

GUIDE

POUR LA PROMOTION
ET L'UTILISATION DES

SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

DANS LES ZONES HUMIDES



Rest'Alp

Ouvrage coordonné
par **Mauro Bassignana**

AUTEURS

Jérôme **Porteret** avec les contributions
de Renaud **Jaunatre**, Andrea **Mainetti**,
Federica **Pozzi**, Axelle **Tempé**

RELECTEURS

Velca **Botti**, Denise **Chabloz**, Régis **Dick**,
Stéphanie **Huc**, Francine **Navillod**, Sophie **Vallée**

LE PROJET

RestHALp (2017-2020) a été cofinancé
par l'Union Européenne, par le biais du FEDER,
dans le cadre du programme ALCOTRA 2014-2020
(projet n. 1695), par la Région Auvergne Rhône-Alpes,
par la République Italienne et par la Région
Autonome Vallée d'Aoste.

PARTENAIRES DU PROJET

Institut Agricole Régional ;
Conservatoire Botanique National Alpin ;
Conservatoire d'Espaces Naturels Savoie ;
Institut national de recherche pour l'agriculture,
l'alimentation et l'environnement ;
Parc National Grand Paradis ;
Région Autonome Vallée d'Aoste.

ÉDITEUR

Institut Agricole Régional,
Rég. La Rochère 1/A, I-11100 Aoste

Impression : Tipografia DUC srl, Saint-Christophe (AO)

Conception et réalisation : le naturographe

Photo de couverture : J. Porteret/CEN Savoie.

ISBN 978-88-99349-03-5

Comment citer ce texte :

Porteret J., Jaunatre R., Mainetti A., Pozzi F.,
Tempé A., Botti V., Chabloz D., Dick R., Huc S.,
Navillod F., Vallée S., Bassignana M., 2020.
Guide pour la promotion et l'utilisation
des services écosystémiques dans les zones humides.
IAR, Aoste, 79 p.

©2020

GUIDE

POUR LA PROMOTION
ET L'UTILISATION DES

SERVICES

ÉCOSYSTÉMIQUES

DANS LES ZONES HUMIDES





SOMMAIRE

INTRODUCTION	7
---------------------------	---

1 QU'EST-CE QUE LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES ?

Qu'entend-on par la notion de service écosystémique ?	10
Comment classer les services écosystémiques ?	13
Quels sont les services rendus par les zones humides ?	15

2 POURQUOI UTILISER LA NOTION DE SERVICE ÉCOSYSTÉMIQUE ?

À quoi sert d'évaluer les services écosystémiques ?	18
Quelles finalités à l'usage de l'évaluation des services écosystémiques ?	19
Comment l'utiliser dans le cadre de la restauration ?	21

3 COMMENT METTRE EN PLACE UNE DÉMARCHE D'ÉVALUATION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES ?

Quelle méthodologie mettre en œuvre ?	22
Qui évalue les services écosystémiques ?	28
Quels sont les cadres de l'évaluation ?	29
Quels outils sont disponibles ?	30

4 COMMENT ÉTABLIR LES LIENS ENTRE LE FONCTIONNEMENT DU SITE ET LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES ?

Quelles fonctions des zones humides rendent des services ?	36
Comment mesurer ces fonctions des zones humides ?	41

5 COMMENT ATTRIBUER UNE VALEUR AUX SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES ?

Préalable à l'usage de la notion de valeur des écosystèmes	43
Quel type de valeur attribuer ?	43
Quelle méthode d'attribution de la valeur ?	46

6 QUELS SERVICES RENDUS PAR LES ZONES HUMIDES ALPINES ?

Conservation de la diversité spécifique et génétique	49
Régulation des cycles hydrologiques et de protection contre le risque inondation	52
Régulation du climat	54
Recharge de la nappe	56
Production de fourrage et de litière	59
Opportunités pour la recherche	62
Opportunités pour l'éducation	65
Support pour les activités récréatives et touristiques	68
Patrimoine culturel	71

NOTES DE FIN	75
---------------------------	----

BIBLIOGRAPHIE	76
----------------------------	----

PRÉAMBULE

La dégradation d'habitats dans les Sites d'Importance Communautaire/Zones Spéciales de Conservation (SIC/ZSC) soumis à des pressions anthropiques et à la diffusion d'Espèces Exotiques Envahissantes (EEE) est une problématique commune à de nombreux territoires. De part et d'autre des Alpes, les gestionnaires et centres de recherche confrontés à cet enjeu se sont engagés pour la restauration écologique d'habitats au travers du projet RestHALp. Le projet s'est donc emparé de la question de l'évaluation des services écosystémiques des zones humides pour promouvoir, favoriser et appuyer la mise en œuvre des politiques de restauration écologique. Si la démarche peut-être un bon outil de dialogue entre les acteurs du territoire, en raison de son approche globalisante, intégratrice par et pour le socio-écosystème, la difficulté à mobiliser des cas d'étude dans les Alpes, pouvant constituer des exemples concrets, acceptables localement, est apparue comme un frein à l'engagement des acteurs dans un processus d'évaluation. En effet, bien qu'ayant fait l'objet de nombreux travaux et synthèses au niveau mondial¹, l'étude des services écosystémiques rendus par les zones humides est restée peu appliquée à des cas d'étude concrets dans le contexte des Alpes occidentales. Toutefois, dans le projet RestHALp, il ne s'agit pas de conduire des évaluations globales de site, mais de construire des exemples explicitant les services rendus par les zones humides et l'intérêt d'initier leur évaluation pour permettre l'engagement des acteurs dans la restauration de leur fonctionnement écologique. Nous nous situons donc à l'étape 3 du processus d'évaluation proposé dans le rapport technique Ramsar², à savoir l'analyse fonctionnelle des sites d'étude.

Les processus et les éléments écologiques du fonctionnement des zones humides sont étudiés, puis traduits en liste de services écosystémiques. Les avantages de ces services seront ensuite analysés et quantifiés en unités de valeur appropriées, comme l'envisage l'étape 4 de la démarche.

Ces deux étapes nécessitent de collecter et/ou rassembler des données biotiques et abiotiques sur le fonctionnement du milieu. Nous nous intéressons plus particulièrement aux éléments du fonctionnement hydrologique et biologique qui permettent d'assurer les services d'approvisionnement, d'appui et de régulation, sans oublier les services de culture et d'agrément.

Forts de l'expérience acquise dans le cadre du projet, les partenaires ont souhaité réaliser un guide pour aider les porteurs de projets à mieux appréhender les concepts et les méthodes à mettre en œuvre pour se lancer dans la démarche d'évaluation des services écosystémiques.



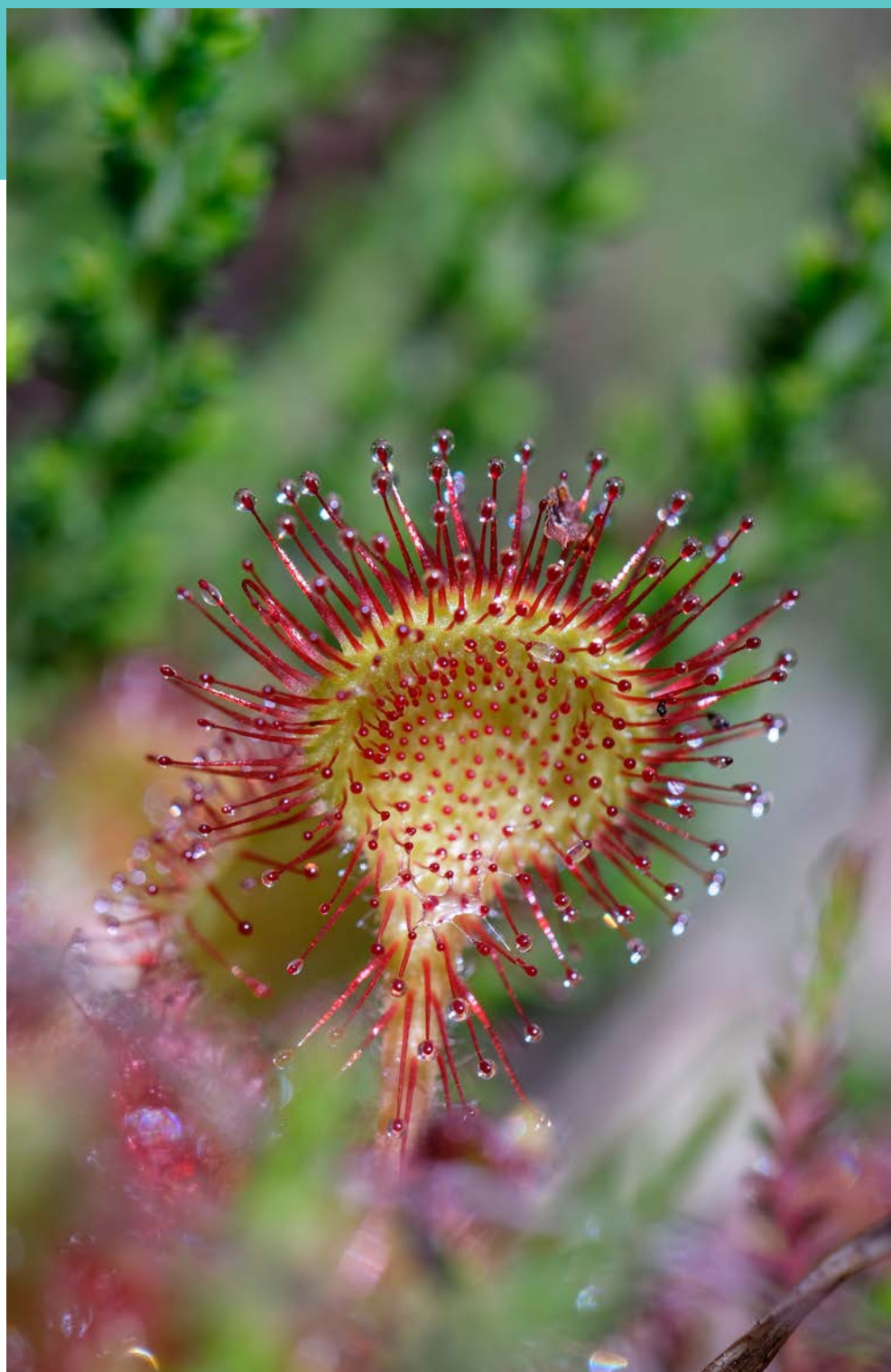
Description des principales étapes de la démarche d'évaluation Ramsar

- **Étape 1** - Analyse des processus politiques et des objectifs de gestion: pourquoi entreprendre l'estimation?
- **Étape 2** - Analyse et participation des acteurs: qui entreprendre l'estimation et pour qui?
- **Étape 3** - Analyse fonctionnelle (identification & quantification des services): que faut-il estimer?
- **Étape 4** - Estimation des services: comment entreprendre l'estimation?
- **Étape 5** - Communiquer les valeurs de la zone humide: à qui fournir les résultats de l'estimation?

LE PROJET RESTHALP: RESTAURATION ÉCOLOGIQUE D'HABITATS DANS LES ALPES

Projet européen de coopération transfrontalière Interreg ALCOTRA Italie-France 2014-20 qui associe différents partenaires français (CEN73, CBNA, INRAE) et italiens (IAR, Parc National Grand Paradis, Région Autonome Vallée d'Aoste - Structure biodiversité et espaces naturels protégés), d'une durée de 38 mois (25/04/2017-24/06/2020), le projet vise à la restauration écologique d'habitats dans des Sites d'Importance Communautaire et dans leurs environs. Parmi les différentes opérations le workpackage 3 est consacré à l'amélioration de la connaissance de la biodiversité et des services écosystémiques pour améliorer la gestion des habitats.





Drosera ©Shutterstock

INTRODUCTION

Ce guide s'adresse aux **gestionnaires, techniciens de collectivité, porteurs de projets** qui souhaitent mieux comprendre, utiliser la notion ou s'engager dans la démarche d'évaluation des services écosystémiques afin de promouvoir la restauration des écosystèmes et plus spécifiquement des zones humides.

