final

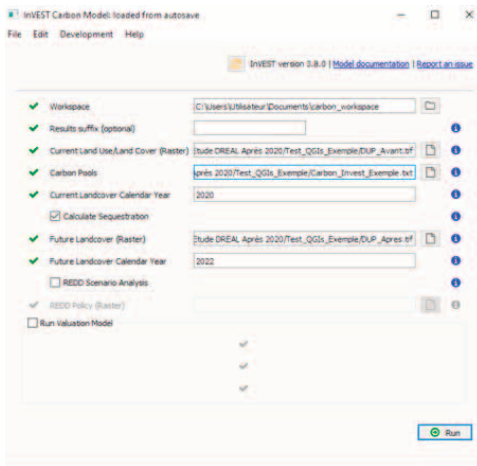


Figure 24 : capture d'écran du module de calcul du stock et de la séquestration du carbone InVEST utilisé dans l'exemple illustratif pour évaluer le service de régulation climatique.

du projet, ainsi que la variation de séquestration (figure 25). Un stock de 13433,55 Mg of C (tonne de carbone) est obtenu à l'état initial du projet et un stock de 11692,64 Mg de C à l'état final du projet.

ÉTAPE 5 : bilan des gains et pertes en services écosystémiques

5.1 et 5.2) Faire le bilan des gains et pertes en services et standardiser les valeurs

En croisant la liste des écosystèmes et des surfaces impactées la matrice de capacité réduite au projet avec la condition des écosystèmes, les capacités en services écosystémiques pondérées par les surfaces, ainsi que les variations aux différents états du projet sont évaluées via les formules (1) et (2) - étapes 5.1.1 et 5.1.2. Grâce à l'approche des matrices de capacité, les valeurs n'ont pas besoin d'être standardisées. Les sommes des scores pondérés sont majoritairement entre 2 et 4 soit une capacité « moyenne » ou « forte » comme le montre le tableau 27.

Le SEII (étape 5.1.3) entre -10 % pour

Tableau 28 : évaluation de la variation de capacité en services écosystémiques sur la zone d'évaluation 2 (la DUP) entre les états initial et final du projet basé sur la matrice de capacité pour l'ensemble des SE prioritaires et le modèle InVEST pour 2 SE.

Services Ecosystémiques	Somme des scores pondérés		Bilan de l'impact sur les services écosystémiques			InVEST SEII
	Initial	Final	SEII	Différence Final-Initial	Impact	
Régulation du climat	4,0	3,5	-13,7%	-0,55	Très fort	-13.3%
Pollinisation et dispersion des graines	4,4	3,8	-14,3%	-0,62	Très fort	-18.2%
Maintien de la qualité des eaux	3,1	2,8	-10,1%	-0,32	Faible	
Maintien de la qualité du sol	3,5	3,0	-15,3%	-0,54	Fort	
Production animale alimentaire élevée	2,7	2,3	-16,0%	-0,43	Modéré	
Ressource végétale et fongique alimentaire	4,0	3,4	-14,0%	-0,55	Très fort	
Ressource animale alimentaire sauvage	4,1	3,4	-17,8%	-0,74	Très fort	
Ressource secondaire pour l'agriculture	3,1	2,6	-16,5%	-0,51	Fort	
Emblème ou symbole	2,7	2,2	-18,0%	-0,48	Fort	
Héritage (passé et futur) et existence	3,0	2,4	-17,6%	-0,52	Fort	
Esthétique	3,2	2,7	-16,9%	-0,55	Fort	
Activités récréatives	2,8	2,4	-15,6%	-0,44	Modéré	
Connaissance et éducation	3,1	2,6	-14,9%	-0,46	Modéré	

Maintien de la qualité des eaux et -18 % pour le service d'esthétique pour la zone d'évaluation 2 (tableau 29).

Bilan des gains et des pertes avec le modèle InVEST

Les valeurs pour le service de régulation du climat sont de 13 433,55 Mg de C à l'état initial du projet et de 11 692,64 Mg de C à l'état final du projet pour le périmètre d'étude. Ainsi une baisse de 17 40,91 Mg de C due au projet est calculable ce qui correspond à un SEII = -13,25 %. Nous pouvons noter la valeur très similaire au SEII = -13,65 % obtenue avec la méthode de la matrice de capacité.

Comme nous n'avons évalué qu'un service avec le modèle, nous n'avons pas de standardisation des valeurs à faire. Mais avec le modèle InVEST, si nous

avons évalué plusieurs services nous aurions pu faire la standardisation de 0 à 1, ou de 0 à 5. Il peut également faire plus sens d'exprimer les valeurs par unité de surface. Ainsi nous aurions une capacité de stockage du carbone moyenne de 155,7 t/ha à l'état initial et de 135,5 t/ha à l'état final, ce qui peut être plus facile à interpréter.

5.3) Importance de la variation en services écosystémiques

En utilisant les seuils standards sur la base de la méthode de test simplifiée en tableau 19, nous pouvons déterminer l'importance de la variation des SE (donc l'impact du PPP), ici pour la construction de la route, tableau 28, avec les 2 niveaux d'évaluation.

Pour la zone d'évaluation 1, l'impact du projet sur les services écosysté-

Aggregate Results

Description	Value	Units	Raw File
Total cur	13433.55	Mg of C	C:\Users\Utilisateur\Documents\carbon_workspace\tot_c_cur.tif
Total fut	11692.64	Mg of C	C:\Users\Utilisateur\Documents\carbon_workspace\tot_c_fut.tif
Change in C for fut	-1740.91	Mg of C	C:\Users\Utilisateur\Documents\carbon_workspace\delta_cur_fut.tif

Figure 25 : sortie du module « Carbon model » pour l'exemple illustratif (niveau zone d'évaluation 2 - DUP).

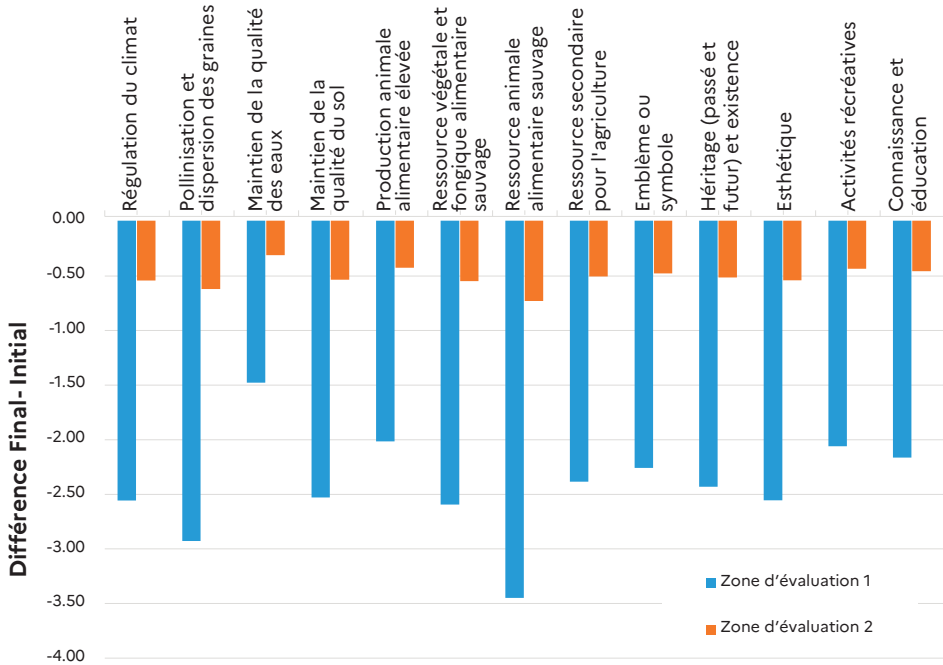


Figure 26 : bilan de l'impact sur les services écosystémiques en considérant le niveau d'évaluation 1 et le niveau d'évaluation 2.

miques est très fort, car tous obtiennent un bilan supérieur à une différence de 0,6 (tableau 28).

Pour le niveau d'évaluation 2, l'impact est plus mitigé, car estompé par la surface plus grande des écosystèmes considérés. Ainsi l'impact varie entre un impact très fort pour les services Pollinisation et dispersion des graines, Ressource animale alimentaire sauvage ; un impact fort pour Régulation du climat, Maintien de la qualité du sol, Ressource végétale et fongique alimentaire sauvage, Emblème ou symbole, Héritage (passé et futur) et existence et Esthétique ; un impact modéré pour Ressource secondaire pour l'agriculture, Production animale alimentaire élevée et Activités récréatives et Connaissance et éducation et un impact faible pour le service Maintien de la qualité des eaux (tableau 28).

5.4) Représentation des résultats

Les résultats sont présentés sous deux formes afin de mettre en avant le détail de valeurs via les tableaux 28 et d'illustrer les résultats via la figure 26 en histogramme. Nous pouvons ainsi voir l'impact de la zone considérée sur le bilan de l'impact sur les services écosystémiques et sur l'importance de l'impact.

ÉTAPE 6 : intégration des résultats dans le rapport d'évaluation des incidences sur l'environnement

6.1) Analyser les résultats

Les deux services les plus impactés sont le service lié à la ressource animale alimentaire sauvage et le service de Pollinisation et dispersion des graines.

Cette perte de SE est principalement due à la destruction d'hectares de fo-

rêt de feuillus et de prairie mésophile en bonne condition qui ne sont pas restaurées, mais remplacées par de la pelouse et de la plantation de feuillus. L'impact varie entre les niveaux d'évaluation 1 et 2 mais reste très fort et fort pour de nombreux services, ce qui montre que la perte en services n'est pas compensée même à une échelle plus grande.

Les choix méthodologiques ont été détaillés à chaque étape.

6.2) Mettre en place des mesures ERc

Les impacts de la construction de la route ont été qualifiés de « très forts » pour 2 services et de « forts » pour 6 services sur les 13 services évalués (au Niveau 2 d'évaluation) ce qui met en avant des choix d'aménagement pris qui engendrent une forte dégradation de la capacité des écosystèmes à fournir les services étudiés. Un autre scénario pour le tracé de la route doit être étudié. Au vue de la carte de la zone (figure 23), il serait possible de décaler la route vers le nord-est pour qu'elle ne touche pas la forêt de feuillus ou les fourrés.

Ce scénario devrait être étudié en reprenant à l'étape 1 de l'évaluation.

6.3) Intégrer et confronter les pertes et gains en services avec les autres parties de l'EIE

L'analyse des continuités écologiques menée dans l'EIE indique que cette route constituera un obstacle aux déplacements d'animaux et à la dissémination des graines, cela se corrèle avec les 3 services les plus impactés qui sont liés aux espèces sauvages. Les écosystèmes perdent le moins en capacité de maintien de la qualité des eaux. Or, la création et surtout l'exploitation d'une route augmentent les risques de

pollution des eaux. Le croisement de ces informations ouvre le débat avec le maître d'ouvrage pour prévoir des mesures supplémentaires pour le traitement des eaux de ruissellement.

4.2. Plan Local d'Urbanisme (exemple fictif)

Une commune a un besoin défini à 100 logements avec un objectif de 20 logements par hectare. Elle estime donc son besoin en foncier à 5 hectares. 3 sites potentiels ont été étudiés afin de définir un plan répondant aux besoins de la commune et ayant le moindre impact environnemental.

ÉTAPE 1 : délimitation des zones d'impact et des zones d'évaluation du projet

Le territoire communal et les sites potentiels à urbaniser ont été cartographiés dans les autres parties de l'éva-

luation environnementale. Un site potentiel à urbaniser est un site envisagé pour un zonage AU (ou déjà en zonage AU dans la version précédente du plan), mais pour lequel différentes thématiques sont à étudier sur le plan environnemental, dont : la présence d'espèces protégées, le rôle dans la trame verte et bleue et, pour le présent sujet, la place des services écosystémiques et donc les impacts sur ces derniers.

Dans un premier temps, les services rendus sur l'ensemble du territoire communal (niveau d'évaluation 2) seront évalués. Ensuite, un focus sera fait sur les sites potentiels à urbaniser (niveau d'évaluation 1).

Tableau 30 : superficie de chaque écosystème sur la commune (niveau d'évaluation 2) à l'état initial

Code matrice des Hauts-de-France	Type d'écosystèmes	Surface (ha)
H1	Eaux douces	6
H10	Lisières humides à grandes herbes	17
H12	Prairies mésophiles	87
H15	Cultures	485
H20	Forêts caducifoliées	95
H21	Forêts riveraines, forêts et fourrés très humides	15
H22	Plantations de feuillus et indéterminées	9
H27	Espaces bâtis et urbains diffus	68
H31	Voies de chemin de fer, friches et abords de voies de	5
H33	Réseaux routiers et ferroviaires	20
Total		807

Tableau 31 : superficie de chaque écosystème présent sur les 3 sites potentiels à l'état initial

Type d'écosystèmes	Surface (ha)	Commentaires
Site 1		
Friches et abords de voies de communication	2	
Site 2		
Prairies mésophiles	1	En bon état
Cultures	2	En agriculture de conservation
Site 3		
Lisières humides à grandes herbes	0,5	En bon état
Prairies mésophiles	2	En partie dégradées

- communication ;
- Lisières humides à grandes herbes ;
- Prairies mésophiles ;
- Cultures.

- Matériaux et fibres
- Ressource secondaire pour l'agriculture
- Biomasse à vocation énergétique

Dans la matrice d'impact potentiel, ces écosystèmes sont simplifiés en prairies, cultures et espaces industriels (tableau 32).

L'impact potentiel et l'importance du SE d'un point de vue réglementaire (document supra et autres parties du PLU) et du point de vue des élus ont permis de prioriser les SE à évaluer (tableau 32).