Il ne reprend pas de manière exhaustive la totalité des méthodes et outils proposés dans une littérature internationale foisonnante. Il ne s'agit pas non plus d'une énième méthode d'évaluation ou d'un guide pas à pas pour mettre en œuvre une évaluation des services écosystémiques.

Ce guide veut donner les principales clefs de compréhension d'un champ d'étude qui s'affirme de jour en jour comme un cadre d'échange et d'interface entre les acteurs institutionnels, économiques et de la biodiversité.

Ce pense-bête s'appuie sur les références de la littérature technique et scientifique en langue anglaise, mais également en langue française et plus particulièrement sur trois publications qui nous semblent constituer des références pour l'appropriation et la mise en place de la démarche d'évaluation : la **Boîte à outils des services écosystémiques**³ et le **Guide méthodologique pour une augmentation de la capacité à prendre des décisions d'adaptation**⁴ ou la **Boîte à outils pour l'évaluation des services écosystémiques à l'échelle d'un site (TESSA)**⁵.

Nous balayerons donc ici le sujet sous la forme d'une liste de questions à se poser pour bien utiliser les concepts, s'approprier la démarche, utiliser des résultats d'étude ou s'engager dans une démarche d'évaluation. Classées par grandes thématiques, elles peuvent être représentées sous la forme du schéma ci-après.

Qu'entend-on
par service écosystémique?

Comment classer les
services écosystémiques ?

Quels sont les services rendus
par les zones humides?

**QU'EST-CE QUE
LES SERVICES
ÉCOSYSTÉMIQUES?**

À quoi sert d'évaluer les
services écosystémiques?

Quelles finalités à l'usage
de leur évaluation?

Comment l'utiliser dans le
cadre de la restauration?

**POURQUOI
UTILISER
LA NOTION DE
SERVICE
ÉCOSYSTÉMIQUE?**

Quelle méthodologie
mettre en œuvre?

Qui évalue les services
écosystémiques?

Quels sont les cadres
de l'évaluation?

Quels outils
sont disponibles?

**COMMENT METTRE
EN PLACE UNE
DÉMARCHE
D'ÉVALUATION
DES SERVICES
ÉCOSYSTÉMIQUES?**

UTILISER
SERVICES

LA NOTION DE ÉCOSYSTÉMIQUES

COMMENT ÉTABLIR LES LIENS ENTRE LE FONCTIONNEMENT DU SITE ET LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES?

Quelles fonctions
des zones humides
rendent des services?

Comment mesurer
ces fonctions des
zones humides?

La cartographie
de la fonctionnalité
territoriale
des services
écosystémiques

COMMENT ATTRIBUER UNE VALEUR AUX SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES?

Préalable à l'usage
de la notion de valeur
des écosystèmes

Quel type de
valeur attribuer?

Quelle méthode
d'attribution de
la valeur?

QUELS SERVICES RENDENT LES ZONES HUMIDES ALPINES?

Approvisionnement

Régulation

Culturels

QU'EST-CE QUE LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES ?

Apparus dans les années 1970, dans le vaste mouvement d'évolution de la perception de l'environnement par les sociétés occidentales, les services rendus par les écosystèmes ont fait l'objet d'un foisonnement intellectuel et méthodologique important⁶ depuis l'institutionnalisation de la notion, marquée par le *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA)⁷, au cours des années 2000.

De quelques dizaines de publications scientifiques sur le thème, nous sommes passés aujourd'hui à plusieurs milliers d'articles, littérature dans laquelle le néo-phyte, gestionnaire, porteur de projets, ne peut totalement s'immerger. De la métaphore d'origine scientifique, à vocation pédagogique, nouvelle façon de concevoir les relations homme/nature, aux dispositifs complexes d'évaluation actuel pour conserver ou gérer la nature, il est nécessaire de retracer ici brièvement l'histoire de l'émergence de cette notion pour bien en comprendre les cadres.

À la fois simple dans sa compréhension et complexe dans son usage⁸, elle est aujourd'hui incontournable, tant elle constitue un média efficace pour favoriser les échanges entre acteurs et permettre la concrétisation d'opérations de préservation ou de restauration/requalification des zones humides.

Qu'entend-on par la notion de service écosystémique ?

Définition

L'expression est construite comme une métaphore qui associe deux concepts renvoyant d'une part à l'écologie et de l'autre à l'économie. Basée sur une vision anthropocentrée de la nature, elle traduit à la fois la dépendance des hommes à l'égard des écosystèmes, mais marque le fait que ces écosystèmes sont là pour servir les hommes. Forcée dans le cadre de pensée de la modernité écologique⁹, comme l'indiquent Dufour *et al.* (2016) la notion cherche à « remédier à la crise de la biodiversité induite par l'homme par un recours à la technologie et une gestion par le marché ». En introduction de l'ouvrage *Political ecology des services éco-*

systémiques, les auteurs s'interrogent sur le statut de cette expression de « services écosystémiques ». Pour reprendre leur terme, s'agit-il d'un mot-clef à succès, d'une notion, d'un concept ou d'un nouveau paradigme ? Aujourd'hui devenu plus qu'un mot-clef, il leur apparaît que l'expression marque un changement des rapports de l'homme à la nature et qu'elle traduit un ensemble d'éléments qui ont pour vocation de produire des normes, des mouvements de pensée ou des systèmes pour gouverner. Ils retiennent par défaut le terme de notion, terme que nous utiliserons également dans ce guide, qui a le sens de l'idée générale, dont tout le monde s'accorde plus ou moins sur le sens à donner, sans qu'une définition claire soit partagée.

NOUS PROPOSONS ICI DE REPENDRE DEUX DÉFINITIONS:

- les services écosystémiques sont les bénéfices que les hommes tirent des écosystèmes [MEA];
- les écosystèmes et plus généralement la biodiversité soutiennent et procurent de nombreux services, dits services écologiques ou services écosystémiques, généralement classés comme bien commun et/ou bien public, car vitaux ou utiles pour l'humanité, les autres espèces et les activités économiques [UICN].

Perspective historique d'apparition de cette notion

De nombreux auteurs font remonter la première mention de l'expression dans un rapport préparatoire à la conférence de Stockholm en 1972 (*Study of Critical Environmental Problems*, 1970, *Massachusetts Institute of Technology*). Cette notion de services fournis par les écosystèmes, portée par des biologistes de la conservation¹⁰ et des économistes¹¹ nord-américains, se développe au cours des années quatre-vingt et quatre-vingt-dix et s'impose au tournant du XXI^e siècle, comme l'illustre l'évolution du nombre de publications scientifiques (*Figure 1*).

Les différents auteurs¹² qui se sont intéressés à l'histoire de l'émergence de la notion distinguent plusieurs phases. Jusqu'en 1997, et l'article de Costanza *et al.* dans la revue *Nature*, qui constitue incontestablement un marqueur, la notion de service écosystémique émerge dans le

champ de la biologie de la conservation pour justifier la valeur de la diversité biologique. Mais au cours des années 1990, s'initient les coopérations transdisciplinaires entre économistes et écologues, traduction de l'évolution majeure des sciences, avec le dépassement des cloisonnements disciplinaires, dans le contexte de mondialisation des échanges. La construction d'une culture scientifique commune va permettre de médiatiser la notion et

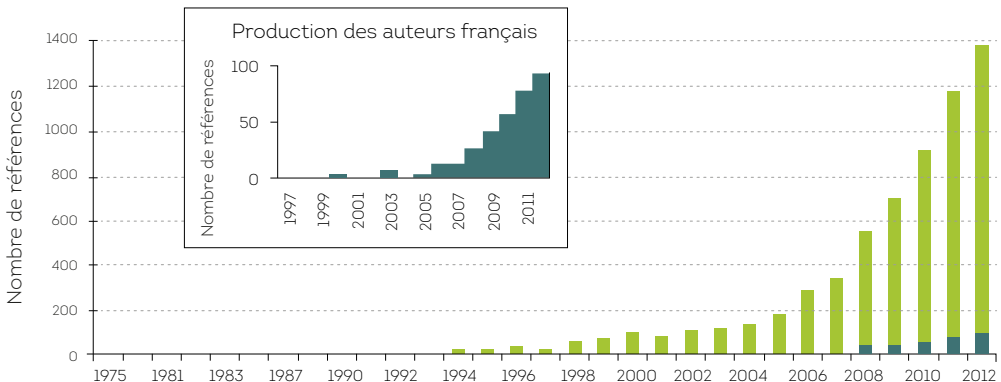


Figure 1 - Nombre de publications abordant la notion de services écosystémiques dans une recherche Web of Science. ■ production internationale ■ production en français

passer de la sphère scientifique à celle du politique. L'appropriation de la notion par les décideurs et acteurs politiques durant cette période est favorisée par deux évolutions majeures : l'émergence de la gestion adaptative en écologie¹³, mise en œuvre par les gestionnaires au travers de la réalisation de plan de gestion, et de la notion de système socio-écologique¹⁴, qui efface la limite entre système écologique et système social et replace les êtres humains dans la nature.

Promue par les travaux scientifiques, cette nouvelle façon de penser la conservation de la nature s'est ainsi institutionnalisée, dans les années 2000-2005, pour être traduite dans la sphère politique à l'échelle internationale (Évaluation des écosystèmes pour le millénaire, commandée par l'Organisation des Nations Unies, 2005), puis européenne (*Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services*, depuis 2012) et nationale (Évaluation Française des Ecosystèmes et des Services Écosystémiques, depuis 2013; *Rapporto sullo Stato del Capitale Naturale in Italia*, depuis 2017). Fondé sur des savoirs scientifiques, le concept a donc influé sur les politiques environnementales.

Après le consensus autour de la notion illustrée par le MEA, l'équilibre entre l'économie et l'écologie se modifie. Si les publications scientifiques se multiplient dans les revues d'écologie, ce n'est pas le cas dans celles d'économie. La dimension économique devient surtout prégnante dans les politiques publiques, comme l'illustre l'initiative *The Economics of Ecosystems and Biodiversity* (TEEB)¹⁵. Afin de rendre la notion pleinement opérationnelle pour les décideurs et les gestionnaires de milieux, un important travail de développement de méthodes et d'outils est initié et fait émerger des tensions entre l'usage pédagogique de la notion et son opérationnalité.

Ainsi, alors que les travaux et le nombre de chercheurs s'intéressant aux services écosystémiques augmentent, que la notion appropriée par le politique se diffuse au grand public, d'autres notions

proches émergent, comme les Paiements pour Services Environnementaux par exemple. La communauté scientifique se structure alors autour de sous-disciplines, qui ne dialoguent pas toujours entre elles, contribuant à une diffraction de la notion de service écosystémique.

Débats et controverses

La notion de service écosystémique fait l'objet de débats et de controverses¹⁶. Les critiques sont de deux ordres, conceptuelles, dans le but d'en améliorer l'efficacité, et plus fondamentales à propos de la dimension éthique sous-entendue par la notion de service.

En effet, si la notion est assez floue pour être efficace d'un point de vue pédagogique et politique, elle génère des confusions entre les processus, les fonctions des écosystèmes et leur utilisation par l'homme. Il en résulte une très grande diversité des définitions des services qui pose problème lorsqu'il s'agit de les mesurer dans le cadre d'évaluation¹⁷. D'autre part, les liens fonctionnels entre biodiversité et services écosystémiques sont complexes et encore mal caractérisés¹⁸. Les informations sur l'état biologique des écosystèmes peuvent s'avérer souvent insuffisantes pour comprendre et intégrer dans les décisions les interactions entre le fonctionnement des écosystèmes, les organisations sociales et les systèmes économiques¹⁹. L'opérationnalité de la notion est donc également discutée. Plus philosophiquement, elle est discutée en raison de la vision anthropocentrée, occidentale, et du prisme économique de la relation de l'homme à la nature qu'elle introduit²⁰.

Bien que controversée, la notion, élaborée pour rendre visible ce qui ne l'est pas dans les systèmes décisionnels actuels, offre aujourd'hui un cadre d'échange efficace entre acteurs pour engager des opérations de préservation ou de restauration/requalification des zones humides. Il permet dans un contexte où la protection de la nature est contestée de fournir un argumentaire à ses défenseurs.