Un impact potentiel fort est donc à prévoir sur les SE suivants :

- Pollinisation et dispersion des graines
- Contrôle de l'érosion
- Production végétale alimentaire cultivée
- Production animale alimentaire élevée

Les SE à priorité forte sont :

- Régulation du climat ;
- Pollinisation et dispersion des graines ;
- Maintien de la qualité des eaux ;
- Régulation des inondations et des crues ;

Tableau 33 : liste des services écosystémiques pris en compte et priorité associée

Services écosystémiques	1. Nature du PPP	2. Contexte du PPP			Résultat
	1. Impact potentiel du projet sur le SE / Capacité	2.1 Enjeu local ou réglementaire spécifique pour ce SE	2.2 Importance du SE pour les acteurs	2. Importance du SE	Priorité du SE (Faible/Moyenne/Forte)
Régulation du climat	Fort	Oui	Oui	Fort	Forte
Régulation des animaux vecteurs de maladies pour l'homme	Moyen	Non	Non	Faible	Faible
Régulation des ravageurs	Moyen	Oui	Non	Moyenne	Moyenne
Offre d'habitat, de refuge et de nurserie	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Pollinisation et dispersion des graines	Fort	Oui	Oui	Fort	Forte
Maintien de la qualité des eaux	Fort	Oui	Non	Moyenne	Forte
Maintien de la qualité du sol	Fort	Oui	Oui	Fort	Forte
Contrôle de l'érosion	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Protection contre les tempêtes	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Régulation des inondations et des crues	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Limitation des nuisances visuelles, olfactives et sonores	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Production végétale alimentaire cultivée	Faible	Oui	Oui	Fort	Moyenne
Production animale alimentaire élevée	Fort	Oui	Non	Moyenne	Forte
Ressource végétale et fongique alimentaire sauvage	Fort	Oui	Oui	Fort	Forte
Ressource animale alimentaire sauvage	Fort	Oui	Oui	Fort	Forte
Eau douce	Moyen	Non	Oui	Moyen	Moyenne
Matériaux et fibres	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Ressource secondaire pour l'agriculture	Fort	Oui	Non	Moyenne	Forte
Composées et matériel génétique des êtres vivants	Fort	Non	non	Faible	Moyenne
Biomasse à vocation énergétique	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Emblème ou symbole	Fort	Oui	Oui	Fort	Forte
Héritage (passé et futur) et existence	Fort	Oui	Non	Fort	Forte
Esthétique	Fort	Oui	Oui	Fort	Forte
Activités récréatives	Fort	Oui	Oui	Fort	Forte
Connaissance et éducation	Fort	Non	Non	Fort	Forte

Tableau 34 : Score pondéré moyen de capacité en SE pour la commune (Niveau d'évaluation 2) à l'état initial

Code_SE	Services écosystémiques	Score moyen (0-5)	Capacité
SR1	Régulation du climat et de la composition atmosphérique	1.99	Faible
SR2	Régulation des animaux vecteurs de maladies pour l'homme	1.86	Faible
SR3	Régulation des ravageurs	1.20	Faible
SR4	Offre d'habitat, de refuge et de nursery	2.46	Moyenne
SR5	Pollinisation et dispersion des graines	2.18	Moyenne
SR6	Maintien de la qualité des eaux	1.45	Faible
SR7	Maintien de la qualité du sol	1.68	Faible
SR8	Contrôle de l'érosion	1.87	Faible
SR9	Protection contre les tempêtes	1.03	Faible
SR10	Régulation des inondations et des crues	1.72	Faible
SR11	Limitation des nuisances visuelles, olfactives et sonores	1.21	Faible
SA1	Production végétale alimentaire cultivée	3.09	Forte
SA2	Production animale alimentaire élevée	1.62	Faible
SA3	Ressource végétale et fongique alimentaire sauvage	1.23	Faible
SA4	Ressource animale alimentaire sauvage	2.59	Moyenne
SA5	Eau douce	0.98	Très faible
SA6	Matériaux et fibres	2.95	Moyenne
SA7	Ressource secondaire pour l'agriculture/ alimentation indirecte	3.07	Forte
SA8	Composées et matériel génétique des êtres vivants	2.02	Moyenne
SA9	Biomasse à vocation énergétique	2.95	Moyenne
SC1	Emblème ou symbole	2.34	Moyenne
SC2	Héritage (passé et futur) et existence	2.19	Moyenne
SC3	Esthétique	2.11	Moyenne
SC4	Activités récréatives	2.05	Moyenne
SC5	Connaissance et éducation	2.58	Moyenne

- Production végétale alimentaire cultivée ;
- Production animale alimentaire élevée ;
- Ressource animale alimentaire sauvage ;
- Eau douce ;
- Biomasse à vocation énergétique
- Esthétique.

L'évaluation des sites potentiels (Niveau d'évaluation 1) se poursuit avec ceux-ci et le SE « Régulation des ravageurs », car la commune a demandé l'ajout de ce SE de priorité moyenne.

Une évaluation des SE sur tout le territoire communal (Niveau d'évaluation

2) sera aussi menée avec les 25 services listés.

ÉTAPE 4 : évaluation des services écosystémiques

Les SE rendus sur le territoire du PLU sont évalués en utilisant la matrice de capacité moyenne de la région élaborée par Campagne et Roche (2019). Les moyennes des scores pondérés de chaque SE sur la surface du PLU (niveau d'évaluation 2) à l'état initial sont indiquées en tableau 34 et en figure 27 sans intégration de la condition des écosystèmes (cas 1. étape 4.2.2). Ces valeurs indiquent la capacité moyenne du territoire communal à rendre un

Tableau 37 : évolution des surfaces de chaque écosystème selon les 3 scénarios

	Ecosystèmes et occupation du sol	Friches (Site 1)	Prairies mésophiles (Site2)	Cultures (Site 2)	Lisières humides à grandes herbes (site 3)	Prairies mésophiles A (Site 3)	Prairies mésophiles B (site 3)	Espaces bâtis et urbains diffus
	Surface avant projet (ha)	2.0	1.0	2.0	0.5	1.5	0.5	0.0
Scenario 1	Surface après projet (ha)	0.0	0.0	0.0	0.5	1.5	0.5	5.0
Scenario 2	Surface après projet (ha)	0.0	1.0	0.0	0.5	1.0	0.0	5.0
Scenario 3	Surface après projet (ha)	0.0	1.0	0.0	0.5	1.5	0.0	4.5

dent fortement certains services d'approvisionnement. La prairie mésophile dégradée rend peu de services. Enfin, la friche industrielle est l'écosystème qui a la plus faible capacité, quel que soit le SE considéré. Le nouveau milieu créé comportera quelques éléments naturels, aussi le mode d'occupation du sol « Espaces bâtis et urbains diffus » à une capacité en SE non nulle.

ÉTAPE 5 : bilan des gains et pertes en services écosystémiques

Après avoir déterminé les services rendus à l'échelle communale (niveau d'évaluation 2) et les scores des écosystèmes de chaque site potentiel (niveau d'évaluation 1), plusieurs scénarios

ont été analysés. Pour chacun, les gains et pertes en SE à enjeux sont calculés en tenant compte de l'évolution de l'ensemble des sites potentiels.

Scénario 1

Le premier scénario consiste à classer en zones à urbaniser les sites 1 et 2 et classer en zone agricole le site 3 (tableau 37). Cela revient à envisager de construire sur la friche de 2 ha (site 1) pour 40 logements et bâtir 60 habitations sur les 3 ha du site 2. Les écosystèmes du site 3 sont préservés de l'urbanisation.

Après calcul des impacts sur les SE avec ce scénario, celui-ci est suscep-

Tableau 36 : matrice de capacité des écosystèmes des sites modulée par la condition écologique

Services écosystémiques	Friches (Site 1)	Prairies mésophiles (Site2)	Cultures (Site 2)	Lisières humides à grandes herbes (site 3)	Prairies mésophiles A (Site 3)	Prairies mésophiles B (site 3)	Espaces bâtis et urbains diffus
Régulation du climat	0.0	3.4	2.7	3.6	3.4	2.3	0.1
Régulation des ravageurs	0.2	3.8	0.0	3.6	3.8	2.3	1.3
Pollinisation et dispersion des graines	1.1	4.4	1.9	4.3	4.4	3.3	0.8
Maintien de la qualité des eaux	0.0	4.2	0.0	4.6	4.2	2.9	0.1
Régulation des inondations et des crues	0.0	2.6	1.5	3.2	2.6	2.6	0.1
Production végétale alimentaire cultivée	0.0	0.8	4.8	0.6	0.8	0.8	0.5
Production animale alimentaire élevée	0.0	3.8	1.7	1.6	3.8	3.8	0.5
Ressource animale alimentaire sauvage	0.0	3.7	2.8	3.6	3.7	2.4	0.3
Eau douce	0.3	3.2	0.0	3.4	3.2	1.6	0.2
Biomasse à vocation énergétique	0.0	1.0	3.5	1.1	1.0	1.0	0.4
Esthétique	0.4	4.1	0.3	3.8	4.1	2.7	2.3

Tableau 38 : gains et pertes en capacité de SE si le scénario 1 est réalisé.

SCENARIO 1	Capacité		Bilan de l'impact sur les services écosystémiques		
	état initial	état final	SEII Après	Différence Final-Initial	Niveau d'impact
Régulation du climat	2.25	1.15	-48.93 %	-1.10	Très fort
Régulation des ravageurs	1.71	1.99	16.60 %	0.28	Faible
Pollinisation et dispersion des graines	2.78	1.93	-30.61 %	-0.85	Très fort
Maintien de la qualité des eaux	1.90	1.39	-27.05 %	-0.51	Fort
Régulation des inondations et des crues	1.65	0.96	-41.99 %	-0.69	Très fort
Production végétale alimentaire cultivée	1.61	0.54	-66.30 %	-1.07	Très fort
Production animale alimentaire élevée	2.08	1.48	-28.57 %	-0.59	Fort
Ressource animale alimentaire sauvage	2.38	1.33	-44.34 %	-1.06	Très fort
Eau douce	1.50	1.13	-24.40 %	-0.37	Modéré
Biomasse à vocation énergétique	1.43	0.62	-56.83 %	-0.81	Très fort
Esthétique	2.01	2.79	39.25 %	0.79	Très fort

tible d'avoir un impact de faible à très fort sur les services écosystémiques considérés. À l'exception de la régulation des ravageurs (impact positif faible) et de l'esthétique (impact positif très fort), les autres impacts sont négatifs de modérés à très fort (tableau 38).

Scénario 2

Le deuxième scénario consiste à classer en zones à urbaniser les friches du site 1, sur la partie cultivée du site 2 et sur 1 ha de prairies mésophiles du site 3 (tableau 37). Les prairies du site 2, les lisières humides du site 3 et 1 ha de prairie en bon état du site 3 sont conservés.

Après calcul des impacts sur les SE avec ce scénario, nous constatons que le scénario 2 présente comme le scénario 1 un impact positif sur la régulation des ravageurs (modéré) et la valeur esthétique (très fort) et des impacts négatifs sur les autres services écosystémiques (tableau 39).

Scénario 3

Enfin, la commune a envisagé un scénario avec une densification de l'habitat au niveau de l'ancienne friche, passant d'un objectif de 20 logements par hectare à un objectif de 25 logements par hectare. Il s'agit donc d'envisager de créer 50 logements sur la friche et de bâtir 40 autres sur la partie

Tableau 39 : gains et pertes en capacité de SE si le scénario 2 est réalisé

SCENARIO 2	Capacité		Bilan de l'impact sur les services écosystémiques		
	état initial	état final	SEII Après	Différence Final-Initial	Niveau d'impact
Régulation du climat	2.25	1.22	-45.82 %	-1.03	Très fort
Régulation des ravageurs	1.71	2.08	22.26 %	0.38	Modéré
Pollinisation et dispersion des graines	2.78	2.00	-28.08 %	-0.78	Très fort
Maintien de la qualité des eaux	1.90	1.47	-22.62 %	-0.43	Modéré
Régulation des inondations et des crues	1.65	0.96	-41.99 %	-0.69	Très fort
Production végétale alimentaire cultivée	1.61	0.54	-66.30 %	-1.07	Très fort
Production animale alimentaire élevée	2.08	1.48	-28.57 %	-0.59	Fort
Ressource animale alimentaire sauvage	2.38	1.42	-40.60 %	-0.97	Très fort
Eau douce	1.50	1.24	-17.29 %	-0.26	Faible
Biomasse à vocation énergétique	1.43	0.62	-56.83 %	-0.81	Très fort
Esthétique	2.01	2.89	43.97 %	0.88	Très fort

Tableau 40 : gains et pertes en capacité de SE si le scénario 3 est réalisé

SCENARIO 3	Capacité		Bilan de l'impact sur les services écosystémiques		
	état initial	état final	SEII Après	Différence Final-Initial	Niveau d'impact
Régulation du climat	2.25	1.43	-36.27 %	-0.82	Très fort
Régulation des ravageurs	1.71	2.25	31.99 %	0.55	Fort
Pollinisation et dispersion des graines	2.78	2.23	-19.60 %	-0.54	Fort
Maintien de la qualité des eaux	1.90	1.75	-8.15 %	-0.15	NS
Régulation des inondations et des crues	1.65	1.13	-31.65 %	-0.52	Fort
Production végétale alimentaire cultivée	1.61	0.56	-65.07 %	-1.05	Très fort
Production animale alimentaire élevée	2.08	1.70	-18.10 %	-0.38	Modéré
Ressource animale alimentaire sauvage	2.38	1.65	-30.93 %	-0.74	Très fort
Eau douce	1.50	1.44	-3.99 %	-0.06	NS
Biomasse à vocation énergétique	1.43	0.66	-53.84 %	-0.77	Très fort
Esthétique	2.01	3.01	50.12 %	1.01	Très fort

cultivée du site 2 ainsi que 10 sur les 0,5 ha de prairies mésophiles dégradées du site 3 (tableau 37). Cela permet d'éviter l'atteinte aux prairies en bon état ainsi qu'aux lisières humides, qui seront classées en zone agricole du PLU.

ÉTAPE 6 : intégration des résultats dans le rapport d'évaluation des incidences sur l'environnement

Le choix définitif du scénario tiendra compte des autres parties de l'évaluation environnementale, notamment les fonctionnalités écologiques et les espèces protégées entre autres.

Le territoire communal a une capacité forte à rendre le SE « Production végétale alimentaire cultivée ». Celui-ci, bien qu'impacté à l'échelle des sites potentiels d'urbanisation, sera très peu impacté à l'échelle communale, car il a une capacité forte à ce niveau d'évaluation (voir tableau 34).

Pour rappel, selon les autres parties de l'EIE, l'enjeu de préservation de la qualité de l'eau et de prévention des inondations est à considérer avec une attention particulière.

Le scénario 3 est celui qui a le moins

d'impact sur les SE (tableau 40). Bien que celui-ci soit plus vertueux, un impact fort demeure sur un SE à enjeu, déjà très peu rendu sur le territoire¹⁷.

17. [Note des auteurs : un autre scénario incluant des mesures de réduction d'impact devrait être examiné. Il peut s'agir notamment d'étudier l'impact d'une OAP ou de règles telles qu'un coefficient de biotope par surface ou la plantation de haies.]

4.3. Exemple d'un parc d'activités, proposé par Auddicé Biodiversité



L'intégration des services écosystémiques dans l'étude d'impact suit la méthodologie du guide et l'utilisation de la matrice de capacité en services écosystémiques des Hauts-de-France (Campagne et Roche 2019).