« Si ce nouveau paradigme porte en lui ses propres limites et ses propres risques, il serait utopique de l'ignorer et de fonder nos efforts en faveur de la conservation et de l'utilisation rationnelle des zones humides sur des valeurs entièrement différentes. Il faut donc donner une valeur quantitative aux biens et services fournis par les zones humides si l'on veut que la conservation l'emporte sur toutes les options possibles d'utilisation des terres ou de l'eau qui alimente les zones humides. »²¹

Comment classer les services écosystémiques ?

Comme l'illustre le panorama que nous avons présenté, la diversité de définitions, d'appropriation, et d'application se traduit par une pluralité de classement des services dans la littérature. Outre la pluralité de classification, la littérature laisse à voir une multiplicité d'intitulés de services²². Ainsi, pour les services culturels par exemple, l'analyse de 142 publications montre que pas moins de 36 intitulés différents ont été utilisés pour désigner le même service touchant à l'aspect paysager des écosystèmes. Dans le même article de Blicharska *et al.* (2016), il apparaît que seulement 18 % de l'ensemble des termes ou expressions utilisés répondaient à la définition de « service écosystémique » et 45 % d'entre eux désignaient en fait uniquement des « bénéfices ».

Essentielle, car constituant le référentiel d'étude, l'identification et la classification des services constituent la première étape de la mise en place de toute démarche d'utilisation ou d'évaluation des services écosystémiques. Ce choix peut être guidé par la revue de littérature de Fisher *et al.* (2009)²³ des multiples classements existants. En s'adressant aux questionnaires d'espaces naturels, les auteurs avancent des exemples de contextes de décision et proposent les classifications les plus appropriées pour chacun. Ainsi, pour une finalité de promotion et de sensibilisation d'un public large, l'utilisation de la classification du MEA en 4 catégories (services de support, de régulation, d'approvisionnement et services culturels) apparaît bien appropriée.

Tableau 1 - Qualification schématique des services écosystémiques selon le MEA.

Support Formation des sols, photosynthèse, production primaire, cycle nutritif, cycle de l'eau	Approvisionnement – valeur d'usage direct Nourriture (culture, élevage, pêche, aquaculture, plantes sauvages et nourriture animale), fibres (bois, coton, bois-énergie), ressources génétiques, biochimie et biopharmacie, eau potable.
	Régulation – valeur d'usage indirect Qualité de l'air, régulation climatique (globale et régionale/locale), régulation de l'eau, régulation de l'érosion, purification de l'eau et traitement des déchets, régulation des maladies, régulation des nuisibles, pollinisation, régulation des risques naturels.
	Services culturels – valeur de non usage Diversité culturelle, valeurs religieuses et spirituelles, systèmes de savoirs, valeurs éducatives, Inspiration, valeurs esthétiques, relations sociales, sens des lieux, valeurs d'héritages culturels, loisir et écotourisme.



Source: PBL, WUR, CICES 2014

www.pbl.nl

Figure 2 - Aperçu des différents types de services écosystémiques dans le système CICES (PBL, WUR, CICES - 2014).

Toutefois, comme l'ont illustré les débats sur la notion, sous l'impulsion des écologues confrontés à la mesure des services, la catégorie « services de support » tend à disparaître des classifications les plus récentes. Correspondant à des processus internes aux écosystèmes, ils existent indépendamment de leur utilisation et sont parfois jugés redondants avec les services de régulation. Ainsi, l'une des classifications les plus élaborées, connue sous le nom de *Common International Classification of Ecosystem Services*

(CICES)²⁴ actualisée en 2018, intègre les dimensions biotiques et abiotiques et présente 11 classes regroupées en 3 thèmes, que nous présentons rapidement ci-dessous.

Service d'approvisionnement

Cette catégorie couvre tous les biens et produits, alimentaires ou non, issus des organismes vivants, mais aussi des constituants abiotiques de l'écosystème (y compris l'eau).

Service de régulation et de support

Ils correspondent à toutes les façons dont les organismes vivants ou les caractéristiques abiotiques de l'écosystème peuvent médier ou modérer l'environnement ambiant affectant la santé humaine, la sécurité ou le confort. Il peut s'agir des transformations biochimiques ou physiques dans les écosystèmes ou de la régulation des grands flux de matière bénéfiques aux populations.

Services culturels et sociaux

Il s'agit de tout ce qui affecte l'état physique et mental des personnes dans les écosystèmes. Ils concernent des environnements, des lieux ou des situations environnementales qui dépendent des processus de vie et peuvent être liés à des espèces, des habitats et des écosystèmes entiers. Les services culturels sont rendus possibles par les interactions directes ou indirectes des personnes et des systèmes vivants.

Quels sont les services rendus par les zones humides ?

La diversité des services rendus par les zones humides

Il existe une très grande variété de milieux humides. Il apparaît dans les différents travaux qu'elles sont susceptibles de remplir environ 25 des 43 services reconnus pour les écosystèmes en France²⁵. On peut citer sans être exhaustif leur rôle dans la maîtrise des crues, la recharge des nappes, l'épuration de l'eau, les pratiques de loisirs, l'atténuation des changements globaux ou la stabilisation du littoral. Le rapport technique Ramsar *Évaluation des zones humides : orientations sur l'estimation des avantages issus des services écosystémiques des zones humides*²⁶ présente, en distinguant zones humides continentales et côtières, un large panorama des services qu'elles fournissent. Cependant, des marais et tourbières aux zones alluviales ou littorales, la diversité des modes de fonctionnement écologique et des interactions avec les sociétés humaines ne permet pas de formuler une réponse unique concernant les services écosystémiques des zones humides. Si les exemples quantifiés d'évaluation par type de zone humide restent peu nombreux, on voit aujourd'hui apparaître quelques synthèses à destination des gestionnaires, faisant l'état des lieux des connaissances et des études réalisées, comme c'est le cas pour les tourbières²⁷.

Proposition de classification adaptée aux zones humides

Dans le cadre du projet RestHALp, en tenant compte des évolutions récentes présentées plus haut, et des spécificités de l'écosystème que constituent les zones humides, nous avons utilisé la classification suivante construite autour de trois catégories.

LES SERVICES DE RÉGULATION ET DE SUPPORT : services issus de la régulation des processus naturels et des fonctions basiques des écosystèmes. Parmi ces services, on retrouve par exemple « Régulation du climat global et local » qui provient, entre autres, de la fonction de stockage de carbone des zones humides. Le service de « Purification et maintien de la qualité de la ressource en eaux » est assuré par les fonctions de rétention/dégradation de la matière en suspension et autres comme le phosphore ou encore les nitrates. D'autres services concernent la biodiversité, comme « Conservation de la diversité spécifique et génétique » qui fait référence au rôle des zones humides en tant qu'habitat de reproduction et de nourrissage de certaines espèces.

LES SERVICES D'APPROVISIONNEMENT : services à l'origine de « produits finis » pouvant être prélevés dans l'écosystème. Les

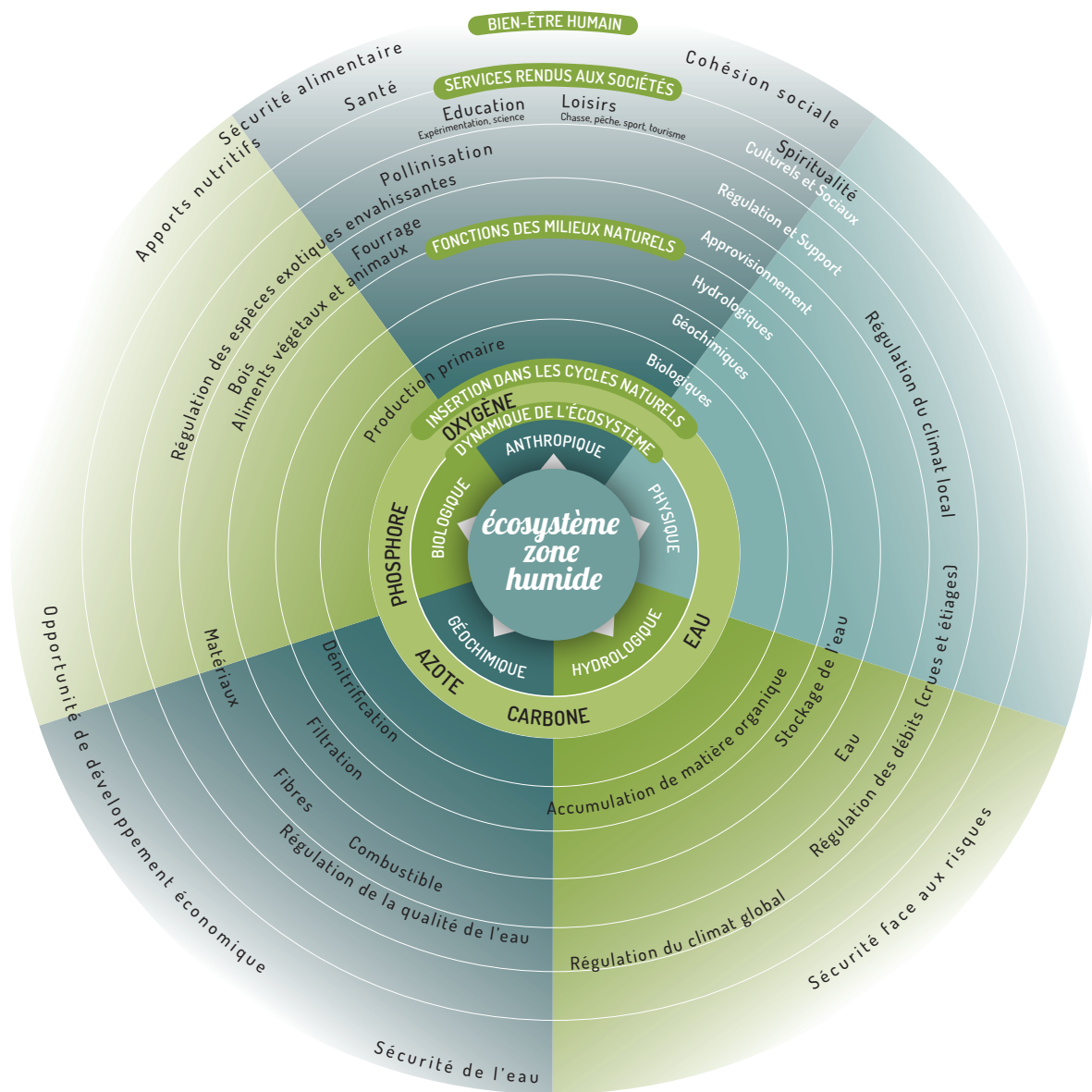


Figure 3 - Liens entre fonctionnement de l'écosystème et services écosystémiques pour les tourbières.

Figure 4 - Relations spatiales entre les zones de production de services (P) et les zones bénéficiant de services (B), d'après Fisher et al. (2009).

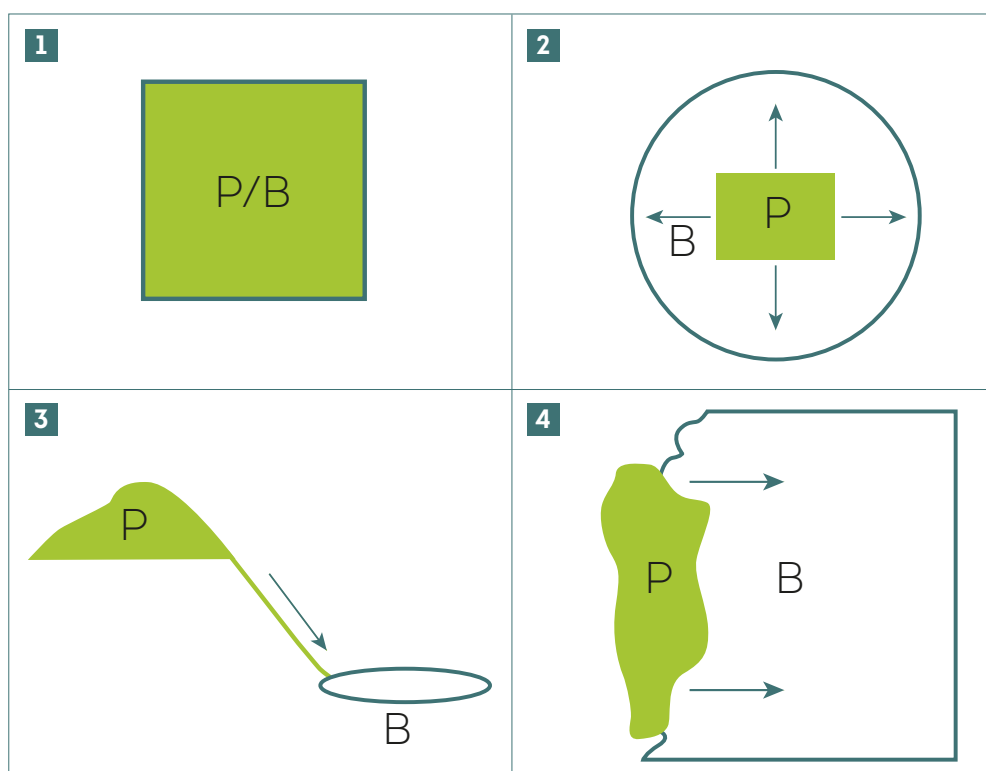
zones humides peuvent fournir du fourrage pour l'agriculture, du bois, des ressources halieutiques...

LES SERVICES CULTURELS: définis comme les bénéfices non matériels que peuvent fournir les écosystèmes à travers l'enrichissement spirituel, le développement cognitif, la réflexion, la création, les expériences esthétiques.

Cette catégorie regroupe des services comme « Opportunités pour la recherche » en lien avec leur rôle d'archives environnementales (reconstitution du climat passé grâce à la paléocécologie, archéologie...), les « Aménités paysagères » qui font appel à la qualité esthétique des zones humides,

ou encore la place des zones humides dans le patrimoine culturel de la population (participation à l'identité culturelle). D'autres types de classifications des services qui intègrent leurs caractéristiques spatiales apparaissent également bien adaptés pour l'étude des zones humides. En effet, les milieux humides fournissent des services à différentes échelles, bien souvent au-delà de leurs limites strictes (service de protection contre les inondations ou encore service de régulation du climat global)²⁸.

Nous ne les développerons pas ici, mais aborderons la prise en compte des notions d'échelle spatiale et temporelle dans les chapitres suivants.



1 - production et bénéficiaires au même endroit

2 - le service est fourni de manière omnidirectionnelle et profite au paysage environnant
Avantages directionnels spécifiques.

3 - zone en aval bénéficiant des services produit à l'amont

4 - zone bénéficiant de par sa localisation de la protection de la zone de production.

POURQUOI UTILISER LA NOTION DE SERVICE ÉCOSYSTÉMIQUE ?

À quoi sert d'évaluer les services écosystémiques ?

Cette question ramène aux débats sur la notion de service écosystémique (voir « Débats et controverses »).

Elle a été largement abordée dans les articles de Wolf *et al.* (2017) ou J.-M. Salles (2010) dont nous pouvons reprendre l'affirmation suivante: l'intérêt de la démarche d'évaluation n'est pas de « *donner une valeur économique à la nature, ce*

qui est inutile, mais de traduire la valeur des pertes consécutives à la destruction des écosystèmes en termes qui permettent de comparer les services écosystémiques avec d'autres enjeux sociétaux ». C'est donc une réponse aux pressions que subit la biodiversité pour influencer sur les décisions en explicitant les valeurs de la nature.

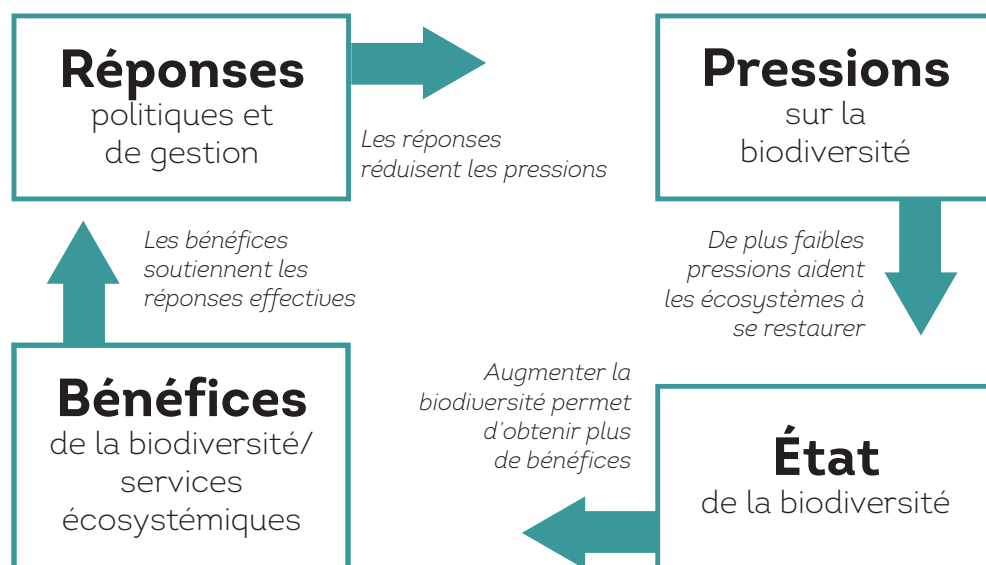


Figure 5 – Relations entre les services écosystémiques, l'état de la biodiversité, les pressions qu'elle subit et les réponses apportées à ces pressions, dans TESSA (2013).

Source : adapté de Sparks *et al.* (2010) Linked indicator sets for addressing biodiversity loss. *Oryx* 45(3) : 411-419

Quelles finalités à l'usage de l'évaluation des services écosystémiques ?

Quatre enjeux d'utilisation de la notion peuvent être mis en avant au regard des retours d'expériences étudiés dans la littérature scientifique.

Le management : suivi et mise en œuvre de politique

L'une des utilisations les plus anciennes vise à rationaliser les stratégies de conservation de la biodiversité pour maximiser l'efficacité des politiques publiques. Il s'agit donc d'une utilisation pour la gestion de la nature. Cet enjeu de management intéresse également les acteurs économiques et financiers. Au-delà des questions d'image qui poussent les entreprises à chercher à appréhender la matérialité des enjeux environnementaux en termes de risque, d'impact et de dépendance, la démarche est utilisée comme un outil de management de leur politique sur la biodiversité²⁹. Ainsi, en France, pour les sociétés cotées en Bourse qui se doivent depuis 2002 (loi « Nouvelles Régulations économiques »), de présenter « *les mesures prises pour préserver ou développer la biodiversité* » (décret n° 2012-557), la démarche a souvent été initiée avec une demande de méthodologie standardisée. Les services écosystémiques sont des outils de plus en plus utilisés pour la planification territoriale et le développement territorial. La prise en compte de la dimension spatiale par des méthodes cartographiques permet de traduire les dynamiques d'un territoire, à l'échelle globale mais encore plus à l'échelle locale. Consolidée à l'échelle régionale, la cartographie des services écosystémiques peut s'avérer gagnante pour une planification réellement durable. Elle

apparaît donc comme un instrument clé pour accroître la sensibilisation au sujet et fournir des outils concrets directement applicables aux décideurs techniques et politiques opérant dans le territoire³⁰.

L'aide à la décision - animation

Les outils d'évaluation des services écosystémiques sont désormais utilisés par les porteurs de projet pour l'analyse de scénarios et l'aide à la décision avec l'objectif d'améliorer l'acceptabilité du projet³¹. Il permet de prendre en compte les coûts et avantages de chaque option, d'évaluer la perte de bien-être social entraînée par un projet³². Ainsi, la notion permet de conduire des processus de décision en mettant sur un même plan la durabilité économique, le bien-être humain et la conservation des écosystèmes³³.

Les paiements pour services écosystémiques, la compensation - financement

En les monétisant, il peut s'agir d'évaluer un potentiel de services, pour financer une gestion ou une restauration d'écosystèmes favorables à leur maintien. Dans cette optique, les gestionnaires de milieux naturels (agriculteurs, associations, collectivités), pourraient capter de nouvelles sources de revenus/financements, via le développement d'instruments de marché

comme les paiements pour services écosystémiques. Il s'agit également d'un enjeu qui amène à s'intéresser à l'équivalence écologique, comme cela est développé dans les mécanismes de la compensation.

La communication - sensibilisation

Les services écosystémiques sont largement utilisés pour communiquer et sen-

sibiliser les acteurs et les usagers, aux enjeux de préservation des écosystèmes. En ce sens, ils contribuent à forger les prérequis de la prise de décision individuelle en faveur de la préservation des écosystèmes et ainsi à obtenir le soutien des acteurs des territoires et du public pour la mise en place de politiques ou d'opérations de gestion fondées sur des données factuelles.



Comment l'utiliser dans le cadre de la restauration?

Nous souhaitons ici développer le propos sur un cadre d'utilisation spécifique, celui de la restauration des écosystèmes, qui a constitué le cœur du projet RestHALp.

Comme un exemple pour convaincre de l'intérêt

Si en l'espace d'une trentaine d'années, la restauration écologique s'est imposée, en France et dans le monde, comme un moyen d'action en faveur de la biodiversité, compte tenu de son coût, des difficultés à la mettre en œuvre ou des incertitudes sur ses résultats, il est encore nécessaire de convaincre les acteurs locaux de son bien-fondé et ce malgré un soutien croissant des politiques publiques.

Pour cela, il s'avère très intéressant d'utiliser la notion de services rendus pour sensibiliser et convaincre. Il s'agit de communiquer et d'alerter sur la dépendance des sociétés aux milieux naturels et montrer leurs valeurs. Bénéficier d'exemples d'évaluation des services écosystémiques dans un contexte géographique semblable est particulièrement utile. On parle d'exemples archétypaux, comme a pu l'être dans le domaine de la gestion de l'eau, celui de l'agglomération de New York avec la préservation de l'environnement de la région des Catskills³⁴.

Toutefois, si le plus important est le message général diffusé par sa dimension pédagogique, il est d'autant plus efficace qu'il présente une situation semblable à celle vécue par les acteurs auxquels s'adresse le message. En effet, présenter l'exemple de l'investissement de près 1,5 milliard de dollars sur dix ans, pour la réduction des pollutions dans un bassin versant d'alimentation situé à 150 km au nord d'une agglomération de 22 millions d'habitant et éviter la construction d'une usine de traitement de l'eau de 7 milliards de dollars, à des élus de petites communes de montagne peut susciter à minima des réactions de scepticisme.

Comme une méthode d'évaluation des gains

Cet usage correspond en partie à une déclinaison locale de l'usage pédagogique décrit plus haut, mais il le dépasse. Il s'agit ici d'utiliser la notion de services écosystémiques pour faciliter les discussions entre acteurs et animer un processus d'aide à la décision pour engager des actions de restauration.

Cette utilisation passe par l'identification des services, celle des bénéficiaires et aboutit à leur évaluation qualitative ou quantitative. Si dans un premier temps, la notion est « la porte d'entrée » qui permet à plusieurs acteurs possédant des bagages scientifiques et des parcours individuels différents d'échanger, elle permet dans un second temps de fournir une grille de lecture multi-usage où les différentes valeurs associées aux écosystèmes sont prises en compte.

Ces échanges permettent de bien établir le lien entre processus biophysiques et services, de localiser les milieux naturels à analyser, de rendre concrète leur valeur et de débattre de la nature des interventions envisageables. En permettant aux acteurs du territoire et de la gestion de s'exprimer et de localiser les valeurs qu'ils attribuent aux zones humides, elle contribue à leur adhésion au projet de restauration.

La mise en place de démarches participatives ou collaboratives d'évaluation permet à chaque acteur de mesurer l'impact des actions de restauration sur chaque service. Pour cela, chaque acteur « expert » utilise une règle de notation sur la base d'un système ordinal ou sur la base d'estimations économiques du panel de services analysés (voir chapitre : *Quels outils sont disponibles ?*).

COMMENT METTRE EN PLACE UNE DÉMARCHE D'ÉVALUATION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES?