ÉTAPE 1 : délimitation des zones d'impact et des zones d'évaluation du projet

Dans l'extension du Parc d'activités des Escardalles (62), la zone d'impact



Figure 28 : délimitation de la zone d'impact

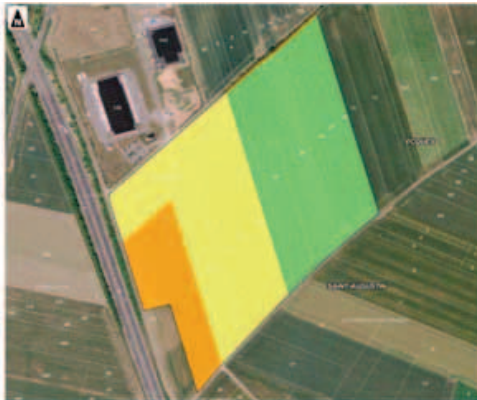


Figure 29 : cartographie de la zone d'impact avant aménagement

et la zone d'évaluation sont les mêmes et forment une zone de 18.3ha (figure 28 et figure 29). Elle comprend des zones de champs abandonnés, champs cultivés, jachères ensemencées ainsi que des haies arbustives.

ÉTAPE 2 : identification des écosystèmes impactés

L'étude n'a pas considéré d'état intermédiaire. Pour l'extension du Parc d'activités, les zones de champ abandonné, champ cultivé, jachère ensemencée seront totalement modifiées en zones urbaines, prairies mésophiles et en haies ou alignements d'arbres suivant les indications du tableau 41.

ÉTAPE 3 : priorisation des services écosystémiques

La liste des services de la matrice de capacité de la région Hauts-de-France a été utilisée. L'impact du projet sur chaque service a été défini à partir du tableau des impacts potentiels dont les écosystèmes concernés par le projet ont été extraits et l'impact potentiel maximal a été déduit sur la base du tableau 42.

La priorisation des services, qui sert définir l'importance de chaque SE pour les acteurs (points 2.1) et les enjeux locaux ou réglementaires spécifiques pour chaque SE (points 2.2) a été déterminée à partir de la littérature et en sollicitant des personnes cibles.

D'après les résultats en tableau 43, les services écosystémiques à forte priorité sont : Régulation du climat, Offre d'habitat, de refuge et de nurserie, Maintien de la qualité des eaux, Maintien de la qualité du sol, Contrôle de

Tableau 41 : liste des écosystèmes et les surfaces occupées aux différentes phases du projet sur la zone d'impact

Type d'écosystèmes dans la matrice des Haut-de-France	Surface à l'état initial (ha)	Surface à l'état final (ha)	Surface modifiée (ha)	Commentaires
Friches	9.1	0	-9.1	Champ abandonné
Cultures	5.6	0	-5.6	Champ cultivé
Cultures	3.6	0	-3.6	Jachère agricole
Espaces bâtis et urbains diffus	0	11.9	11.9	
Prairies mésophiles	0	5	5	
Haies, alignement d'arbres	0	1.4	1.4	
Total	18.3	18.3	0	

l'érosion, Limitation des nuisances visuelles, olfactives et sonores, Esthétique.

En discussion avec les maîtres d'œuvre sont ajoutés les services à priorité moyenne suivant : Régulation des ravageurs, Pollinisation et dispersion des graines, Régulation des inondations et des crues, Production végétale alimentaire cultivée.

ÉTAPE 4 : évaluation des services écosystémiques

Nous utilisons l'évaluation des services écosystémiques de la région Hauts-de-France via la matrice de capacité. En l'absence d'évaluation de terrain, l'ensemble des écosystèmes antérieurs aux travaux sont considérés ayant une condition moyenne au moment de la réalisation des travaux soit pour les zones de friches et de cultures. Les écosystèmes créés par les travaux sont considérés en condition faible pen-

Tableau 42 : matrice des impacts potentiels sur les SE au sein de la zone d'impacts

	Régulation du climat	Régulation des animaux vecteurs de maladies	Régulation des ravageurs	Offre d'habitat, de refuge et de nurserie	Pollinisation et dispersion des graines	Maintien de la qualité des eaux	Maintien de la qualité du sol	Contrôle de l'érosion	Protection contre les tempêtes	Régulation des inondations et des crues	Limitation des nuisances	Production végétale alimentaire cultivée	Production animale alimentaire élevée	Ressource végétale et fongique alimentaire sauvage	Ressource animale alimentaire sauvage	Eau douce	Matériaux et fibres	Ressource secondaire pour l'agriculture	Composés et matériel génétique	Biomasse à vocation énergétique	Emblème ou symbole	Héritage (passé et futur) et existence	Esthétique	Activités récréatives	Connaissance et éducation
Prairies mésophiles	2	2	2	2	3	2	2	3	1	2	2	1	3	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2
Cultures	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	3	2	1	2	2	3	3	2	3	2	2	2	2	2
Haies, alignements d'arbres	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	1	3	3	2	3	2	2	3	3	3	3	2	3
Espaces bâtis et urbains diffus	1	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Impact potentiel	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3	3	2	3

Tableau 43 : liste des services écosystémiques pris en compte et leur priorité

Services écosystémiques	1. Nature du PPP	2. Contexte du PPP			Résultat
	1. Impact potentiel du projet sur le SE / Capacité	2.1 Enjeu local ou réglementaire spécifique pour ce SE	2.2 Importance du SE pour les acteurs	2. Importance du SE	Priorité du SE (Faible/Moyenne/Forte)
Régulation du climat	Fort	Oui	Oui	Forte	Forte
Régulation des animaux vecteurs de maladies pour l'homme	Moyenne	Non	Non	Faible	Faible
Régulation des ravageurs	Fort	Non	Oui	Moyenne	Moyenne
Offre d'habitat, de refuge et de nurserie	Fort	Oui	Oui	Forte	Forte
Pollinisation et dispersion des graines	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Maintien de la qualité des eaux	Fort	Oui	Oui	Forte	Forte
Maintien de la qualité du sol	Fort	Oui	Oui	Forte	Forte
Contrôle de l'érosion	Fort	Oui	Oui	Forte	Forte
Protection contre les tempêtes	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Régulation des inondations et des crues	Moyenne	Oui	Oui	Forte	Moyenne
Limitation des nuisances visuelles, olfactives et sonores	Fort	Oui	Oui	Forte	Forte
Production végétale alimentaire cultivée	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Production animale alimentaire élevée	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Ressource végétale et fongique alimentaire sauvage	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Ressource animale alimentaire sauvage	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Eau douce	Moyenne	Non	Non	Faible	Faible
Matériaux et fibres	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Ressource secondaire pour l'agriculture	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Composées et matériel génétique des êtres vivants	Moyenne	Non	Non	Faible	Faible
Biomasse à vocation énergétique	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Emblème ou symbole	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Héritage (passé et futur) et existence	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Esthétique	Fort	Oui	Oui	Forte	Forte
Activités récréatives	Moyenne	Non	Non	Faible	Faible
Connaissance et éducation	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne

dant les premières années après travaux soit pour les écosystèmes espaces bâtis et urbains diffus, prairies mésophiles et haies, alignement d'arbres.

À partir des conditions et des valeurs correspondantes dans les matrices de capacité de la Région Haut-de-France,

la capacité des écosystèmes de la zone d'étude à fournir des services écosystémiques est présentée dans le tableau 44.

Tableau 44 : matrice adaptée avec les conditions écosystémiques du projet

Services écosystémiques	Prairies mésophiles	Cultures	Haies, alignements d'arbres	Espaces bâtis et urbains diffus	Friches
Régulation du climat	2.3	1.6	3.3	0.1	0.9
Régulation des ravageurs	2.3	0.6	3.1	1.3	1.6
Offre d'habitat, de refuge et de nurserie	3.1	2.1	3.9	1.4	2.0
Pollinisation et dispersion des graines	3.3	1.9	3.9	0.8	2.3
Maintien de la qualité des eaux	2.9	0.8	3.2	0.1	0.8
Maintien de la qualité du sol	3.2	1.1	3.6	0.1	0.6
Contrôle de l'érosion	3.3	1.3	3.9	0.3	1.2
Régulation des inondations et des crues	2.6	1.5	2.9	0.1	0.5
Limitation des nuisances visuelles, olfactives et sonores	1.3	0.7	4.0	0.3	0.7
Production végétale alimentaire cultivée	0.8	4.8	1.2	0.5	0.2
Esthétique	2.7	1.6	3.6	2.3	0.4

Tableau 45 : évaluation de la capacité en services écosystémiques sur la zone d'impacts avec les résultats avant et après l'aménagement basé sur la matrice de capacité

Services écosystémiques	Capacité		Bilan de l'impact sur les services écosystémiques		
	état initial	état final	SEII Après	Différence Final-Initial	Niveau d'impact
Régulation du climat	1.30	0.80	-38.19 %	-0.50	Fort
Régulation des ravageurs	1.10	0.40	-65.74 %	-0.70	Très Fort
Offre d'habitat, de refuge et de nurserie	2.10	1.10	-48.00 %	-1.00	Très Fort
Pollinisation et dispersion des graines	2.10	0.80	-61.52 %	-1.30	Très Fort
Maintien de la qualité des eaux	0.80	0.60	-23.77 %	-0.20	NS
Maintien de la qualité du sol	0.90	0.80	-11.04 %	-0.10	NS
Contrôle de l'érosion	1.30	1.10	-10.75 %	-0.20	NS
Régulation des inondations et des crues	1.00	0.40	-57.38 %	-0.60	Fort
Limitation des nuisances visuelles, olfactives et sonores	0.70	0.60	-18.66 %	-0.10	NS
Production végétale alimentaire cultivée	2.50	0.20	-91.30 %	-2.30	Très Fort
Esthétique	1.00	0.90	-8.17 %	-0.10	NS

ÉTAPE 5 : bilan des gains et pertes en services écosystémiques

Les gains et pertes en services écosystémiques sont évalués via le calcul des scores pondérés et avec les sommes des scores pondérés de tous les écosystèmes pour chaque service dans le tableau 45.

Des pertes en capacités à fournir des services écosystémiques par la zone d'étude sont présentes pour tous les services avec des importances différentes.

Les services très fortement impactés sont le service de Régulation des ravageurs, de l'Offre d'habitat, de refuge et de nurserie, de Pollinisation et dispersion des graines et de Production végétale alimentaire cultivée. Les services de Régulation du climat et de Régulation des inondations et des crues sont, quant à eux, fortement impactés (tableau 45).

ÉTAPE 6 : intégration des résultats dans le rapport d'évaluation des incidences sur l'environnement

Les services très fortement impactés sont le service de Régulation des ravageurs, de l'Offre d'habitat, de refuge

et de nurserie, de Pollinisation et dispersion des graines et de Production végétale alimentaire cultivée. Les services de Régulation du climat et de Régulation des inondations et des crues sont fortement impactés.

Ainsi l'aménagement actuel prévu impacte fortement les services liés à la biodiversité (Régulation des ravageurs, de l'Offre d'habitat, de refuge et de nurserie, de Pollinisation et dispersion des graines). Des mesures alternatives doivent être testées pour éviter ou réduire ces impacts. Des mesures compensatoires seront prévues si cela n'est pas possible.

4.4. Exemple d'un site portuaire, proposé par le bureau d'étude Biotope



Cet exemple illustre la démarche suivie pour procéder à une évaluation préalable de la capacité en services écosystémiques en intégrant la prise en compte de la condition écologique des écosystèmes du site et les spécificités de certains écosystèmes littoraux et marins. Dans cet exemple, le but est de réaliser une évaluation de la capacité en SE du site sans aller jusqu'à la phase impact. Il n'est donc pas réa-

lisé d'analyse de bilan initial/final.

ÉTAPE 1 : délimitation des zones d'impact et des zones d'évaluations du projet

Pour des raisons de confidentialité, la délimitation de la zone d'impact n'est pas partagée.

ÉTAPE 2 : identification des écosystèmes impactés

Les écosystèmes du site ont été cartographiés suivant la typologie EUNIS, une correspondance entre cette typologie au niveau 3 et la typologie de la matrice régionale a été réalisée.

Une liste de 28 écosystèmes EUNIS de niveau 3 a été établie.

Les 28 types EUNIS N3 correspondent à 23 types de la matrice régionale HDF présentés dans le tableau 46 avec les

Tableau 46 : correspondance entre la typologie EUNIS Niveau 3 et les codes de la matrice de capacité des Hauts-de-France.

Habitats	EUNIS Niveau 3	Code HDF	Surface (ha)
Marins	Sable subtidal	H34b	5000
	Vase subtidale	H34b	1000
	Roche intertidale sous hydrodynamisme modéré	H34c	1
	Sédiments grossiers intertidaux	H39	500
Littoraux	Marais salés côtiers et roselières salines	H36	60
	Dunes côtières mobiles	H41	50
	Pelouses des dunes côtières fixées (dunes grises)	H41	40
	Fruticées des dunes côtières	H42	30
	Pannes dunaires mouilleuses et humides	H37	20
	Laisses de mer des plages de galets	H40	10
Eaux continentales et habitats humides	Lacs, étangs et mares mésotrophes permanents	H01	35
	Lacs, étangs et mares oligotrophes permanents	H01	1
	Lacs, étangs et mares continentaux salés et saumâtres permanents	H35	10
	Roselières et formations de bordure à grands hélrophytes autres que les roseaux	H06	50
Prairies et pelouses	Lisières et prairies humides ou mouilleuses à grandes herbacées et à fougères	H10	30
	Prairies eutrophes et mésotrophes humides ou mouilleuses	H11	10
	Pâturages permanents mésotrophes et prairies de post-pâturage	H12	300
	Prairies de fauche de basse et moyenne altitudes	H13	40
	Friches, jachères ou terres arables récemment abandonnées	H31	500
	Boisements	Forêts riveraines et forêts galeries, avec dominance d'Alnus, Populus ou Salix	H21
Fourrés tempérés		H19	200
Petits bois anthropiques de feuillus caducifoliés		H20	70
Plantations forestières très artificielles de feuillus caducifoliés		H22	10
Plantations forestières très artificielles de feuillus sempervirents		H23	80
Agricoles	Monocultures intensives	H15	1000
	Monocultures intensives	H15	1000
	Terres arables à monocultures extensives	H15	500
Urbains	Zones bâties, sites industriels et autres habitats artificiels	H27	3000

correspondances avec la typologie régionale et les surfaces concernées sur l'étendue du site pris en compte.

ÉTAPE 3 : priorisation des services écosystémiques

Suivant la méthodologie du guide, la capacité en SE du site au regard de son état et des priorités des acteurs locaux et des priorités réglementaires a été évaluée. Le tableau 47 résume cette analyse et permet d'identifier 15 services écosystémiques considérés prioritaires sur la base de ces critères : Régulation du climat, Offre d'habitat, de refuge et de nurserie, Maintien de la qualité des eaux, Maintien de la qualité du sol, Protection contre les tempêtes, Régulation des inondations et des crues, Production végétale alimen-

taire cultivée, Ressource animale alimentaire sauvage, Eau douce, Matériaux et fibres (sable), Emblèmes et Symboles, Héritage (passé et futur) et existence, Esthétique, Activités récréatives, Connaissance et éducation.

Il est à noter que le sable n'est pas inclus au sein du service Matériaux et Fibres. Le sable, qui est un matériaux abiotique, est considéré comme une ressource naturelle et non un service écosystémique, car il ne dépend pas de processus biologiques pour sa fourniture. Par facilité et compte rendu de son importance pour le site, il est associé à l'analyse, mais ne serait pas retenu pour une évaluation de l'impact d'un projet d'aménagement sur les services écosystémiques.

Tableau 47 : présentation de la démarche de priorisation des services écosystémiques aboutissant à 15 SE prioritaires.

Services écosystémiques	1. Nature du PPP	2. Contexte du PPP			Résultat
	1. Impact potentiel du projet sur le SE / Capacité	2.1 Enjeu local ou réglementaire spécifique pour ce SE	2.2 Importance du SE pour les acteurs	2. Importance du SE	Priorité du SE (Faible/Moyenne/Forte)
Régulation du climat	Fort	Oui	Oui	Forte	Très forte
Régulation des animaux vecteurs de maladies	Moyen	Non	Non	Faible	Faible
Régulation des ravageurs	Moyen	Non	Non	Faible	Faible
Offre d'habitat, de refuge et de nurserie	Fort	Non	Oui	Moyenne	Forte
Pollinisation et dispersion des graines	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Maintien de la qualité des eaux	Fort	Oui	Oui	Forte	Très forte
Maintien de la qualité du sol	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Contrôle de l'érosion	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Protection contre les tempêtes	Fort	Non	Oui	Moyenne	Forte
Régulation des inondations et des crues	Fort	Oui	Oui	Forte	Très forte
Limitation des nuisances visuelles, olfactives et	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Production végétale alimentaire cultivée	Fort	Oui	Oui	Forte	Très forte
Production animale alimentaire élevée	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Ressource végétale et fongique alimentaire sau-	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Ressource animale alimentaire sauvage	Fort	Oui	Oui	Forte	Très forte
Eau douce	Fort	Oui	Oui	Forte	Très forte
Matériaux et fibres	Fort	Oui	Oui	Forte	Très forte
Ressource secondaire pour l'agriculture	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Composées et matériel génétique des êtres vi-	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Biomasse à vocation énergétique	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Emblème ou symbole	Fort	Non	Non	Faible	Moyenne
Héritage (passé et futur) et existence	Fort	Non	Oui	Moyenne	Forte
Esthétique	Fort	Non	Oui	Moyenne	Forte
Activités récréatives	Fort	Oui	Oui	Forte	Très forte
Connaissance et éducation	Fort	Non	Oui	Moyenne	Forte

Tableau 48 : matrice des conditions écosystémiques par groupe de services écosystémiques et allocation des tables de SE.

Code HDF	Label HDF	Condition Structurale	Condition Biologique	GP1	GP2	GP3	GP4	GP5
H01	Eaux douces	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
H06	Végétations de ceinture des bords des eaux	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
H10	Lisières humides à grandes herbes	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
H11	Prairies humides	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
H12	Prairies mésophiles	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
H13	Prairies à fourrage des plaines	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
H15	Cultures	Forte	Moyenne	Haute	Haute	Haute	Moyenne	Moyenne
H19	Fourrés	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
H20	Forêts caducifoliées	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
H21	Forêts riveraines, forêts et fourrés très humides	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
H22	Plantations de feuillus et indéterminées	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
H23	Plantations de conifères	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
H27	Espaces bâtis et urbains diffus	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
H31	Friches et abords de voies de communication	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
H34b	Mers et océans - Sableux	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
H34c	Récifs	Moyenne	Forte	Haute	Haute	Moyenne	Haute	Haute
H35	Estuaires, fleuves et rivières soumis à marées	Moyenne	Forte	Haute	Haute	Moyenne	Haute	Haute
H36	Habitats côtiers soumis à marées	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
H37	Dépansions humides dunaires	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
H39	Plages de galets	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
H40	Côtes rocheuses et falaises	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
H41	Dunes blanches et grises	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
H42	Dunes arbustives et arborées	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne

ÉTAPE 4 : évaluation des services écosystémiques

Le choix méthodologique est d'utiliser la matrice de capacité de la région Hauts-de-France (Campagne et Roche, 2019).

Dans un premier temps, il est généré une matrice de capacité réduite aux écosystèmes et services écosystémiques identifiés pour le site d'étude. Sur cette base, avec la validation scientifique des auteurs du guide et de la matrice des Hauts-de-France, un second niveau d'adaptation de la matrice de capacité a été réalisé en forçant à 0 les scores proches de 0 et pour lesquels la valeur 0 fait partie de l'intervalle de confiance à 95 %. Ce qui induit que la matrice de capacité de référence diffère de la matrice générique des Hauts-de-France.

De plus, il a été choisi de fusionner en un seul service les services SC1-Em-

blèmes et symboles, SC2-Héritage et Existence et SC3-Esthétique du fait de leur forte corrélation (coefficient de corrélation = 0,94).

En fonction des critères du guide et des observations réalisées sur le terrain, une matrice des conditions écosystémiques a été élaborée (tableau 48). Cette matrice de condition permet de déterminer la matrice de capacité à considérer pour chaque SE considéré dans le cadre de ce projet (matrice de capacité basse, moyenne ou haute).

La considération de la condition écosystémique permet de moduler le score de capacité moyen de la région et ainsi de produire une évaluation de la capacité plus adaptée au site d'étude en intégrant la condition de ses écosystèmes (tableau 49).

Les codes des services correspondent à ceux de la matrice des Hauts-de-France (Campagne et Roche 2019) et signifient : SA1-Production végétale ali-

Tableau 49 : valeurs de capacités en services écosystémiques pour les différents écosystèmes de la zone d'étude

Code HdF	Label Habitat HdF	SA1	SA4	SA5	SR9	SR10	SR6	SR4	SR1	SC4	SC5	SC1-2-3
H1	Eaux douces	0.0	4.0	4.4	0.0	2.7	2.2	4.0	2.8	4.2	3.8	3.7
H6	Végétations de ceinture des bords des eaux	0.0	2.4	0.0	0.0	3.0	4.1	4.3	2.7	1.7	3.1	3.0
H10	Lisières humides à grandes herbes	0.0	2.3	1.8	0.0	3.2	3.2	3.9	2.5	0.0	2.5	2.3
H11	Prairies humides	0.0	2.6	2.3	0.0	4.0	3.9	3.8	2.8	2.1	3.4	3.4
H12	Prairies mésophiles	0.0	2.4	1.6	0.0	2.6	2.9	3.1	2.3	1.9	2.5	2.4
H13	Prairies à fourrage des plaines	0.0	2.6	0.0	0.0	2.3	2.3	2.8	2.2	1.5	2.2	2.3
H15	Cultures	5.0	3.8	1.8	1.4	2.8	1.2	3.3	2.0	3.1	3.8	3.3
H19	Fourrés	0.0	3.0	0.0	2.1	2.3	2.7	3.9	2.8	1.7	2.2	1.8
H20	Forêts caducifoliées	0.0	3.8	0.0	3.7	3.1	3.6	4.4	4.6	4.3	4.2	4.1
H21	Forêts riveraines, forêts et fourrés très humides	0.0	3.5	2.1	3.7	4.0	4.0	4.4	4.4	3.6	3.6	3.5
H22	Plantations de feuillus et indéterminées	0.0	3.3	1.8	3.0	2.6	3.2	3.2	4.1	2.9	2.7	2.1
H23	Plantations de conifères	0.0	2.7	0.0	3.1	2.5	2.7	2.9	3.8	3.1	2.7	2.0
H27	Espaces bâtis et urbains diffus	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	2.3	1.8	2.3
H31	Friches et abords de voies de communication	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.9	0.0	1.2	0.0
H34.b	Mers et océans - Sableux	0.0	5.0	3.5	1.0	0.0	3.4	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
H34.c	Récifs	0.0	5.0	1.7	2.5	0.0	3.2	5.0	3.0	4.7	5.0	5.0
H35	Estuaires, fleuves et rivières soumis à marées	0.0	5.0	3.2	1.7	0.0	3.8	5.0	3.9	5.0	5.0	5.0
H36	Habitats côtiers soumis à marées	0.0	3.9	0.0	0.0	1.5	2.4	3.9	2.4	3.9	4.0	3.7
H37	Dépressions humides dunaires	0.0	2.0	0.0	0.0	1.7	2.3	3.4	1.9	2.7	3.3	3.1
H39	Plages de galets	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	4.2	3.0	3.7
H40	Côtes rocheuses et falaises	0.0	1.7	0.0	2.2	0.0	0.0	3.4	0.0	3.5	3.5	4.3
H41	Dunes blanches et grises	0.0	1.8	0.0	2.5	0.0	1.5	2.9	0.0	3.5	3.5	3.8
H42	Dunes arbustives et arborées	0.0	2.1	0.0	3.0	1.7	2.1	3.4	2.7	3.0	3.2	3.5

mentaire cultivée, SA4-Ressource animale alimentaire sauvage (pêche), SA5-Eau douce à usage agricole ou industriel, SR9-Protection contre les tempêtes et submersion marine, SR10-Régulations des inondations et des crues, SR6-Maintien de la qualité de l'eau, SR4-Offre d'habitats, de refuge et de nurserie, SR1-Régulation globale du climat, SC4-Activités récréatives, SC5-Connaissance et éducation, SC1-2-3 Héritage, existence et Esthé-

tique.

ÉTAPE 5 : bilan des capacités en services écosystémiques

L'approche permet d'évaluer la capacité en services écosystémiques sur l'étendue du site d'étude en pondérant les scores unitaires des SE par la surface des différents écosystèmes. Pour ce faire, la surface de chaque écosystème a été multipliée aux scores de chaque service, puis la somme des

Tableau 50 : capacité en services écosystémiques du site d'étude en prenant en compte la surface de chaque écosystème.

Codes	Services Ecosystémiques	Score moyen avec Habitats marins	Score moyen sans Habitats marins	Score pondéré avec Habitats marins	Score pondéré sans Habitats marins
SA1	Production végétale alimentaire cultivée	0.2	0.4	1.0	2.0
SA4	Ressource animale alimentaire sauvage (pêche)	2.7	2.6	3.0	1.7
SA5	Eau douce à usage agricole ou industriel	1.1	1.1	0.3	0.7
SR9	Protection contre les tempêtes et submersion marine	1.3	1.2	0.7	0.7
SR10	Régulations des inondations et des crues	1.7	2.5	0.6	1.3
SR6	Maintien de la qualité de l'eau	2.4	2.6	1.8	0.7
SR4	Offre d'habitats, de refuge et de nurserie	3.5	3.4	3.5	2.2
SR1	Régulation globale du climat	2.5	2.7	2.7	1.1
SC4	Activités récréatives	3.0	2.3	3.5	2.3
SC5	Connaissance et éducation	3.3	2.8	3.5	2.6
SC3	Esthétisme et Héritage (passé et futur)	3.1	2.4	3.5	2.4

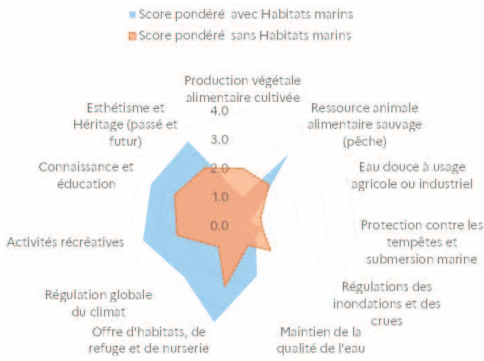


Figure 30 : bouquet de services avec les scores pondérés avec et sans les habitats marins

produits a été divisée par la surface du site afin d'obtenir un score de service pondéré sur une échelle de 0 à 5. Dans le contexte d'aménagement d'un site portuaire nous souhaitons visualiser l'importance des écosystèmes marins pour la fourniture de services d'approvisionnement (et surtout pour les ressources animales sauvages), mais également pour la régulation du climat et plus particulièrement des services culturels (tableau 50 et Figure 30).

ÉTAPE 6 : intégration des résultats dans le rapport d'évaluation des incidences sur l'environnement

Sur le territoire d'étude, chaque habitat a la capacité d'exprimer au minimum 5 SE, à l'exception des friches, jachères et terres arables récemment abandonnées, qui n'en fournissent que 3 (Figure 31). Les habitats les plus multifonctionnels (qui fournissent le plus grand nombre de SE) sont les habitats boisés (humides et non-humides), les prairies de fauche basse et moyenne altitude, les roselières, les fruticées des dunes côtières, et les sables et vases subtidales. En moyenne, les habitats ont la capacité de fournir entre 7 et 8 SE chacun.

Au-delà du nombre de SE, il est inté-

ressant de regarder la moyenne des scores par habitat, tous services confondus (Figure 31). La moyenne des scores la plus élevée correspond à celle des forêts riveraines (boisements humides), suivie des petits bois anthropiques de feuillus caducifoliés. De manière générale, les habitats boisés ont en moyenne des scores plus élevés que les habitats ouverts. Les habitats dont les scores sont les plus faibles sont les zones bâties et les friches et jachères.

En combinant le nombre de SE exprimés par habitat et la moyenne des scores par habitat, tous services confondus, il est possible d'évaluer leur performance en termes de fourniture de SE (indice de multifonctionnalité) (Figure 31).

Ainsi, les 6 services les plus importants rendus par la zone étudiée sont par ordre d'importance : SC3-Esthétisme et Héritage (passé et futur), SC5-Connaissance et éducation, SC4-Activités récréatives, SR1-Régulation globale du climat, SR4-Offre d'habitats, de refuge et de nurserie et SA4-Ressource animale alimentaire sauvage (pêche).

De même, les 10 écosystèmes les plus importants pour la fourniture de services écosystémiques sont dans l'ordre d'importance : Forêts riveraines et forêts galeries, avec dominance d'Alnus, Populus ou Salix, Petits bois anthropiques de feuillus caducifoliés, Sable subtidal, Plantations forestières très artificielles de feuillus caducifoliés, Roselières et formations de bordure à grands héliophytes autres que les roseaux, Plantations forestières très artificielles de feuillus sempervirents, Roche intertidale sous hydrodynamisme modéré, Lacs, étangs et mares

mésotrophes permanents, Lacs, étangs et mares oligotrophes permanents et les Prairies eutrophes et mésotrophes humides ou mouilleuses.

D'après les résultats obtenus, le territoire héberge un large panel de 28 habitats distincts, dominé par les habitats marins, les habitats cultivés non humides et les zones bâties. Il découle de cette variété d'habitats une multitude de SE, fournis à des niveaux hétérogènes.