Évaluer les services écosystémiques c'est adopter une approche interdisciplinaire pour comprendre de quelle façon les fonctionnements écologiques recoupent l'action anthropique. C'est aussi réaliser un examen collaboratif des différentes disciplines qui contribuent à l'attribution de valeur.

Quelle méthodologie mettre en œuvre?

Il existe aujourd'hui différentes méthodologies et guides pour la réalisation d'études d'évaluation des services écosystémiques. Ces méthodes peuvent proposer différentes approches, suivant l'échelle d'étude, l'utilisation proposée, la mobilisation des données sur le fonctionnement écologique. Nous renvoyons le lecteur vers trois propositions en langue française:

BOÎTE À OUTILS DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES (310 pages), à l'intention des gestionnaires et des analystes. Développée au Canada pour appuyer l'élaboration de politiques et la prise de décisions, elle propose dans une approche de portée nationale, un guide pratique pour la réalisation et l'utilisation de l'évaluation des services écosystémiques. Elle présente une multitude de fiches outil pour aider le lecteur à la mise en place de l'évaluation.

L'ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DES BIENS ET SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES (218 pages) veut assurer un maximum d'homogénéité et de standardisation dans l'utilisation des outils au Québec. Ces outils doivent permettre d'évaluer l'évolution des valeurs économiques d'usage et de non usage liées aux variations de qualité des écosystèmes et des services écosystémiques qu'ils fournissent à la société dans le cadre des changements climatiques.

BOÎTE À OUTILS POUR L'ÉVALUATION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES À L'ÉCHELLE D'UN SITE (TESSA) (150 pages, 27 fiches méthode, 7 fiches conseils et 23 annexes) a été conçu pour fournir des conseils pratiques sur l'évaluation et le suivi des services écosystémiques à l'échelle d'un site.

Il aide les utilisateurs à identifier les services à évaluer, les données nécessaires à leur mesure, les méthodes ou ressources utilisables pour obtenir ces données, et indique comment en communiquer les résultats dans le but de mieux conserver la biodiversité.

Il s'agit de documents très fournis dont nous proposons ici de synthétiser les principaux éléments méthodologiques communs.

■ L'évaluation est une démarche interdisciplinaire pour appréhender l'ensemble des thématiques et mettre en œuvre une analyse multicritère. Elle associe différentes parties prenantes, une équipe projet qui conduit l'étude, des experts du contexte humain et environnemental.

■ Les différentes méthodes distinguent plusieurs étapes dans le processus d'évaluation: 6 étapes pour la **Boîte à outils des services écosystémiques** et 8 pour **TESSA**. Parmi ces étapes, la définition du cadre de l'évaluation est primordiale.

Il s'agit de savoir dans quel contexte écologique et politique se situe l'étude pour identifier les questions auxquelles l'évaluation devra répondre.

■ Il existe généralement une phase d'évaluation préliminaire qui permet d'identifier les fonctions de l'écosystème, les parties prenantes, les services, les bénéficiaires,

autant d'éléments qui serviront à organiser le processus d'évaluation.

■ Une phase d'information des acteurs pour la compréhension commune des termes et enjeux est souvent indispensable.

L'évaluation s'appuie sur une collecte de données tant écologiques que socio-économiques qu'il n'est pas toujours simple de mobiliser. Les métriques ou les indicateurs utilisés sont nombreux. Nous pouvons par exemple illustrer le panel des données possibles avec le tableau ci-dessous.

Tableau 2 – Exemple d'indicateurs des fonctions écologiques, du capital naturel, des services écosystémiques et des avantages des services écosystémiques pour les zones humides (adapté et modifié d'après la Boite à outils des services écosystémiques).

SERVICE ÉCOSYSTÉMIQUE	INDICATEURS DES FONCTIONS ÉCOLOGIQUES DU CAPITAL NATUREL	INDICATEURS DES BÉNÉFICES POUR L'HOMME
SERVICES D'APPROVISIONNEMENT		
ALIMENTS	Stock total (t/ha)	Nombre de personnes employées, y compris les travailleurs indépendants, pour la récolte, la transformation et la distribution de ces biens.
	Productivité nette (kcal/ha/année)	
	Présence de plantes/animaux comestibles	
CULTURES	Superficie des terres cultivées (ha)	
	Production végétale réalisée (t/ha/année)	
ÉLEVAGE	Superficie totale des prairies convenant aux brouteurs	
	Densité de bétail broutant	
	Production fourragère réalisée (t/ha/année)	
PÊCHE	Taille de la prise	Nombre de cartes de pêche (droits d'accès)
ALIMENTS SAUVAGES	Quantité de viande de gibier prise	Nombre d'aliments sauvages récoltés dans une zone
	Animaux tués	Nombre de chasseurs (droits d'accès)

BOIS ET BIO-COMBUSTIBLES	Biomasse totale (t/ha)	Nombre de personnes employées, y compris les travailleurs indépendants, pour la récolte, la transformation et la distribution de ces biens.
	Productivité nette (t/ha/année)	
	Nombre d'espèces ou de composantes biotiques présentant une possibilité d'utilisation	
EAU POTABLE	Quantité totale d'eau (m³/ha)	Nombre de personnes ayant accès à de l'eau
	Quantité d'eau extraite par an et par zone	Coût pour épurer l'eau lorsque l'écosystème est dégradé
	Présence de réservoirs d'eau	
MATÉRIEL GÉNÉTIQUE	Nombre total d'espèces et de sous-espèces	
	Biomasse totale (t/ha)	
RESSOURCES BIOCHIMIQUES OU MÉDICINALES	Quantité d'espèces récoltées à cette fin	Nombre d'espèces du site utilisées par l'industrie pharmaceutique
		Ventes ou profit de l'élaboration de ces produits
SERVICES DE RÉGULATION		
RÉGULATION DE L'ÉROSION	Quantité de sédiments captés	Incidence, coût ou risque de préjudices ou de dommages aux personnes et à la propriété par suite d'inondations (p. ex. par suite de perte de milieux humides)
	Sol (p. ex. matière organique, perméabilité)	
ÉPURATION DE L'EAU	Temps de rétention de l'eau dans les écosystèmes	Volume des effluents rejetés par zone géographique
	Comparaison des concentrations de polluants qui entrent et qui sortent du système	Coût de la construction d'usines de traitement des eaux
	Capacité de dégradation biochimique de la DCO (g/m³/jour)	
	Quantité de N et de P stockés (kg/ha/année)	
RÉGULATION DES RISQUES NATURELS	Superficie/profondeur des milieux humides	Domages à la propriété causés par des risques naturels (glissements de terrain et inondations)
	Capacité de stockage d'eau	Coûts connexes pour la propriété, le système de soins de santé, la productivité des travailleurs
	Réduction de l'écoulement/du ruissellement	Sentiment de sécurité exprimé vis à vis des dangers naturels
	Retard des débits maximums de crue	

RÉGULATION DE L'ÉCOULEMENT DE L'EAU	Capacité de rétention d'eau dans le sol	Incidence, coût ou risque d'inondation
	Débits de pointe	
	Taux d'infiltration dans le sol	
	Capacité de stockage de l'eau en surface (mm/m)	
	Superficie de zone humide	
	Nombre d'inondations par an	
RÉGULATION DU CLIMAT	Stocks de carbone au-dessus et sous la surface du sol	Sécurité des sources d'aliments régionales si la production régionale baisse en raison des changements climatiques ou d'autres effets liés au climat
	Evapotranspiration et photosynthèse (p. ex. indice de surface foliaire)	Risques de sécheresse/ d'inondation connexes à la production agricole
	Matière organique du sol en volume ou %	
SERVICES CULTURELS		
IDENTITÉ CULTURELLE ET PATRIMOINE	Nombre d'espèces ou surface de l'écosystème/paysage caractéristique importants sur le plan culturel	Niveau de satisfaction exprimé par rapport à l'écosystème
	Nombre de personnes utilisant l'écosystème à des fins de patrimoine culturel et d'identité	
SPIRITUALITÉ ET RELIGION	Espèces ou caractéristiques de l'écosystème/paysage ayant une valeur spirituelle	Accès et utilisation de lieux sacrés connus
	Nombre de personnes qui attachent une signification spirituelle ou religieuse à l'écosystème	Expression du sentiment de paix de se trouver dans la nature
		Expression de la signification spirituelle de l'écosystème
INSPIRATION POUR LA PENSÉE ET LE TRAVAIL CRÉATIFS HUMAINS	Nombre d'espèces ou surface de l'écosystème/paysage caractéristique ayant une valeur d'inspiration	Mesure de travaux littéraires/ artistiques (p. ex. nombre d'écrivains, de photographes etc. ou nombre de produits, comme des publications, des sites Web)
	Nombre de livres, de peintures, etc, qui utilisent le site comme inspiration	Nombre de cours, d'ateliers, d'événements consacrés aux arts

LOISIRS ET TOURISME	Superficie du site ayant une valeur récréative déclarée	Participation (nombre de personnes) à du tourisme nature, à des loisirs axés sur la nature
	Proximité du site pour la fréquentation	Nombre d'événements ou d'équipements
		Visiteurs (nombre ou heures) du site
		Argent/temps investi dans l'exécution d'activités sur le site
		Appréciation exprimée pour les possibilités d'activités récréatives
SENTIMENT D'APPARTENANCE À UN LIEU	Nombre de personnes qui considèrent le site comme étant important pour leur sentiment d'appartenance à un lieu	Marketing axé sur le lieu
		Activisme local pour la protection de la nature
		Événements liés au site contribuant à l'identité locale
SYSTÈMES DE CONNAISSANCE ET ÉDUCATION	Nombre de visites de classes scolaires	Nombre de participants à des activités volontaires de conservation et de science citoyenne
	Nombre d'études scientifiques	Nombre ou % de la population employée dans des professions liées au site
DÉVELOPPEMENT COGNITIF, SANTÉ ET BIEN-ÊTRE PSYCHOLOGIQUES ET PHYSIQUES		Utilisation du site dans des programmes de santé
		Taux de participation à des groupes de nature
		Nombre de personnes qui ont choisi de vivre près du site
		Expression des avantages par les usagers
EXPÉRIENCE ESTHÉTIQUE	Nombre/superficie d'éléments paysagers pour lesquels une appréciation a été exprimée	
	Expression de la valeur esthétique	

Le schéma ci-dessous issu également de la **Boîte à outils des services écosystémiques** synthétise le cadre et les étapes de l'évaluation.