Les boisements humides et non humides sont les plus performants en termes de multifonctionnalité, il en est de même pour les roselières et prairies humides ainsi que les habitats marins (figure 31). À noter également un niveau de capacité élevé pour les plantations de feuillus caducifoliés et les sempervirents en raison de scores élevés attribués par le comité d'experts concernant les services socio-culturels qu'ils peuvent potentiellement fournir. Ce résultat pourrait être différent dans

d'autres régions où ces boisements ne présentent pas le même attrait.

En comparaison, bien qu'importants en termes de superficie, les habitats cultivés sont parmi les moins performants pour fournir des SE. En effet si le service de production végétale alimentaire est maximal pour ces habitats, les autres SE présentent un score beaucoup plus faible expliquant ce faible niveau de multifonctionnalité.

De manière générale, au travers des SE priorisés par les acteurs locaux et des scores finaux obtenus, les résultats indiquent que le territoire d'étude présente un attrait fort pour ses usagers en termes de pratiques sportives et culturelles, mais également en raison d'une valeur emblématique et patrimoniale forte. Ce sont ces SE socio-culturels qui ont obtenu les scores les plus élevés sur le territoire, suivis des SE de régulation puis des biens fournis par les écosystèmes.

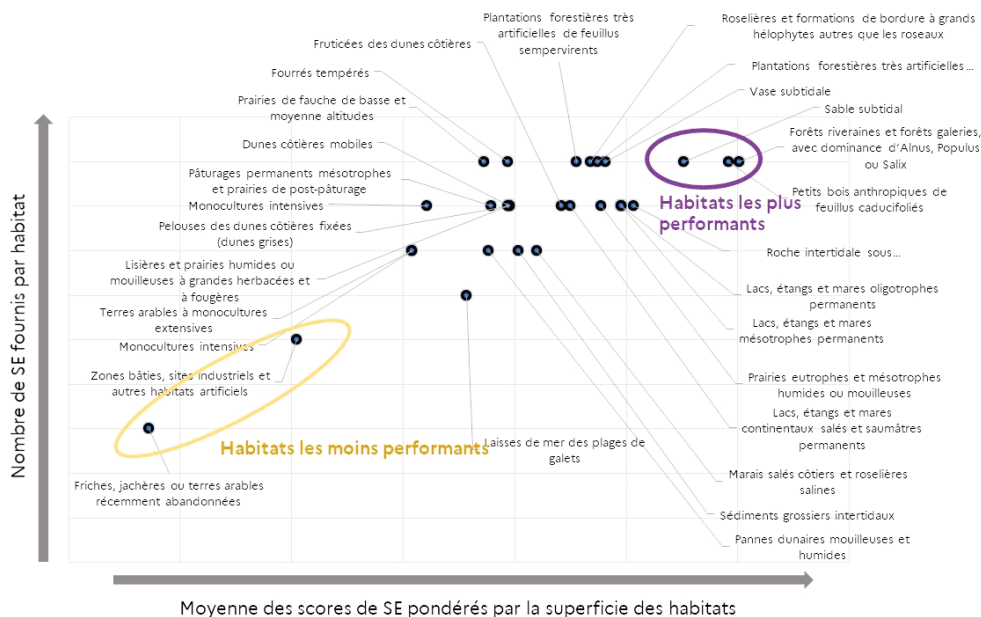


Figure 31 : identification des habitats fournissant le plus grand nombre de SE différents et une capacité en SE élevée.



5. Discussion

Le but de ce guide est de présenter une méthode simple, facilement utilisable et adaptable pour tous les types de projets, plans ou programmes et pour une application simple ou avec plusieurs niveaux de complexifications. De plus, une démarche évolutive est prévue avec des améliorations et compléments en fonction de l'évolution des connaissances, des retours d'expériences, de la réglementation ou des publications scientifiques sur le sujet.

Les exemples d'application de la méthodologie effectués par les bureaux d'études Auddicé biodiversité et Biotope, sont les premiers à être produits.

La biodiversité est prise au sens large, c'est-à-dire du gène au paysage et couvre la totalité des composantes biotiques des écosystèmes. Dans ce cas, l'ensemble des services dépendent de la biodiversité.

Limites

Inhérentes aux études et méthodologies, plusieurs limites ont été identifiées qu'il convient de prendre en compte dans l'utilisation et l'interprétation des résultats.

Limites de la méthode proposée

En se focalisant sur les services écosystémiques liés à l'écosystème et son

emprise spatiale via l'occupation du sol, les services écosystémiques qui ne sont pas liés à l'occupation du sol ou à une proportion surfacique ne sont pas ou mal pris en compte.

Par exemple, pour les projets éoliens, l'approche par l'occupation du sol peut être modérément pertinente, car les éoliennes impactent davantage les espèces par des perturbations directes (mortalité) et indirectes (éloignement par dérangement) que par l'intégrité des écosystèmes au sol, hors la phase de mise en place. Ainsi l'impact de l'éolienne sur les services écosystémiques n'est pas aisément pris en compte dans une approche qui n'utiliserait que la matrice de capacité moyenne. D'autres méthodes d'évaluation doivent être envisagées, si des évidences sont acquises sur l'impact des éoliennes sur la biodiversité reliée à certains services, tels que la régulation des prédateurs des cultures ou la régulation des vecteurs de maladie.

Certains résultats scientifiques pointent également un effet des grands champs d'éoliennes sur le climat local du fait du brassage de l'air de surface. Il reste que des études complémentaires doivent être réalisées sur les impacts des projets éoliens sur différentes composantes de la biodiversité. Il est également possible de considérer

un impact sur la condition structurelle si par exemple la hauteur de végétation est modifiée lors de l'implantation et de la durée d'exploitation des éoliennes.

En dépit du développement important des recherches sur les services écosystémiques au cours de la dernière décennie, les réflexions restent toujours limitées par le manque de données sur l'impact de la condition des écosystèmes sur la fourniture en services écosystémiques.

Nous proposons dans ce guide une approche originale et qui s'appuie sur une synthèse des publications actuelles dans ce domaine. Notre approche est pragmatique et principalement qualitative. Des approches plus quantitatives seraient plus fragmentaires et dépasseraient largement le cadre des ressources allouées pour les études d'incidences sur l'environnement, pour rentrer dans le domaine de la recherche scientifique.

Limites des méthodes utilisées

Ce guide donne les grandes étapes à respecter lors d'une évaluation des services écosystémiques. La flexibilité de la méthodologie proposée permet d'utiliser, par exemple dans l'étape 2 de priorisation des services écosystémiques ou dans l'étape 4 de l'évaluation des services écosystémiques, diverses méthodes ou outils différents. Si des méthodes autres que celles détaillées dans ce guide sont utilisées, il est important de se référer aux instructions de leur mise en œuvre et d'identifier les limites propres à celles-ci pour pouvoir les prendre en compte dans l'utilisation et l'interprétation des résultats.

Limites de l'évaluation des services écosystémiques via la matrice de capacité

L'approche des matrices de capacité étant de plus en plus utilisée, les limites sont de plus en plus évaluées, mises en avant et considérées pour les réduire au maximum. Elles sont présentées en détail dans le rapport 2019 sur l'évaluation des services écosystémiques de la région Haut-de-France via la matrice de capacité ainsi que dans les travaux de thèses de Sylvie Campagne (2018).

La typologie d'écosystèmes utilisée dans l'évaluation des services écosystémiques de la région Hauts-de-France pour la matrice de capacité est plus ou moins pertinente, selon les services écosystémiques et surtout, selon la précision requise. Des grands types d'écosystèmes peuvent suffire pour une évaluation du service de séquestration du carbone, mais pour la distinction entre la fourniture de bois d'œuvre (services Matériaux et Fibres) et la fourniture du bois à vocation énergétique, il faudrait aller jusqu'à la distinction des écosystèmes forestiers en fonction des espèces. De même l'occupation du sol ne permet pas de faire la distinction entre les différents types de cultures et les différents modes de gestion alors que l'impact sur les services écosystémiques produits est élevé.

Il peut être souvent reproché aux évaluations fondées sur des avis d'experts, d'être limitées par la compréhension et l'interprétation des experts, ainsi que par un certain nombre de biais cognitifs et sociaux. Ces sources d'erreurs sont connues et ont été considérées soigneusement dans l'évaluation régionale. En suivant une

approche soigneusement conçue, l'impact de certains biais spécifiques peut être réduit.

Certains services écosystémiques et types d'écosystèmes sont plus difficiles à définir ou moins connus, ce qui peut donner lieu à des interprétations différentes. En outre, la distinction entre les différentes composantes des services écosystémiques (offre, capacité, utilisation, demande, etc.) peut également donner lieu à des interprétations hétérogènes. L'organisation de d'un atelier de notation à dire d'expert et son animation jouent un rôle important dans le traitement de ces limitations.

La construction d'une compréhension partagée entre les experts est une phase cruciale qu'il convient de bien conduire, car elle détermine la qualité des notations obtenues. Par définition, il ne s'agit pas de mesures, mais d'un score plausible basé sur les meilleures connaissances des experts mobilisés.

On considère implicitement que les données provenant d'indicateurs ou de modèles fourniraient de meilleures estimations de la valeur biophysique des SE, car les scores des experts sont subjectifs et dépendent des préférences des experts, et ne sont donc pas fiables. Pour tester cette hypothèse, nous avons comparé dans l'article Roche et Campagne (2019), en utilisant la régression linéaire et la régression géographiquement pondérée (GWR), les scores des SE de la matrice de la région Hauts-de-France pour sept SE avec huit indicateurs biophysiques quantitatifs spatiaux à l'échelle du paysage pour la région Hauts-de-France. Nous avons obtenu une régression li-

néaire r^2 statistiquement significative entre 0,03 et 0,76 et une GWR r^2 entre 0,56 et 0,81. Les cartes chaud-froid produites à partir des scores des experts et des indicateurs quantitatifs étaient fortement corrélées. Nous concluons que l'utilisation des connaissances d'experts par l'approche matricielle donne des résultats très proches de ceux des approximations quantitatives ou des modèles biophysiques pour l'évaluation des SE au niveau régional, en particulier lorsqu'il est nécessaire d'évaluer de nombreux SE et dans des territoires où les données sont fragmentaires ou rares.

Enfin, l'approche via la matrice de capacité ne prend pas en compte les compromis et synergies entre les services écosystémiques lors de leur évaluation, alors qu'ils forment un réseau d'interactions. Cependant, la matrice de capacité peut fournir des données de base pour l'analyse des compromis et synergies. La représentation par bouquets de services permet une visualisation, mais pas une évaluation dynamique des compromis.

Perspectives

De nombreuses perspectives sont possibles pour cette méthodologie et pour la prise en compte des services écosystémiques dans les évaluations des incidences sur l'environnement.

Nous nous focalisons dans ce guide sur l'évaluation et la prise en compte de l'offre en services écosystémiques alors que d'autres composantes pourraient être prises en compte telles que l'usage ou la demande en services écosystémiques. L'évaluation de l'offre et de l'usage en services permet, par exemple, d'évaluer la durabilité des

services écosystémiques et ainsi permettrait d'évaluer l'impact du PPP sur cette durabilité.

Au côté des SE, les disservices – les services écosystémiques ayant un impact négatif sur l'homme et son bien-être découlant des caractéristiques des écosystèmes qui sont économiquement, socialement défavorables, ou qui mettent en danger la santé ou même la vie – devraient être pris en compte. En effet, l'identification de disservices permet aux gestionnaires et aux parties prenantes d'aborder, de gérer et éventuellement d'atténuer de façon explicite les problèmes de certains effets négatifs des processus écosystémiques. Mais la prise en compte des disservices permet également une vision plus objective de la nature qui n'est pas exclusivement pourvoyeuse de bénéfices.

De plus, cela permettrait aussi de comprendre l'interdépendance des services et disservices entre eux et l'impact des PPP sur les disservices ce qui est pertinent pour l'élaboration des politiques publiques. De plus en plus de matrices de capacité comprennent des disservices et mettent en avant l'intérêt d'une évaluation des conjoints services et disservices pour avoir une vision exhaustive de la relation homme-nature. Par exemple, l'évaluation des services écosystémiques du territoire du PNR de Scarpe-Escaut fait en 2016 contenait 6 disservices (Morsures et attaques Pollen et spores allergéniques, plantes et champignons toxiques et/ou irritants, Réservoir de maladie vectorielle, Dommages sur les infrastructures, Dommages sur les activités humaines et Li-

bération de carbone).

Comme l'exprime les exemples, la délimitation de la zone d'étude peut avoir des conséquences importantes sur l'analyse de l'impact sur les SE. Il est important d'avoir au moins deux niveaux d'évaluation, un correspondant à ce qu'on appelle généralement l'aire d'étude immédiate et un niveau plus large. L'impact d'un PPP sur les SE peut paraître faible lorsqu'il est considéré par rapport à un grand territoire. Toutefois, cette échelle d'analyse est importante et devrait englober tous les PPP connus impactant ce territoire. La présente méthode peut être utilisée pour étudier les effets cumulés sur les SE.

Des exemples supplémentaires pourront être produits et annexés au guide afin d'illustrer cette démarche.

À long terme, l'objectif est de développer la méthodologie pour aller plus loin dans la prise en compte des services écosystémiques dans l'application de la séquence ERc. Ce guide présente une méthode pour évaluer les services écosystémiques, dont certaines étapes sont à répéter lors de l'étude de chaque scénario/variante afin de s'inscrire pleinement dans l'évitement.

Selon l'évolution de la jurisprudence, il pourrait être intégré des recommandations sur les services à évaluer systématiquement ou dont les impacts finaux doivent être nuls ou positifs. Lors de la discussion de la loi biodiversité à l'Assemblée nationale, il avait déjà été évoqué des services « essentiels », tels que la régulation du climat et la pollinisation. Il semble que les services de régulation soient souvent

considérés avec plus d'attention, sans doute parce qu'ils sont plus proches des fonctions écologiques, concept moins anthropocentré.

6. Références bibliographiques

Références sur les services écosystémiques

Notions et informations générales sur les services écosystémiques

Common International Classification of Ecosystem Services (CICES V5.1 (<https://cices.eu/resources/> - lien)

EFESE, 2015. Volume 1 : Objectifs, Cadre conceptuel et Glossaire analytique. Théma, FRB, MEDDE, Commissariat général au développement durable, juin 2015, 96p.

EFESE, 2016a. EFESE L'essentiel du cadre conceptuel. Théma, FRB, MEDDE, Commissariat général au développement durable, juin 2016, 4p.

EFESE, 2016b. Objectifs et gouvernance. Théma, FRB, MEDDE, Commissariat général au développement durable.

EFESE, 2017. Cadre conceptuel. Théma, FRB, MEDDE, Avril 2017. 88p. doi:10.1787/9789264006478-3-fr

European Commission, 2013. Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services : An analytical framework for ecosystem assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020. doi:10.2779/12398

IPBES, 2019. Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). IPBES secretariat, Bonn, Germany.

IPBES, 2017. « About IPBES », Inter-

governmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), www.ipbes.net (consulté le 25 mars 2017)

Maes, J., et al., 2013. Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. An analytical framework for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020. Publication office of the European Union, Commission européenne, Luxembourg.

MEA, 2005. Millenium Ecosystem Assessment. Island Press, Washington D.C.

Millenium Ecosystem Assessment (MEA), 2005, Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington D.C www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf

TEEB Foundations, 2010. The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations. Earthscan, London and Washington (422p).

TEEB in Policy, 2010. The Economics of Ecosystems and Biodiversity for Local and Regional Policy Makers. 250p.

Livres

Burkhard, B., Maes, J. (Eds), 2017. Mapping Ecosystem Services. Pensoft Publishers, Sofia. p. 374.

Méral, P., Pesche, D., 2016. Les services écosystémiques Repenser les relations Nature et société., Ed. Quae (Nature et Société), Paris, 298p.

Roche, P.K., Geijzenborffer, I.R., Levrel, H., Maris, V. (Eds.), 2016. Valeurs de

La Biodiversité et Services Écosystémiques : Perspectives Interdisciplinaires, Collection Update Sciences et Technologies, Ed. Quae, Paris, 218p. pp. 191–216.

Sites internet à consulter :

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/fr/>

ESMERALDA : catalogue exhaustif des méthodes d'évaluation des SE est disponible (en anglais) dans les rapports du projet disponible sur le site <http://www.esmeralda-project.eu/documents/1/> (par exemple le rapport D4.2 fait une revue de toutes les méthodes économiques) et des exemples et fiches descriptives sont disponibles dans la base de données en ligne <http://database.esmeralda-project.eu/methods>

Échelle des services écosystémiques

Geijzendorffer, I., Roche, P.K., 2014. The relevant scales of ecosystem services demand. *Ecosyst. Serv.* 10, 49–51. doi:10.1016/j.ecoser.2014.09.002

Intéractions entre les services : bouquets et synergies

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. *Glob. Environ. Chang.* 28, 298–308. doi:10.1016/j.gloenvcha.2014.07.012

Larondelle, N., Haase, D., 2013. Urban ecosystem services assessment along a rural-urban gradient: A cross-analysis of European cities.

Ecol. Indic. 29, 179–190. doi:10.1016/j.ecolind.2012.12.022

Campagne, C.S., 2018. Les bouquets de services, in : *EFES - Les Milieux Humides et Aquatiques Continentaux*, 248p. Thema.

Différentes méthodes d'évaluation des services

Bagstad, K.J., Villa, F., Batker, D., Harrison-cox, J., Voigt, B., Johnson, G.W., 2014. From theoretical to actual ecosystem services: mapping beneficiaries and spatial flows in ecosystem service assessments. *Ecol. Soc.* 19, 64. doi:10.5751/ES-06523-190264

Burkhard, B., De Groot, R., Costanza, R., Seppelt, R., Jørgensen, S.E., Potschin, M., Costanza, R., Burkhard, B., De Groot, R., Seppelt, R., 2012. Solutions for sustaining natural capital and ecosystem services. *Ecol. Indic.* 21, 1–6. doi:10.1016/j.ecolind.2012.03.008

Burkhard, B., Santos-Martin, F., Nedkov, S., & Maes, J., 2018. An operational framework for integrated Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services (MAES). *One Ecosystem*, 3, e22831. doi:10.3897/oneeco.3.e22831

Cabral, P., Feger, C., Levrel, H., Chambolle, M., & Basque, D., 2016. Assessing the impact of land-cover changes on ecosystem services: A first step toward integrative planning in Bordeaux, France. *Ecosystem Services*, 22, 318–327. doi:10.1016/j.ecoser.2016.08.005

Costanza, R., Arge, R., Groot, R. De, Farberk, S., Grasso, M., Hannon, B., ... van den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*,

- 387(May), 253–260. doi:10.1038/387253a0
- Harrison, P.A., Dunford, R., Barton, D.N., Kelemen, E., Martin-Lopez, B., Norton, L., Termansen, M., Saarikoski, H., Hendriks, K., Gomez-Baggethun, E., Czúcz, B., Garcia-Llorente, M., Howard, D., Jacobs, S., Karlsen, M., Kopperoinen, L., Madsen, A., Rusch, G., Eupen, M. van, Verweij, P., Smith, R., Tuomasjukka, D., Zulian, G., 2017. Selecting methods for ecosystem service assessment: A decision tree approach. *Ecosyst. Serv.* submitted, 21–23. doi:10.1016/j.ecoser.2017.09.016
- Morelli, F., Jiguet, F., Sabatier, R., Dross, C., Princé, K., Tryjanowski, P., & Tichit, M., 2017. Spatial covariance between ecosystem services and biodiversity pattern at a national scale (France). *Ecological Indicators*, 82(July), 574–586. doi:10.1016/j.ecolind.2017.04.036
- Santos-martín, F., Martín-lópez, B., Kelemen, E., Jacobs, S., García-llorente, M., Barton, D., ... Heiva, V., 2016. *Social Assessment Methods and Applications*.
- Teixeira, H., Lillebø, A. I., Culhane, F., Robinson, L., Trauner, D., Borgwardt, F.,... Nogueira, A. J. A., 2019. Linking biodiversity to ecosystem services supply: Patterns across aquatic ecosystems. *Science of the Total Environment*, 657(December 2018), 517–534. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.11.440
- Les services écosystémiques de la région Hauts-de-France et méthode des matrices**
- Baró F., Gómez-Baggethun E., Haase D., 2017. Ecosystem service bundles along the urban-rural gradient: Insights for landscape planning and management. *Ecosystem Services* 24: 147-159. doi:10.1016/j.ecoser.2017.02.021
- Burdon D., Potts T., Barbone C., Mander L., 2017. The matrix revisited: A bird's-eye view of marine ecosystem service provision. *Marine Policy* 77: 78-89. doi:10.1016/j.marpol.2016.12.015
- Burkhard, B., Kandziora, M., Hou, Y., Müller, F., 2014. Ecosystem Service Potentials, Flows and Demands – Concepts for Spatial Localisation, Indication and Quantification. *Landsc. Online* 32, 1–32. doi:10.3097/LO.201434
- Campagne, C. S., Lefort, T. and Roche P.K., 2019. Approche participative de l'évaluation des services écosystémiques rendus par les habitats du Parc naturel régional Scarpe-Escaut. *Documents Phytosociologiques*
- 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. *One Ecosyst.* 3, e24134. doi:10.3897/oneeco.3.e24134
- Campagne, C.S., Roche, P., Gosselin, F., Tschanz, L., Tatoni, T., 2017. Expert-based ecosystem services capacity matrices: Dealing with scoring variability. *Ecol. Indic.* 79, 63–72. doi:10.1016/j.ecolind.2017.03.043
- Campagne, C.S., 2018. Évaluation des services écosystémiques par la méthode des matrices de capacité : analyse méthodologique et applications à l'échelle régionale. Thèse soutenue le 4 Novembre 2018, Université Aix Marseille. 365p.
- Jacobs, S., Burkhard, B., Van Daele, T., Staes, J., Schneiders, A., 2014. "The

- Matrix Reloaded": A review of expert knowledge use for mapping ecosystem services. *Ecol. Modell.* 295, 21–30. doi:10.1016/j.ecolmodel.2014.08.024
- Gorn L., Kleemann J., Fürst C., 2018. Improving the matrix-assessment of ecosystem services provision—the case of regional land use planning under climate change in the Region of Halle, Germany. *Land* 7 (2). doi:10.3390/land7020076
- Kamlun K.U., Arndt R.B., 2019. Expert-based approach on mapping ecosystem services potential supply incircling a protected areas by integrating matrix model assessment. *Journal of Physics: Conference Series* 1358. doi:10.1088/1742-6596/1358/1/012032
- Elliott R., Motzny A., Majd S., Chavez F.V., Laimer D., Orlove B., Culligan P., 2019. Identifying linkages between urban green infrastructure and ecosystem services using an expert opinion methodology. *Ambio* 49 (2): 569–583. doi:10.1007/s13280-019-01223-9

Références liées aux étapes de la méthode

- Des méthodes disponibles à différentes échelles à l'international :
- Claudia, J., Rosa, S., Luis, E.S., 2016. Advances and challenges of incorporating ecosystem services into impact assessment. *J. Environ. Manage.* 180, 485–492. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.05.079>
- Honrado, J.P., Vieira, C., Soares, C., Monteiro, M.B., Marcos, B., Pereira, H.M., Partidario, M.R., 2013. Can we infer about ecosystem services from EIA and SEA practice? A framework for analysis and examples

- from Portugal. *Environ. Impact Assess. Rev.* 40, 14–24. doi:10.1016/j.eiar.2012.12.002
- Landsberg, F., Treweek, J., Stickler, M.M., Henninger, N., Venn, O., 2013. Weaving ecosystem services into impact assessment. *A step-By-Step Method (Version 1.0)* 46.
- Partidario, M.R., Gomes, R.C., 2013. Ecosystem services inclusive strategic environmental assessment. *Environ. Impact Assess. Rev.* 40, 36–46. doi:10.1016/j.eiar.2013.01.001
- Söderman, T., n.d. Biodiversity and ecosystem services in impact assessment - from components to services.
- Sonter, L.J., Gordon, A., Archibald, C., Simmonds, J.S., Ward, M., Metzger, J.P., Rhodes, J.R., Maron, M., 2020. Offsetting impacts of development on biodiversity and ecosystem services. *Ambio* 49, 892–902. doi:10.1007/s13280-019-01245-3
- Sousa, P., Gomes, D., Formigo, N., 2020. Ecosystem services in environmental impact assessment. *Energy Reports* 6, 466–471. doi:10.1016/j.egyr.2019.09.009
- Tardieu, L., Roussel, S., Thompson, J.D., Labarraque, D., Salles, J.-M., 2015. Combining direct and indirect impacts to assess ecosystem service loss due to infrastructure construction. *J. Environ. Manage.* 152, 145–157. doi:10.1016/j.jenvman.2015.01.034
- Tardieu L. 2017 The need for integrated spatial assessments in ecosystem service mapping. *Rev Agric Food Environ Stud.* 2017. 98:173–200. doi:10.1007/s41130-017-0054-5

Références sur la condition des écosystèmes

- Balvanera, P., Pfi sterer, A.B., Buch-

- mann, N., He, J.S., Nakashizuka, T., Raffaelli, D. & Schmid, B., 2006. Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters* 9, 1146–1156
- Buchmann, N., Balvanera, P., Pfisterer, A.B., Buchmann, N., He, J.-S., Nakashizuka, T., Raffaelli, D., Schmid, B., 2006. Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecol. Lett.* 9, 1146–56. doi:10.1111/j.1461-0248.2006.00963.x
- Chapin, F.S., Polasky, S., Kinzig, A.P., Smith, V.K., Turner, B.L., Perrings, C., Tilman, D., Chapin, F.S., Polasky, S., Smith, V.K., Tilman, D., Turner, B.L., 2011. Paying for Ecosystem Services—Promise and Peril. *Science* (80-.). 334, 603–604. doi:10.1126/science.1210297
- Chen, L., Pei, S., Liu, X., Qiao, Q., Liu, C., 2021. Mapping and analysing tradeoffs , synergies and losses among multiple ecosystem services across a transitional area in Beijing , China. *Ecol. Indic.* 123, 107329. doi:10.1016/j.ecolind.2020.107329
- Maskell, L.C., Crowe, A., Dunbar, M.J., Emmett, B., Henrys, P., Keith, A.M., Norton, L.R., Scholefield, P., Clark, D.B., Simpson, I.C., Smart, S.M., 2013. Exploring the ecological constraints to multiple ecosystem service delivery and biodiversity. *J. Appl. Ecol.* 50, 561–571. doi:10.1111/1365-2664.12085
- McLaughlin, D.L., Cohen, M.J., Resources, F., Hall, N., McLaughlin, D.L., Cohen, M.J., 2013. Realizing ecosystem services: Wetland hydrologic function along a gradient of ecosystem condition Daniel L. McLaughlin* and Matthew J. Cohen. *Ecol. Appl.* 23, 1619–1631. doi:10.1890/12-1489.1
- Peterson, M.J., Hall, D.M., Feldpausch-Parker, A.M., Peterson, T.R., 2010. Obscuring ecosystem function with application of the ecosystem services concept: Essay. *Conserv. Biol.* 24, 113–119. doi:10.1111/j.1523-1739.2009.01305.x
- Raudsepp-Hearne, C., Peterson, G.D., Tengö, M., Bennett, E.M., Holland, T., Benessaiah, K., MacDonald, G.K., Pfeifer, L., 2010. Untangling the Environmentalist’s Paradox: Why Is Human Well-being Increasing as Ecosystem Services Degrade? *Bioscience* 60, 576–589. doi:10.1525/bio.2010.60.8.4
- Vargas, L., Willems, L., Hein, L., 2018. Assessing the Capacity of Ecosystems to Supply Ecosystem Services Using Remote Sensing and An Ecosystem Accounting Approach. *Environ. Manage.* doi:10.1007/s00267-018-1110-x
- Worm, B., Edward B. Barbier, Nicola Beaumont, J. Emmett Duffy, Car l Folke, Benjamin S. Halpern, Jeremy B. C. Jackson, Heike K. Lotze, Fiorenza Micheli, Stephen R. Palumbi, Enric Sala, Kimberley A. Selkoe, John J. Stachowicz, 2006. Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services. *Science.* 314, 787–791.

7. Annexes

Annexe 1 : Typologie et codes des services écosystémiques pour l'évaluation des Hauts-de-France

125

Catégorie de Service	Nom du Service	Code
Services de régulation et d'entretien	Régulation du climat et de la composition atmosphérique	SR1
	Régulation des animaux vecteurs de maladies pour L'homme	SR2
	Régulation des ravageurs	SR3
	Offre habitat, de refuge et de nursery	SR4
	Pollinisation et dispersion des graines	SR5
	Maintien de la qualité des eaux	SR6
	Maintien de la qualité du sol	SR7
	Contrôle de l'érosion	SR8
	Protection contre les tempêtes	SR9
	Régulation des inondations et des crues	SR10
	Limitation des nuisances visuelles, olfactives et sonores	SR11
Services d'approvisionnement	Production végétale alimentaire cultivée	SA1
	Production animale alimentaire élevée	SA2
	Ressource végétale et fongique alimentaire sauvage	SA3
	Ressource animale alimentaire sauvage	SA4
	Eau douce	SA5
	Matériaux et fibres	SA6
	Ressource secondaire pour l'agriculture/ alimentation indi-	SA7
	Composées et matériel génétique des êtres vivants	SA8
	Biomasse à vocation énergétique	SA9
Services culturels	Emblème ou symbole	SC1
	Héritage (passé et futur) et existence	SC2
	Esthétique	SC3
	Activités récréatives	SC4
	Connaissance et éducation	SC5

Annexe 2 : Matrice de capacité basse - Hauts de France.