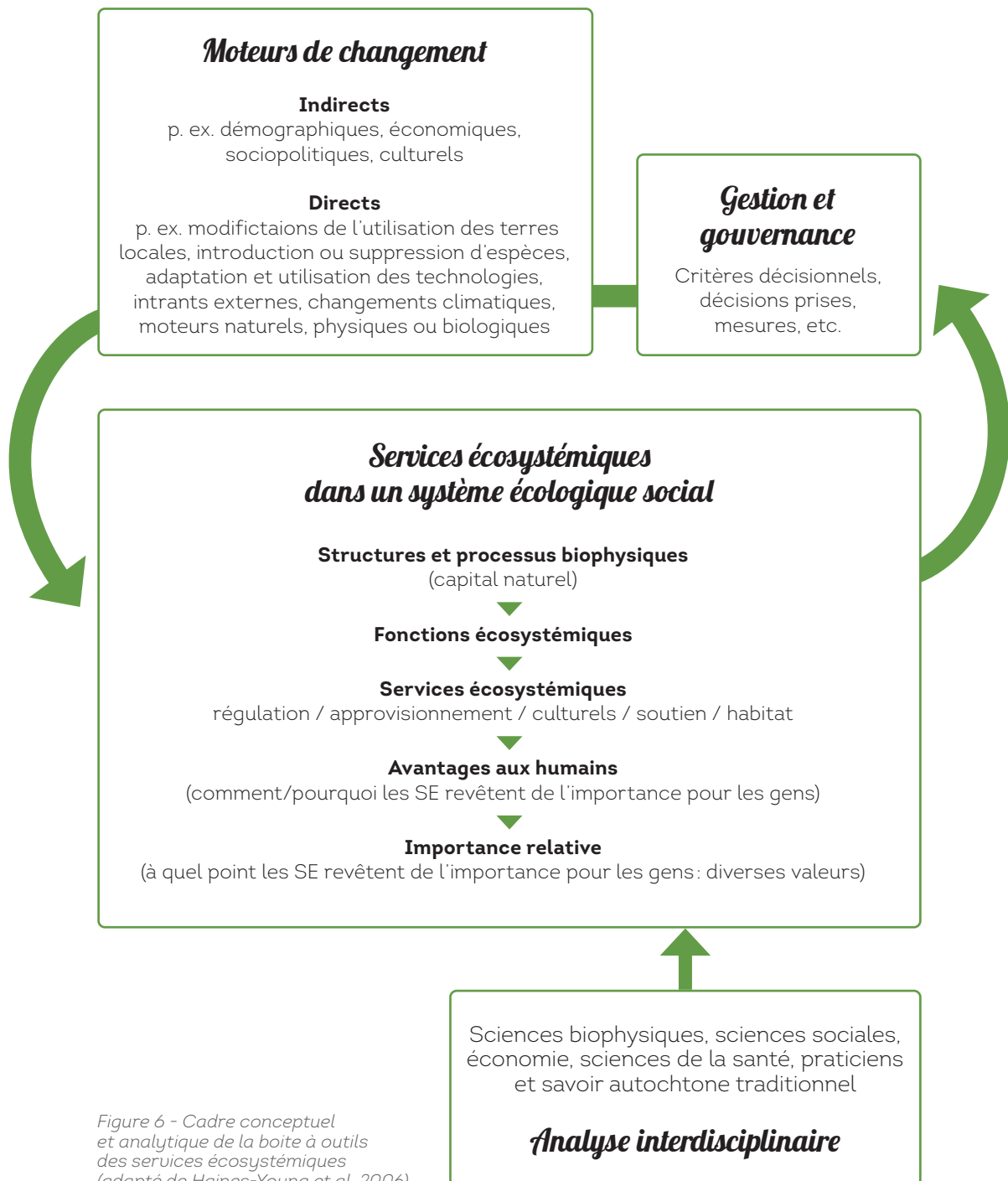


Figure 6 - Cadre conceptuel et analytique de la boîte à outils des services écosystémiques (adapté de Haines-Young et al. 2006).

Qui évalue les services écosystémiques?

Cette question est cruciale tant elle détermine les résultats et leur appropriation, notamment lorsque la démarche est utilisée pour favoriser la mise en œuvre de projet de restauration.

On parle, pour définir les personnes amenées à participer, à n'importe quelle étape du processus d'évaluation des services écosystémiques, de parties prenantes. Pour une assimilation efficace, ces parties prenantes doivent pouvoir s'impliquer et être des acteurs des résultats.

Pour définir la liste des parties prenantes, il est possible de réaliser pour cela une matrice d'analyse qui les définit par les critères suivants:

- leurs caractéristiques (type d'organisation/de personne);
- leurs principaux intérêts pour le site;
- leurs principaux droits en ce qui concerne le site (propriétaire, gestionnaire, agriculteur, autres usagers, etc.);
- leurs incidences sur le site et sur ses services (actuelles et potentielles);
- leurs priorités vis-à-vis des services écosystémiques et des projets pour le site.

On peut distinguer trois groupes de parties prenantes que nous détaillons ci-dessous.

Le groupe consultatif

Il s'agit d'un groupe large, comité de pilotage de l'étude qui doit garantir une orientation claire du travail, la participation de toutes les parties prenantes et l'avancement du processus d'évaluation.

Il associe donc généralement le commanditaire de l'évaluation, l'ensemble des décideurs et financeurs de l'étude, mais peut également associer des experts-

conseils extérieurs au projet comme des membres de conseil scientifique d'espace naturel protégé ou universitaires par exemple.

Le groupe technique ou d'experts

L'évaluation est effectuée par une équipe technique interdisciplinaire. Ce groupe, ou comité technique, vise à associer l'ensemble des compétences nécessaires. Les membres de ce groupe doivent pouvoir contribuer à:

- identifier les habitats, les espèces et les services clés;
- suggérer l'état alternatif le plus plausible pour le site;
- fournir des données existantes;
- concevoir des protocoles de collecte de nouvelles données;
- recueillir de nouvelles données;
- interpréter les résultats.

Les compétences vont donc de l'écologie à l'économie, en passant par la modélisation, la géographie, etc.

Il rassemble tous les détenteurs de connaissance disponibles, universitaires, naturalistes, experts, techniciens de collectivité ou d'entreprise, mais plus globalement toute personne locale bien informée et reconnue, détentrice d'un savoir traditionnel.

Le groupe d'examen

Dans une démarche où l'on souhaite que les résultats de l'évaluation soient réutilisés à une plus large échelle, il peut être utile dans le processus d'évaluation de distinguer un groupe d'examen.

Ce dernier formule un avis sur les méthodes et les résultats. Il intègre des experts extérieurs au projet pour une validation du travail par des pairs qui permet d'étayer la crédibilité et la pertinence de la démarche.

Quels sont les cadres de l'évaluation ?

Il n'est pas toujours facile de bien définir les échelles d'analyse pour l'évaluation. Pourtant, les résultats sont souvent sensibles à l'échelle temporelle et spatiale à laquelle on étudie les services. Un certain nombre de paramètres et d'indicateurs des fonctions écologiques, comme la consommation de services écosystémiques, ne sont pas uniformément distribués dans l'espace et dans le temps. Ainsi, on peut par exemple bien comprendre que l'utilisation de données de fréquentation d'une zone humide de montagne, indiquant le service d'attractivité pour les loisirs et le tourisme, est très variable, tant dans le temps, cette dernière étant très saisonnière, que dans l'espace, l'ensemble d'un site n'étant pas fréquenté de façon uniforme.

Il convient donc de mener l'étude des services écosystémiques à différentes échelles, pertinentes pour les décideurs et sensibles à la variabilité des processus.

Quelle échelle de temps ?

La notion de temps est fondamentale dans la notion de service écosystémique, non seulement parce que le fonctionnement des écosystèmes et des sociétés répond à des cycles, des seuils et des effets

cumulatifs qui font qu'ils n'évoluent pas de façon linéaire, mais également parce que la démarche d'évaluation s'inscrit très souvent dans un objectif de confrontation de scénarios qui vise à simuler les effets des actions futures.

Sans aller plus loin, il convient de se questionner et d'apporter une vigilance particulière tant sur l'actualité des informations mobilisées pour l'évaluation que sur la perspective temporelle dans laquelle les parties prenantes s'inscrivent lorsqu'elles attribuent une valeur aux services.

Quelle échelle spatiale ?

De plus en plus d'études spatialisent les services écosystémiques³⁵. Il existe en effet une dynamique entre des zones de production et des zones de consommation des services entre lesquelles s'organisent des flux. Le schéma suivant illustre l'intérêt de bien envisager les relations spatiales entre zones productrices et zones bénéficiaires des services pour mener à bien l'évaluation, tant pour construire les jeux de données nécessaires (fonctionnement des milieux, coût des ouvrages de protection, zone de chalandise, etc), que pour identifier les parties prenantes de l'évaluation.

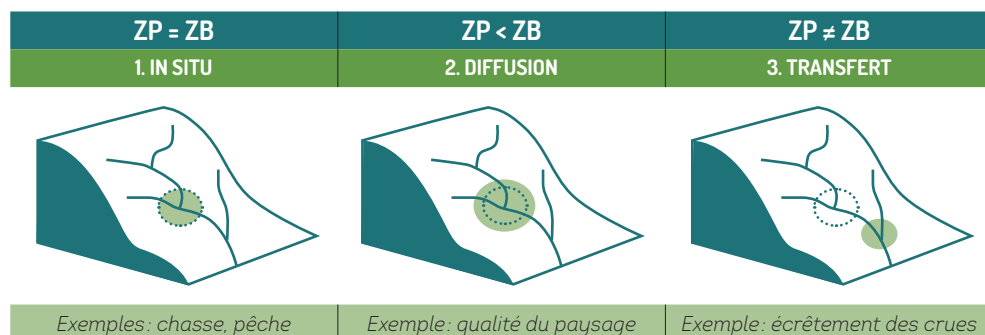


Figure 7 - Relations spatiales dans l'analyse des services, d'après Fisher et al., 2009.

ZP : zone productrice de service = zone humide
 ZB : zone bénéficiaire du service

Ces approches permettent de disposer d'arguments territorialisés pour la sensibilisation, la négociation et/ou la monétarisation. L'intérêt majeur de la spatialisation repose donc sur sa capacité à interroger la notion de services écosystémiques au prisme des processus physiques et des fonctions écologiques qui les induisent. Toutefois, une certaine prudence doit être observée quant aux méthodes de spatialisation. L'information géographique mobilisable pour réaliser ce type d'étude est très souvent limitée et ce d'autant plus que le territoire de travail est vaste. Ainsi, c'est l'occupation du sol qui est très souvent utilisée comme base d'évaluation des services et il appa-

raît que la seule occupation du sol comme indicateur de services écosystémiques ou comme seule variable de modélisation engendre une simplification excessive.

Il n'en demeure pas moins que derrière l'approche spatiale, il est essentiel de bien prendre en compte des relations spatiales entre zone de production et de bénéfice des services.

À ce titre, comme l'intègre le concept d'hydrosystème et le traduit la notion de connectivité entre trame verte et bleue, un écosystème comme une zone humide dans son bassin versant joue un rôle important pour la diffusion ou le transfert de services dans le territoire.

Quels outils sont disponibles?

Au cours des dernières années, différents projets ont vu le jour pour fournir des outils d'évaluation ou de cartographie des services écosystémiques. Tout d'abord, il s'agissait pour les laboratoires de recherche de répondre aux besoins d'évaluation des plateformes internationales (IPBES) et nationales (EFESE).

Ensuite on a pu observer une implication forte des acteurs économiques et financiers pour le développement d'outils d'évaluation. Des publications récentes, comme celle de Wolff *et al*³⁶, qui analyse dix-huit outils d'évaluation, illustrent la diversité des acteurs impliqués, organisations inter-gouvernementales, consortiums nationaux, bureaux d'étude, associations environnementales ou organismes de recherche, dans leur développement avec des approches méthodologiques, des niveaux de technicité et des finalités d'usage très variés.

Ainsi, nous ne recensons pas ici l'ensemble des propositions existantes, mais présentons quelques outils qui permettent de mener l'évaluation en facilitant ou objectivant le processus d'attribution de valeur. Ils permettent également de résoudre le défi de compréhension de la

complexité du fonctionnement des écosystèmes, pour laquelle la collecte des données locales quantitatives n'est pas toujours possible (utilisation de modèles ou mobilisation d'expertises territoriales ou sectorielles).

Matrice des capacités³⁷

En conduisant des projets d'évaluation (zones humides sur le PNR Scarpe Escaut et milieux naturels du PNR des Baronnies Provençales), l'Institut méditerranéen de biologie et d'écologie marine et continentale (IMBE) a développé une méthode à « dire d'expert » utilisant les matrices des capacités.

Une matrice des capacités est une table croisant la liste des services écosystémiques et la typologie des habitats/milieux pouvant rendre ces services sur le territoire. Cette matrice sert à la notation par les participants « experts » de l'atelier d'évaluation. Ces participants, disposant de connaissances théoriques et/ou pratiques en écologie, sont sélectionnés pour représenter les différents acteurs du territoire, usagers, gestionnaires, collectivités et scientifiques. Autour de la matrice,

remplie individuellement, puis agrégée avec la mise en commun des scores des différents acteurs, s'organisent les échanges, le partage des visions, l'émergence de compromis et par corolaire le développement d'une culture commune avec une évaluation partagée crédible pour tous les acteurs.

Cette méthode simple qui crée des données semi-quantitatives reliant les écosystèmes et les services rendus contourne le problème d'acquisition des données de fonctionnement des milieux. Elle permet d'obtenir pour chaque service une évaluation avec la même unité, ce qui permet leur comparaison pour identifier des bouquets de services rendus, voir les compromis entre les services.