		HABITAT																									
Code		SRI	SR2	SR3	SR4	SR5	SR6	SR7	SR8	SR9	SR10	SR11	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	SA7	SA8	SA9	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	
H1	Eaux douces	1,6	0,1	0,0	2,9	0,3	0,5	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	1,6	0,0	2,9	0,3	0,0	0,0	0,7	0,0	2,2	2,8	3,1	3,3	2,8	
H2	Fonds ou rivages des plans d'eau non végétalisés	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,3	
H3	Végétations aquatiques	0,8	0,0	0,0	2,9	0,3	2,1	0,8	0,4	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,3	0,7	1,4	0,0	1,4
H4	Eaux courantes	1,1	0,7	0,0	2,1	1,7	1,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,4	0,0	3,1	3,3	0,0	0,0	0,4	0,0	2,4	2,1	3,2	3,2	2,6	
H5	Végétations immergées	0,9	0,0	0,1	2,8	0,2	2,4	0,8	0,4	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	0,8	0,0	1,3		
H6	Végétations de ceinture des bords des eaux	1,6	0,0	0,3	3,6	1,6	3,1	2,3	2,4	0,0	1,4	0,8	0,0	0,0	0,9	0,0	0,5	0,4	1,2	0,1	1,3	1,5	2,0	0,2	1,7		
H7	Bas marais, tourbières de transition, sources	1,8	0,0	0,3	3,1	1,6	2,7	2,5	1,7	0,0	3,2	0,3	0,0	0,2	1,3	1,5	0,0	0,5	1,9	0,9	2,3	3,1	2,5	1,0	2,9		
H8	Steppes et prairies calcaires sèches	0,6	1,1	1,1	1,8	2,0	0,5	1,6	1,2	0,0	0,1	0,1	0,0	0,5	0,0	0,7	0,0	0,5	1,3	0,0	1,2	1,4	1,9	0,6	1,5		
H9	Prairies acides et dunes fossiles	0,5	0,9	0,8	1,3	1,6	0,8	1,6	1,2	0,0	0,2	0,3	0,0	0,1	0,1	0,8	0,0	0,0	0,2	0,9	0,0	0,7	1,2	1,6	0,4	1,2	
H10	Listiers humides à grandes fougères	1,4	0,5	1,0	2,9	2,5	1,8	2,8	2,0	0,0	2,0	0,6	0,0	0,0	0,3	1,0	0,3	0,1	0,7	1,5	0,0	0,4	0,8	1,3	0,0	1,3	
H11	Prairies humides	1,6	0,5	1,0	2,7	2,3	2,5	2,5	2,0	0,0	2,9	0,2	0,0	2,1	1,0	1,7	0,7	0,1	1,6	1,8	0,0	1,7	2,1	2,1	0,6	2,1	
H12	Prairies mésophiles	1,2	0,7	0,9	1,9	2,2	1,7	2,1	1,9	0,0	1,2	0,2	0,0	2,2	1,0	1,1	0,0	0,1	1,9	1,3	0,0	0,5	0,8	1,3	0,4	1,1	
H13	Prairies à fourrage des plaines	1,3	0,8	0,9	1,6	1,7	0,9	1,6	1,6	0,0	0,8	0,1	0,0	1,7	0,3	1,3	0,0	0,2	3,0	0,8	0,2	0,7	0,7	1,1	0,3	0,9	
H14	Prairies améliorées	1,0	0,7	0,7	1,2	1,5	0,6	1,2	1,6	0,0	0,8	0,1	0,0	1,7	0,0	1,1	0,0	0,0	2,2	0,4	0,1	0,1	0,2	0,4	0,2	0,5	
H15	Cultures	0,5	0,5	0,0	1,0	0,7	0,0	1,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	1,8	0,0	2,3	2,7	0,5	2,2	0,6	0,3	0,2	1,1	
H16	Bandes enherbées	1,0	0,7	1,4	1,7	2,1	1,9	2,0	1,7	0,0	1,1	0,3	0,0	0,1	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,2	0,0	1,4	
H17a	Verger	1,1	0,7	0,6	1,8	2,3	0,5	1,3	1,5	0,3	0,4	0,7	3,1	0,2	0,2	1,0	0,0	0,1	0,5	0,9	0,2	1,3	2,1	2,0	0,4	1,7	
H17b	Verger	0,6	0,6	0,4	0,2	0,6	0,0	0,3	0,4	0,0	0,0	0,2	3,5	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	1,8	2,2	1,6	0,1	1,5
H18	Landes	1,2	0,9	1,4	2,1	2,0	1,2	1,7	1,7	0,2	0,5	0,6	0,0	0,5	0,9	0,0	0,2	0,1	1,1	0,1	1,2	1,6	1,9	0,9	1,4		
H19	Fourrés	1,7	0,8	1,5	2,8	2,0	1,3	2,0	2,0	0,5	0,8	1,0	0,0	1,2	1,8	0,0	0,5	0,3	1,4	1,0	0,2	0,3	0,6	0,6	0,6		
H20	Forêts caducifolies	3,9	0,4	1,2	3,3	1,9	2,4	3,0	3,1	2,2	1,4	2,6	0,0	2,4	2,6	0,0	2,4	0,3	2,4	3,5	2,5	2,8	3,3	3,2	3,2		
H21	Forêts feuillues, forêts et fourrés très humides	3,3	0,4	1,2	3,4	2,1	2,9	2,9	3,2	2,5	2,3	3,0	0,0	1,8	2,1	0,2	2,4	0,1	2,0	2,8	1,3	1,9	2,4	2,3	2,1		
H22	Plantations de feuillus et indécidimées	2,9	0,4	0,8	1,9	1,6	2,0	2,1	2,6	1,6	1,1	2,5	0,0	1,1	1,9	0,1	3,1	0,1	1,3	3,5	0,5	0,6	0,9	1,5	1,6		
H23	Plantations de conifères	2,5	0,5	0,8	1,8	1,1	1,4	1,2	2,4	1,8	1,0	2,7	0,0	1,0	1,2	0,0	3,0	0,0	1,1	3,1	0,4	0,4	0,8	1,6	1,5		
H24	Haleis, alignements d'arbres	1,9	0,9	1,7	2,9	2,7	1,9	2,4	2,8	2,4	1,3	2,8	0,0	2,4	2,2	0,0	1,5	0,2	1,1	2,2	2,0	2,2	2,3	1,1	2,4		
H25	Parcs urbains et grands jardins	1,1	0,5	0,5	1,6	2,1	0,7	1,1	0,7	0,5	0,2	2,6	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	1,9	2,0	3,1	1,8		
H26	Prairies à métaux lourds	0,4	0,5	0,0	0,6	0,9	0,0	0,0	0,4	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	
H27	Espaces bâtis et urbains effrus	0,0	0,3	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,7	0,6	0,7	0,3	
H28	Carrières en activité	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
H29	Carrières abandonnées	0,3	0,2	0,1	1,6	0,9	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,4	0,5	1,0	
H30	Terrils	0,0	0,1	0,1	1,1	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	2,6	1,3	1,5	2,2	
H31	Fiches et abords de voies de communication	0,0	0,3	0,2	1,1	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
H32	Lagunes et réservoirs industriels	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
H33	Réseaux routiers et ferroviaires	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
H34a	Mers et océans - Gravelles	2,1	0,1	0,0	1,9	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	3,2	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	2,1	1,5	3,1	2,9	2,8	
H34b	Mers et océans - Sableux	2,6	0,2	0,0	2,3	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1	3,2	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	2,4	1,5	3,1	3,0	3,1	
H34c	Récifs	0,6	0,1	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	1,1	0,0	1,8	1,9	2,6	1,8	2,9		
H35	Estuaires et portions de fleuves et rivières soumis à marées	2,0	0,2	0,0	2,6	0,6	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	2,8	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	2,6	2,2	3,2	2,6	3,0		
H36	Habitats côtiers soumis à marées	1,0	0,1	0,0	2,7	0,8	0,9	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	2,4	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	1,7	2,0	3,0	2,8	2,7		
H37	Dépressions humides dunaies	0,6	0,0	0,0	2,0	0,7	0,8	0,0	0,4	0,0	0,2	0,0	0,0	0,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	1,4	2,0	1,5	2,0		
H38	Plages de sables	0,0	0,2	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,3	3,0	3,4	1,5		
H39	Plages de galets	0,0	0,2	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	2,1	3,6	2,9	1,4		
H40	Côtes rocheuses et falaises	0,0	0,3	0,0	2,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	3,0	2,7	3,8	2,4	2,1		
H41	Dunes blanches et grises	0,0	0,3	0,0	1,5	0,4	0,2	0,0	0,5	0,9	0,0	0,5	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	2,5	2,2	3,2	2,3	2,1		
H42	Dunes arbustives et arborées	1,3	0,1	0,1	2,4	1,5	0,8	0,6	1,2	1,4	0,2	1,2	0,0	0,3	0,6	0,0	0,4	0,0	0,0	0,6	0,0	2,1	2,1	2,4	1,9	1,9	

Annexe 4 : Matrice de capacité haute - Hauts de France.

HABITAT		SR1	SR2	SR3	SR4	SR5	SR6	SR7	SR8	SR9	SR10	SR11	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	SA7	SA8	SA9	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5			
Habitats aquatiques		H1	Eaux douces	40	27	28	50	31	39	27	21	13	43	29	20	38	25	50	50	17	28	41	16	46	49	48	50	48	
		H2	Fonds ou rivages des plans d'eau non végétalisés	20	25	24	40	16	33	23	11	03	23	18	08	18	09	27	36	13	15	31	05	19	26	31	27	34	
		H3	Végétations aquatiques	36	25	24	50	31	50	34	08	29	29	09	20	20	20	37	36	22	25	42	35	38	45	26	42		
		H4	Eaux courantes	42	35	32	48	44	47	28	19	10	37	34	19	35	22	49	50	12	26	39	26	48	50	50	50		
		H5	Végétations immergées	34	26	24	50	26	49	36	35	13	29	28	19	19	20	39	37	25	23	40	20	32	38	37	22	42	
		H6	Végétations de ceinture des bords des eaux	38	25	30	50	41	50	44	50	24	46	36	19	23	27	38	36	27	40	30	41	43	47	32	44		
		H7	Bas marais, tourbières de transition, sources	43	20	30	50	41	50	41	50	47	43	50	34	16	24	29	41	47	37	31	45	48	50	49	39	44	
		H8	Steppes et prairies calcaires sèches	27	37	38	46	47	34	40	39	12	26	23	11	37	26	32	22	25	34	41	20	47	48	49	33	47	
		H9	Prairies acides et dunes fossiles	28	33	36	43	41	34	39	38	14	28	27	10	33	25	32	20	25	32	19	42	46	44	31	45		
		H10	Prairies humides à grandes herbes	36	23	36	49	43	46	45	46	16	44	27	15	32	31	36	34	29	40	39	24	36	36	38	28	37	
		H11	Prairies humides	39	24	39	49	46	50	49	49	13	50	25	24	49	37	36	41	32	46	43	23	47	50	48	37	47	
		H12	Prairies mésophiles	34	30	38	44	44	44	44	41	41	24	21	26	50	34	37	32	32	50	39	33	36	39	41	25	39	
		H13	Prairies à fourrage des plaines	32	32	37	39	43	37	43	46	11	37	21	26	50	33	38	28	34	50	34	29	37	40	40	27	35	
		H14	Prairies améliorées	30	31	33	34	41	33	35	45	13	36	20	29	50	28	35	21	35	50	30	25	29	28	33	27	34	
		H15	Cultures	27	33	15	31	32	19	11	25	14	28	16	50	37	18	38	18	48	50	32	49	37	33	28	31	38	
		H16	Bandes emherbées	32	31	40	36	42	42	45	43	16	36	24	19	26	25	36	26	25	42	24	25	24	31	27	28	33	
		H17a	Vergers	35	30	32	41	46	29	38	42	33	30	35	50	31	31	36	26	37	31	29	43	46	45	31	44		
		H17b	Vignobles	27	28	26	27	36	19	28	32	23	22	28	50	16	20	31	19	30	29	32	21	47	44	43	28	41	
		H18	Landes	36	32	41	48	44	38	41	47	27	34	34	18	25	33	39	24	32	30	40	31	43	48	47	40	42	
		H19	Fourrés	40	29	39	50	45	40	45	50	37	37	40	17	22	40	42	26	37	28	40	39	29	33	36	29	37	
		H20	Forêts caducifoliées	50	28	38	50	48	49	50	50	46	50	17	16	50	50	40	50	30	49	50	50	50	50	50	48	50	
		H21	Forêts riveraines, forêts et fourrés très humides	50	27	38	50	47	50	50	50	49	50	50	13	16	46	48	42	50	26	46	50	47	50	50	48	50	
		H22	Plantations de feuillus et indeterninées	50	28	33	45	44	44	47	50	45	42	50	21	18	44	47	35	50	25	39	50	35	37	36	43	38	
		H24	Hales, alignements d'arbres	47	34	45	50	50	46	48	50	48	45	50	27	23	46	44	31	47	30	41	49	45	50	49	40	48	
		H25	Parcs urbains et grands jardins	38	35	32	40	43	34	39	37	35	32	49	28	15	26	22	22	30	22	30	30	43	48	47	50	42	
		H26	Prairies à métauu lourds	26	31	28	30	36	15	21	37	10	32	28	11	05	09	12	09	16	10	27	09	25	26	26	19	38	
		H27	Espaces bâtis et urbains diffus	05	38	29	23	17	03	03	11	26	03	10	14	17	07	08	09	12	08	10	14	40	37	40	40	33	
		H28	Carières en activité	13	31	24	18	14	12	12	07	05	20	08	04	06	04	13	14	39	06	13	14	15	16	13	08	28	
		H29	Carières abandonnées	25	25	30	42	33	26	23	23	03	23	08	11	23	29	29	18	19	26	14	30	30	23	31	40		
		H30	Terrils	23	30	29	40	35	15	18	12	22	09	22	13	19	26	12	33	18	34	24	50	50	50	43	39	48	
		H31	Friches et abords de voies de communication	17	28	30	29	35	19	16	25	19	14	17	08	07	25	24	10	16	15	25	23	23	25	10	16	25	
		H32	Lagunes et réservoirs industriels	15	20	20	30	21	20	02	15	07	05	31	10	10	10	13	22	39	06	06	19	06	18	16	11	12	25
		H33	Réseaux routiers et ferroviaires	02	33	22	08	17	02	02	08	02	11	03	11	11	00	12	02	02	02	08	12	12	19	10	14	18	
		H34a	Mers et océans - Gravelleux	50	34	20	48	23	40	17	16	09	24	38	15	39	32	50	34	26	21	50	22	50	50	50	50	50	
		H34b	Mers et océans - Sableux	45	36	18	50	17	37	22	26	25	12	32	07	28	27	50	17	15	11	50	21	50	50	50	47	50	
		H34c	Récifs	50	35	23	48	24	40	18	24	40	26	39	09	40	29	50	35	27	16	50	23	50	50	50	50	50	
		H35	Estuaires et portions de fleuves et rivières soumis à marées	46	32	24	50	33	41	31	25	17	34	32	11	31	31	50	32	20	24	46	23	50	50	50	50	50	
		H36	Habitats côtiers soumis à marées	38	29	22	48	29	37	31	28	32	31	25	37	40	50	22	23	21	45	18	50	50	50	50	50	50	
		H37	Dépressions humides dunaires	32	27	24	50	34	39	32	35	14	32	30	31	25	36	28	16	13	39	14	45	44	48	40	46		
		H38	Plages de sables	12	33	20	35	13	27	20	24	17	15	29	03	08	14	32	10	35	09	28	14	50	50	50	50	45	
		H39	Côtes rocheuses et falaises	12	34	19	36	15	26	22	29	17	30	06	08	15	30	10	38	09	28	13	50	50	50	50	46	49	
		H40	Côtes rocheuses et grises	19	35	24	45	27	28	23	33	39	21	37	15	31	17	25	31	17	25	08	34	12	50	50	50	49	
		H41	Dunes blanches et grises	19	30	26	44	33	29	28	37	40	25	40	11	11	21	33	19	24	13	35	18	49	50	50	47	49	
		H42	Dunes arbustives et arborées	40	26	28	44	36	34	36	36	43	46	32	45	14	15	26	37	22	28	21	37	30	46	48	50	41	45

Annexe 5 : Matrice des écarts-types des scores de la matrice de capacité - Hauts de France.