ASPIRE

La méthode nommée ASPIRE pour « Appréciation du Succès des Projets d'Ingénierie et de Restauration Écologiques » est un cadre méthodologique qui se veut une méthode simple pour l'appréciation globale d'un projet aux objectifs multiples par différents acteurs. Cette méthode qui est aussi une plateforme de calcul en ligne, par son principe peut être utilisée dans les démarches d'évaluation des services écosystémiques. Testée dans le cadre du projet RestHALp, elle est détaillée plus précisément dans l'article de Jaunatre *et al.* (2017)³⁸.

La plupart des projets de restauration écologique ont des objectifs multiples, ce qui peut compliquer l'évaluation du suc-

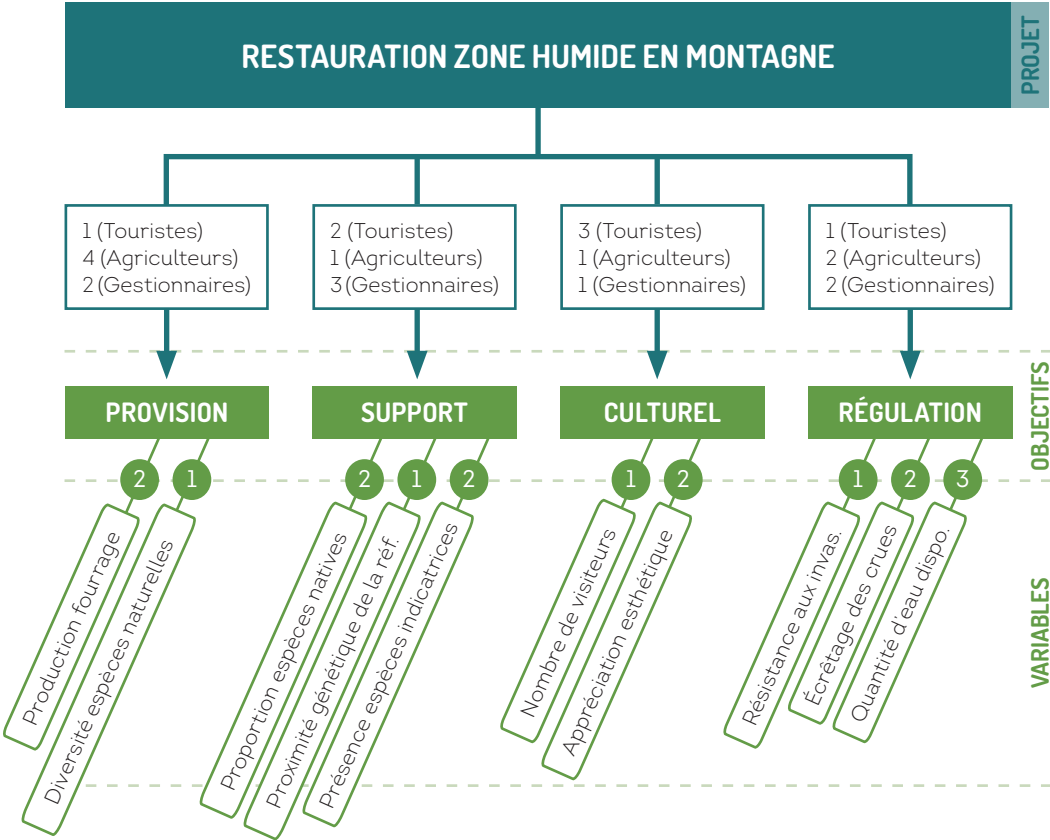


Figure 8 - Représentation schématique du cadre de travail ASPIRE.

cès de chaque projet. C'est particulièrement le cas lorsque les différents acteurs du projet ont des attentes différentes. Cette phase d'évaluation est pourtant importante car elle permet de dire si la gestion du projet doit être adaptée pour augmenter son succès, ou si un projet similaire doit pouvoir être reproduit. Le cadre méthodologique ASPIRE apparaît particulièrement approprié pour l'évaluation des services écosystémiques au sein d'un projet de restauration écologique. Il est hiérarchisé en 3 niveaux: (1) les variables, (2) les objectifs et (3) le projet. La mesure du score global du projet se

base sur les scores des objectifs du projet, se basant eux-mêmes sur les scores des variables de ces objectifs (*Figure 8*). Afin d'évaluer la restauration des services écosystémiques au sein d'un projet, une approche intéressante peut être d'assimiler les différents groupes de services écosystémiques à des objectifs et les mesures qui contribuent à rendre compte de ces services peuvent être assimilées à des variables.

Après avoir caractérisé chacun de ces niveaux hiérarchiques, le cadre de travail ASPIRE permet de calculer les scores des

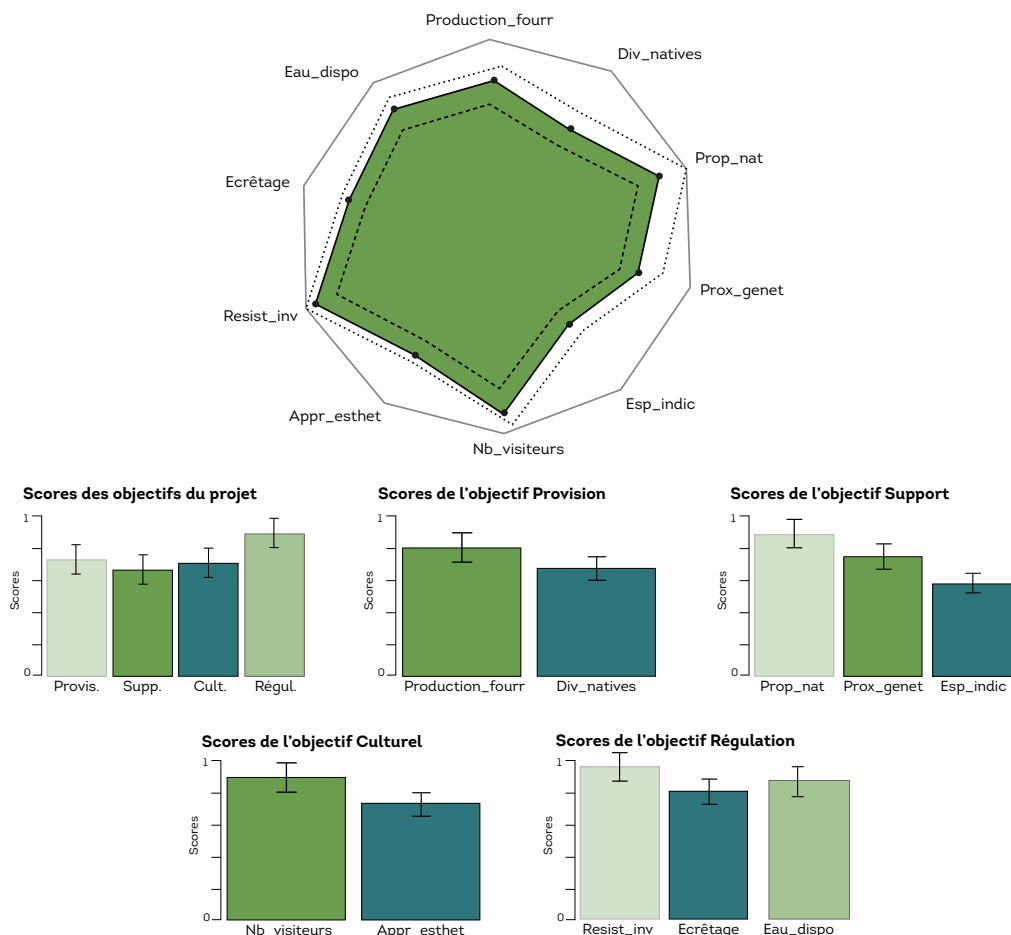


Figure 9 - Exemples de sorties graphiques créées par ASPIRE. Des diagrammes en barres et diagrammes radar peuvent être automatiquement générés, présentant les résultats par objectifs.

variables, des objectifs et ceux du projet pour chaque acteur. Il permet également de produire des graphiques illustrant les valeurs de ces différents scores. Le cadre de travail a été développé sur le logiciel R et peut être utilisé via une plateforme Shiny³⁹ disponible en ligne (<https://restoration.shinyapps.io/aspire/>).

EXEMPLE D'UTILISATION

Si nous prenons un cas d'étude fictif de restauration de zone humide en montagne, il est possible de regrouper les différentes variables servant à mesurer les services écosystémiques sous des grandes catégories de services: provision, support, culturel et régulation. Une fois les données récoltées sur le terrain, il est possible de produire des résumés graphiques des scores des variables, des objectifs et du projet par acteur (*Figure 9*). Ces graphiques permettent d'avoir à la fois une vue globale du projet mais également d'identifier les variables ou les services où la restauration écologique a très bien fonctionné et là où elle reste à améliorer.

InVEST⁴⁰

Développé dans le cadre du « Natural Capital Project » (www.naturalcapitalproject.org), un partenariat entre *The Nature Conservancy* et WWF ainsi que les Universités de Stanford et du Minnesota, InVEST est un logiciel téléchargeable permettant d'évaluer et de cartographier des services écosystémiques terrestres, aquatiques et marins, et de quantifier les impacts de divers scénarios de développement ou d'aménagement.

Les services écosystémiques inclus dans les 17 modèles disponibles (un par service) peuvent être évalués de manière biophysique (tonnes de carbone séquestrées, volumes d'eau épurés...) ou socio-économique (valeur sociale de la réduction d'émissions de CO₂, coûts de traitement de l'eau évités...). Ce logiciel modélise aussi bien la distribution spatiale et les volumes que les valeurs économiques actuelles et futures des services. Sont inclus notam-

ment les services de stockage et de séquestration du carbone, de pollinisation, d'épuration de l'eau, de rétention des sédiments, de protection côtière et d'habitat pour la biodiversité. InVEST fonctionne pour la plupart des modèles sur la base d'un outil SIG (ArcGIS).

Pour chaque service écosystémique, quatre niveaux de complexité de modélisation sont disponibles. Les modèles les plus simples affectent en général des valeurs biophysiques de référence à différents types d'occupation et d'utilisation des sols. Ils ne nécessitent néanmoins qu'un nombre limité de données d'entrée et amènent ainsi rapidement à des résultats. À l'inverse, les modèles les plus complexes nécessitent de collecter un grand nombre d'informations pour fonctionner, mais donnent des résultats très précis.

RECORD⁴¹

Créé en 1989 à l'initiative du Ministère en charge de l'Environnement, le REseau COopératif de Recherche sur les Déchets et l'Environnement (RECORD) est le fruit d'une triple coopération entre industriels, pouvoirs publics et chercheurs. L'objectif principal est le financement et la réalisation d'études et de recherches dans le domaine des déchets et des pollutions industrielles. Avec la multiplication des expériences des restaurations et l'évolution de la réglementation liée aux sites et aux sols pollués qui souligne aujourd'hui une volonté renforcée de préserver et restaurer la biodiversité, l'association a souhaité, en l'absence de méthodologie spécifiquement adaptée à ce type de sites, contribuer à faciliter la prise en compte des services écosystémiques et leur évaluation dans le cadre des mesures de restauration.

Afin de permettre l'utilisation des méthodes d'analyse et de mesure de la biodiversité disponibles, aussi bien pour le compartiment aérien que pour l'eau et le sol, le rapport propose une revue des principaux indicateurs connus pour mesurer

FOURNITURE

Capacité potentielle de la catégorie d'occupation du sol à fournir un service écosystémique spécifique.

DEMANDE

Demande potentielle du service écosystémique exprimée par toutes les parties prenantes opérant dans la catégorie d'occupation du sol donnée.

FLUX

Quantité de service écosystémique réellement consommé.

les fonctions clés des écosystèmes. Dans un second temps, le rapport de 142 pages, qui reprend le contexte réglementaire, les concepts clés et la méthodologie, propose des indicateurs pour évaluer les services rendus par les milieux. Il existe une synthèse de 19 pages de ce rapport. L'étude qui se focalise sur des milieux restaurés, s'intéresse aux zones humides et aux milieux prairiaux, pour lesquels elle propose une grille de sélection d'indicateurs permettant d'évaluer et de suivre l'impact des mesures de restauration mises en œuvre. Elle présente 3 cas d'étude détaillant la mise en œuvre de la méthode.