Code	HABITAT	HABITAT																									
		SR1	SR2	SR3	SR4	SR5	SR6	SR7	SR8	SR9	SR10	SR11	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	SA7	SA8	SA9	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	
H1	Eaux douces	0,6	0,6	0,7	0,5	0,7	0,8	0,7	0,6	0,5	0,8	0,7	0,6	0,5	0,8	0,7	0,6	0,5	0,8	0,7	0,6	0,5	0,8	0,7	0,6	0,5	0,8
H2	Fonds ou rivages des plans d'eau non végétalisés	0,5	0,6	0,7	0,7	0,5	0,8	0,6	0,3	0,1	0,6	0,6	0,3	0,6	0,3	0,7	1,0	0,5	0,5	0,8	0,2	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	
H3	Végétations aquatiques	0,7	0,6	0,6	0,5	0,7	0,7	0,6	0,7	0,3	0,6	0,7	0,3	0,6	0,6	0,7	0,9	0,6	0,7	0,7	0,6	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	
H4	Eaux courantes	0,8	0,7	0,8	0,6	0,7	0,9	0,7	0,6	0,3	0,8	0,8	0,6	0,8	0,7	0,4	0,6	0,4	0,8	0,9	0,8	0,6	0,8	0,4	0,5	0,6	
H5	Végétations immergées	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,5	0,6	0,7	0,4	0,6	0,5	0,8	1,0	0,7	0,6	0,7	0,6	0,8	0,8	0,7	0,6	0,7	
H6	Végétations de ceinture des bords des eaux	0,6	0,6	0,7	0,3	0,6	0,5	0,5	0,7	0,7	0,8	0,7	0,6	0,7	0,7	0,9	0,8	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	
H7	Bas marais, tourbières de transition, sources	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,8	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,7	0,8	0,6	0,5	0,6	0,7	0,7	0,5	0,6	
H8	Steppes et prairies calcaires sèches	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	0,6	0,6	0,3	0,6	0,6	0,4	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,5	0,9	0,9	0,7	0,8	
H9	Prairies acides et dunes fossiles	0,6	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,4	0,6	0,6	0,3	0,8	0,6	0,6	0,5	0,7	0,8	0,7	0,5	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	
H10	Prairies humides à grandes herbes	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,7	0,4	0,6	0,6	0,5	0,4	0,8	0,7	0,6	0,8	0,7	0,8	0,6	0,5	0,8	0,7	0,6	0,7	0,6	
H11	Prairies humides	0,6	0,5	0,7	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6	0,5	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,8	0,7	0,6	0,8	0,6	
H12	Prairies mésophiles	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7	0,3	0,7	0,6	0,8	0,8	0,6	0,8	0,8	0,6	0,6	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8	
H13	Prairies à fourrage des plaines	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,3	0,7	0,6	0,6	0,8	0,6	0,7	0,8	0,8	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,7	0,6	0,6	
H14	Prairies améliorées	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,7	0,4	0,7	0,5	0,8	0,9	0,7	0,6	0,6	0,8	0,8	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	
H15	Cultures	0,6	0,7	0,4	0,5	0,6	0,5	2,8	0,6	0,4	0,7	0,5	0,5	1,0	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,6	0,7	0,6	
H16	Bandes emherbées	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,6	0,7	0,5	
H17a	Verger	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,9	0,6	0,7	0,9	0,6	0,7	0,6	0,7	0,7	
H17b	Vignobles	0,5	0,6	0,5	0,6	0,8	0,5	0,6	0,6	0,7	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	0,8	0,7	0,5	0,7	0,5	0,6	0,7	0,6	
H18	Landes	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	
H19	Fourrés	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7	0,6	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,6	0,8	0,7	
H20	Forêts caducifoliées	0,3	0,6	0,6	0,5	0,7	0,6	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,6	0,4	0,5	0,7	0,6	1,0	0,7	0,7	0,6	0,5	0,7	0,6	0,5	0,5	
H21	Forêts riveraines, forêts et fourrés très humides	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,8	0,6	0,4	0,5	0,7	0,6	1,0	0,7	0,6	0,6	0,5	0,8	0,9	0,7	0,6	
H22	Plantations de feuillus et indéterminées	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,5	0,8	0,7	0,9	0,6	0,6	0,6	0,5	0,7	0,8	0,6	0,7	0,6	
H23	Plantations de conifères	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7	0,6	0,4	0,3	0,7	0,7	0,8	0,6	0,5	0,7	0,6	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	
H24	Hales, alignements d'arbres	0,7	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,6	0,8	0,7	0,5	0,5	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	
H25	Parcs urbains et grands jardins	0,6	0,8	0,7	0,6	0,5	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,6	0,7	0,4	0,6	0,6	0,6	0,8	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	
H26	Prairies à méteux lourds	0,5	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	0,5	0,6	0,8	0,3	0,7	0,8	0,4	0,2	0,3	0,4	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,7	0,7	0,6	0,9	
H27	Espaces bâtis et urbains diffus	0,2	0,9	0,8	0,4	0,4	0,4	0,1	0,4	0,7	0,1	0,3	0,5	0,6	0,2	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,2	0,5	0,8	0,7	0,8	0,8	
H28	Carrières en activité	0,5	0,7	0,7	0,4	0,4	0,5	0,5	0,2	0,2	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,4	0,5	1,1	0,2	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,7	
H29	Carrières abandonnées	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,8	0,7	0,3	0,6	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,4	0,7	0,7	0,5	0,6	
H30	Terrils	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,6	0,3	0,6	0,4	0,5	0,5	0,7	0,4	0,6	0,6	0,5	0,8	0,6	0,7	0,6	0,6	
H31	Friches et abords de voies de communication	0,4	0,6	0,7	0,4	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,4	0,5	0,3	0,3	0,6	0,7	0,3	0,5	0,4	0,7	0,6	0,6	0,7	0,3	0,4	0,6	
H32	Lagunes et réservoirs industriels	0,1	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,2	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,9	0,2	0,2	0,6	0,2	0,5	0,5	0,3	0,4	0,6	
H33	Réseaux routiers et ferroviaires	0,4	0,9	0,7	0,3	0,5	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,4	0,4	0,5	0,0	0,5	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	
H34a	Mers et océans - Graveloux	0,8	0,8	0,6	0,7	0,6	0,9	0,6	0,5	0,3	0,8	0,9	0,5	0,9	0,8	0,5	1,0	0,8	0,6	0,9	0,7	0,8	0,9	0,6	0,6	0,6	
H34b	Mers et océans - Sableux	0,7	0,8	0,7	0,6	0,6	0,9	0,6	0,5	0,3	0,8	0,9	0,3	0,9	0,7	0,5	1,0	0,8	0,5	0,9	0,7	0,7	0,9	0,6	0,6	0,5	
H34c	Récifs	1,0	0,9	0,6	0,7	0,5	0,8	0,7	0,7	0,7	0,5	0,8	0,9	0,2	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,4	1,0	0,5	0,9	0,8	0,7	0,6	
H35	Estuaires et portions de fleuves et rivières soumis à marées	0,6	0,8	0,7	0,7	0,6	0,8	0,8	0,7	0,5	0,9	0,8	0,4	0,8	0,7	0,6	0,9	0,6	0,7	0,9	0,8	0,6	0,8	0,5	0,6	0,5	
H36	Habitats côtiers soumis à marées	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,3	0,5	0,8	0,7	0,5	0,6	0,8	0,8	0,6	0,5	0,6	
H37	Dépressions humides dunaires	0,6	0,7	0,6	0,7	0,5	0,7	0,8	0,6	0,5	0,8	0,7	0,3	0,5	0,8	0,7	0,6	0,7	0,6	0,6	0,8	0,5	0,8	0,6	0,7	0,6	
H38	Plages de sables	0,3	0,8	0,6	0,6	0,3	0,7	0,6	0,7	0,5	0,5	0,8	0,1	0,3	0,4	0,8	0,4	0,9	0,3	0,7	0,5	0,8	0,7	0,5	0,6	0,8	
H39	Plages de galets	0,4	0,8	0,6	0,7	0,4	0,6	0,7	0,8	0,5	0,5	0,8	0,2	0,3	0,4	0,8	0,4	1,0	0,3	0,8	0,5	0,8	0,8	0,7	0,6	0,8	
H40	Côtes rocheuses et falaises	0,5	0,8	0,7	0,6	0,6	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,9	0,4	0,3	0,4	0,7	0,6	0,7	0,3	0,8	0,5	0,8	0,5	0,6	0,4	0,5	
H41	Dunes blanches et grises	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8	0,6	0,9	0,4	0,4	0,6	0,8	0,6	0,7	0,4	0,8	0,6	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	
H42	Dunes arbustives et arborées	0,6	0,6	0,7	0,5	0,5	0,6	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,5	0,5	0,6	0,8	0,7	0,6	0,5	0,8	0,8	0,8	0,6	0,7	0,7	0,5	

AUTEURS RÉDACTEURS:

C. Sylvie Campagne: Docteure en sciences de l'environnement, elle est chercheuse en écologie et spécialiste interdisciplinaire des systèmes socio-écologiques. Elle travaille sur l'évaluation des services écosystémiques depuis 2014. Elle est actuellement en Post-doctorat à la Station Biologique de Roscoff.

Philip K. Roche: Docteur en sciences, spécialité écologie et dynamique des populations végétales. Il est actuellement directeur de recherche à l'INRAE au sein de l'UMR RECOVER d'Aix-en-Provence. Ses recherches concernent la dynamique des écosystèmes en relation avec les activités humaines, le suivi spatial et temporel de la biodiversité et l'évaluation des services écosystémiques.

131

AUTEURS CONTRIBUTEURS:

Jérémy Bachmann (DREAL HDF), Nicolas Valet et Coralie Burrowet (Audiccé), Suzanne Cotillon et Florence Baptiste (Biotope).

Citer le guide:

Campagne, C.S. et Roche, P.K. 2021. Guide pour la prise en compte des services écosystémiques dans les évaluations des incidences sur l'environnement, Guide méthodologique, DREAL, 131 pages.

Directeur de publication : L. Tapadinhas, DREAL Hauts-de-France
Rédaction : C. Sylvie Campagne et Philip Roche
Contact : Philip Roche, philip.roche@inrae.fr
C.Sylvie Campagne, sylviecampagne@gmail.com
Jérémy Bachmann, jeremy.bachmann@developpement-durable.gouv.fr

Version 1 : Novembre 2021

ISBN papier : 978-2-11-167087-7

ISBN pdf : 978-2-11-167086-0

DREAL Hauts-de-France est un service régional déconcentré du ministère de la transition écologique, du ministère de la cohésion des territoires et des relations avec les collectivités territoriales et du ministère de la mer.

44 rue de Tournai - CS 40 249 59019 Lille CEDEX / standard : 03 20 13 48 48

Résumé

La loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages de 2016 a introduit la nécessité de prendre en compte des services rendus par la nature dans le cadre des études d'incidences sur l'environnement. Par ailleurs, en Hauts-de-France, le SRADDET préconise la considération des services écosystémiques dans les documents de planification.

Ce guide ne constitue pas un cadre réglementaire, mais présente des recommandations et des propositions méthodologiques. Il est à destination des maîtres d'ouvrage, responsables de projets, plans ou programmes, bureaux d'études missionnés pour la réalisation de l'évaluation des incidences sur l'environnement et instructeurs des services de l'État. Sans revenir sur les grands principes des évaluations, il constitue un outil à intégrer dans la démarche itérative et l'analyse des différents scénarios, avec l'objectif prioritaire d'éviter les impacts.

La méthode proposée a été construite de sorte à être relativement simple, flexible et économe en ressources. Elle se focalise dans un premier temps sur la capacité des écosystèmes et des modes d'occupation du sol à fournir des services écosystémiques. Les éléments présentés visent à expliciter ce qu'est un service écosystémique et comment les prendre en compte dans les projets, plans et programmes.

Le guide est constitué de cinq parties. La première présente le contexte réglementaire et les raisons de ce guide. La seconde présente l'état de l'art et les détails des notions et méthodes concernant les services écosystémiques. La méthodologie est ensuite expliquée dans la troisième partie avec une approche technique et un exemple illustratif utilisé pour toutes les étapes. La quatrième partie expose plusieurs exemples d'applications sur la région Hauts-de-France proposés par des bureaux d'études. Le guide se termine par une conclusion. Une liste de références bibliographiques et une annexe comprenant les matrices de capacités pour la région Hauts-de-France complètent ce guide.

Retrouvez le guide et le fichier tableur annexe sur la page web :

<https://www.hauts-de-france.developpement-durable.gouv.fr/?Evaluer-les-services-ecosystemiques>

Ou suivez le QR code :