Croisement d'information géographique : approche matricielle

Burkhard *et al.*⁴² ont proposé une méthodologie pour évaluer la capacité à fournir/soutenir des services écosystémiques au niveau du paysage, fondée sur la création de cartes de **fonctionnalité territoriale**. Il s'agit d'une approche flexible et facilement transférable à plusieurs contextes, basée sur des matrices de **fourniture**, de **demande** et de **flux** de différents services écosystémiques, divisées par classes d'occupation des sols.

La cartographie de base utilisée par les auteurs pour identifier les différentes catégories d'occupation/utilisation du sol sur lesquelles construire les matrices est la CORINE Land Cover (unité cartographique minimale 25 ha, échelle 1:100.000), disponible au niveau européen et téléchargeable gratuitement sur le site Web de l'Agence européenne pour l'environnement (www.eea.europa.eu/data-and-maps/).

Le schéma « fourniture-demande-flux » se prête à identifier un équilibre « demande-fourniture » des services écosystémiques adéquat pour un territoire donné et s'avère un outil valable pour orienter des communautés entières vers une véritable durabilité environnementale.

La matrice de **fourniture** des services écosystémiques présente, pour chaque catégorie d'occupation/utilisation du sol, des valeurs de 0 à 5, où 0 correspond à une capacité négligeable à fournir un service donné, tandis que 5 correspond à une capacité très élevée.

De même, la matrice de **demande** des services écosystémiques se base sur les mêmes valeurs, où 0 signifie que la demande (consommation ou utilisation) d'un service donné pour la catégorie

LE PROJET INTERREG ESPACE ALPIN ALPES 2015 - 2018

Parmi les résultats du projet AlpES⁴³, il y a la création d'un portail WebSIG interactif au niveau de l'ensemble de l'espace alpin. Présentant la cartographie de nombreux services écosystémiques, le portail est organisé selon le schéma « fourniture-demande-flux » et la commune est l'unité territoriale de référence.

d'occupation/utilisation du sol est insignifiante (par exemple, la demande d'eau dans une forêt de conifères) et 5 correspond à une forte demande de ce service (par exemple, la demande d'eau dans une zone industrielle).

Enfin, la matrice de **flux** présente des valeurs variant de -5 à +5 et correspond à la superposition des deux matrices précédentes, de manière à obtenir un équilibre des services écosystémiques par catégories d'occupation du sol, où -5 correspond à une demande qui dépasse largement la fourniture d'un service donné pour une catégorie d'occupation du sol, alors que +5 indique une fourniture beaucoup plus élevée que la demande.

Les valeurs proposées par les auteurs sont basées sur plusieurs études de cas menées dans de nombreuses régions européennes⁴⁴ et sur des évaluations

d'experts⁴⁵, sachant que le choix des bons indicateurs pour chaque service écosystémique est probablement l'aspect le plus important pour une évaluation correcte⁴⁶.

Les matrices publiées sont composées de 22 services écosystémiques (9 de régulation, 11 d'approvisionnement et 2 culturels), choisis parmi différentes listes de services⁴⁷, et de 7 indicateurs d'intégrité écologique, représentatifs des principales composantes de la fonctionnalité écosystémique⁴⁸, tous attribués aux 44 catégories CORINE d'occupation des terres considérées par les auteurs.

Dans le système SIG, ces informations sont techniquement simples à représenter et il est possible de produire des cartes de fonctionnalité territoriale efficaces, qui peuvent être immédiatement comprises et interprétées.



COMMENT ÉTABLIR LES LIENS ENTRE LE FONCTIONNEMENT DU SITE ET LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES?

C'est le bon fonctionnement des écosystèmes qui garantit la fourniture des services. Ces fonctions écologiques constituent donc l'offre, dont l'homme détermine la demande et attribue la valeur. Ce concept de fonction, qui décrit les processus naturels de fonctionnement et de maintien des écosystèmes, appliqué aux zones humides a été largement étudié par la communauté scientifique⁴⁹. Il est également bien approprié par les gestionnaires de milieux naturels. Les paragraphes suivants qui décrivent les principales fonctions des zones humides reprennent pour une large part la synthèse proposée dans la Méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides (Gayet *et al.* 2016).

Quelles fonctions des zones humides rendent des services?

Trois éléments essentiels caractérisent l'ensemble des milieux humides, comme l'illustre le schéma ci-contre, inspiré et modifié à partir de ceux de Mitsch et Gosselink⁵⁰ et Gayet *et al.*⁵¹

Les différents paramètres hydrologiques, physiques, chimiques et biologiques interagissent entre eux pour assurer le fonctionnement du système. Si les conditions hydrologiques apparaissent souvent comme déterminantes dans la dynamique et la structure des zones humides, car elles influent sur les paramètres biologiques et physico-chimiques (conditions aérobies et anaérobies qui déterminent la disponibilité en nutriments, en oxygène, la structure de la végétation...), il existe également des processus de rétroaction (rétention des nutriments par les plantes, accumulation de matière organique...) qui influent sur les paramètres hydrologiques de fonctionnement du milieu.

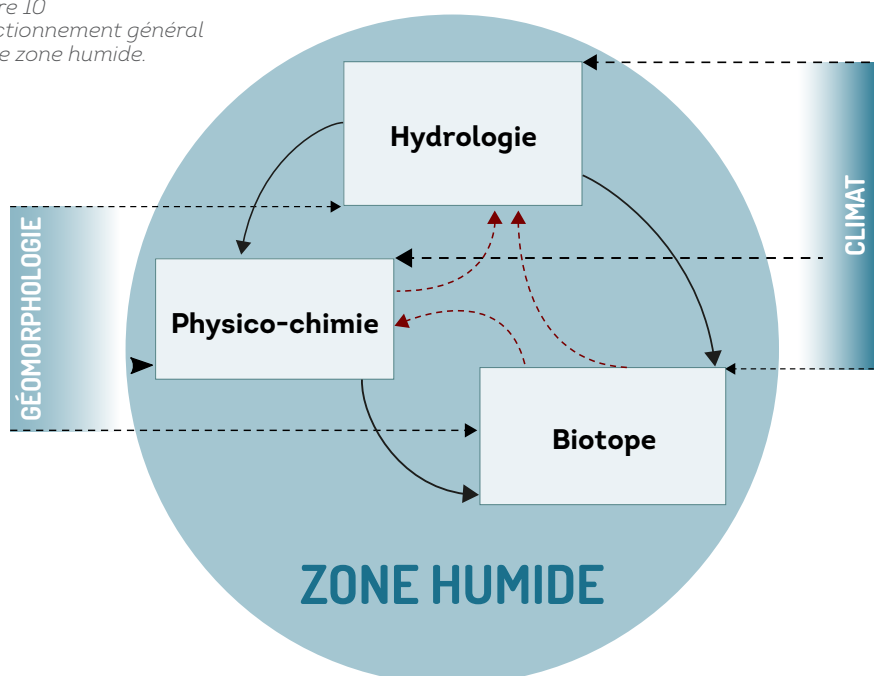
Derrière ce schéma de fonctionnement général, il existe toutefois une très grande diversité de fonctionnement et la combinaison des paramètres hydrologiques, physico-chimiques et biologiques se

traduit par des physionomies de zones humides aussi diverses. Les différentes typologies existantes illustrent la difficulté de les classer. Si les zones humides, de manière générale, assurent une multitude de fonctions que nous allons développer maintenant, il n'en demeure pas moins que, comme nous l'avons évoqué plus haut, ces fonctions peuvent être absentes ou s'exprimer de façon plus ou moins importante suivant les caractéristiques de fonctionnement de la zone humide ou du type de zone humide concernée.

Hydrologique

Les conditions hydrologiques, c'est-à-dire tant la quantité d'eau que sa répartition dans le temps (hydro-période) et l'espace (en surface et dans le sol), déterminent la présence ou non de zones humides. Elles affectent de nombreux facteurs abiotiques et biotiques dans la zone humide comme

Figure 10
Fonctionnement général
d'une zone humide.



l'anaérobiose des sols et la disponibilité en nutriments et influencent la composition et la structure des microorganismes, de la faune, de la flore et de la fonge.

Les zones humides sont des hydrosystèmes, c'est-à-dire des portions d'espace où, dans les trois dimensions, circulent des flux hydriques⁵². Cette approche systémique permet de mettre l'accent sur les processus et les modes de circulation de l'eau. Leur fonctionnement hydrologique peut être décrit et étudié par l'intermédiaire du bilan de l'eau. Ce concept vise à établir une comptabilité des entrées et des sorties d'eau de l'unité hydrologique au cours d'une période de temps donnée⁵³.

La formulation suivante peut être proposée pour les zones humides⁵⁴ :

$$(P + Q_{e_{su}} + Q_{e_{so}}) - (Ev + Q_{s_{su}} + Q_{s_{so}}) = \Delta R$$

avec :

P = précipitations

Q_e = débits entrants en surface (_{su}) et souterrains (_{so})

Q_s = débits sortants en surface (_{su}) et souterrains (_{so})

Ev = évapotranspiration

ΔR = variation de la réserve

Les principales sources d'alimentation en eau sont donc les précipitations et les écoulements en surface (ruissellement,

submersion par les crues, sources) et dans le sol (flux souterrains, nappe d'accompagnement des cours d'eau). Les pertes sont quant à elles liées à l'évapotranspiration, aux écoulements de surface et souterrains. Ces flux diffèrent fortement selon le type de zone humide. Leur résultante, c'est-à-dire la variation de la nappe d'eau dans le sol, qui permet la saturation en eau temporaire ou permanente de la zone humide, traduit cette diversité des types de fonctionnement hydrologique des zones humides.

Parce que l'eau qui transite dans les zones humides y est stockée à plus ou moins long terme, le ralentissement des écoulements dans les zones humides assure plusieurs fonctions hydrologiques : la régulation des écoulements avec l'écrêtement des crues et le soutien des niveaux de base des cours d'eau, la recharge des nappes, la rétention des sédiments ou la régulation du climat.

RÉGULATION DES ÉCOULEMENTS

Qu'il s'agisse des écoulements non chenaillés (ruissellement de surface, circulation souterraine) ou des écoulements concentrés dans des chenaux (cours d'eau), les zones humides, comme le traduit leur saturation en eau, sont réceptrices des écoulements, qu'elles ralentissent ou diminuent en stockant l'eau. À l'intérieur de la zone humide, une série de facteurs physiques et biologiques peuvent influencer cette fonction. Parmi ces facteurs, il y a notamment le mode d'occupation du sol qui détermine la rugosité du couvert végétal, la microtopographie (bras morts, dépressions, levées, infrastructures), la physionomie du réseau hydrographique (fossés de drainage, profil longitudinal et transversal des écoulements) et sa connexion aux cours d'eau (endiguement, sinuosité, incision) et les propriétés hydrauliques du sol. Les zones humides sont également des milieux où les transferts d'eau vers l'atmosphère sont très importants, l'évapotranspiration n'étant que très rarement limitée par la disponibilité de l'eau dans le sol.

L'ensemble de ces paramètres peut permettre aux zones humides de remplir deux fonctions hydrologiques souvent mises en avant, l'écrêtement de crue et le soutien des débits d'étiage ou du moins des débits de base des cours d'eau⁵⁵. Elles influent sur les volumes, mais surtout sur la dynamique des flux d'eau. Elles ont la capacité en surface (champ d'expansion des crues, stockage temporaire des précipitations) et dans le sol (variation de la zone saturée) d'emmagasiner de l'eau et de contribuer à réduire ou étaler les pics de crue dans les bassins versants. Le décalage entre entrée et sortie de l'eau dans la zone humide, en retardant les flux, contribue à soutenir les débits des cours d'eau, notamment en période d'étiage.

RECHARGE DES NAPPES

Le sol saturé en eau des zones humides qui constitue un aquifère où l'eau s'infiltre et circule lentement peut être en lien avec d'autres réservoirs aquifères plus profonds. Elles contribuent ainsi à recharger ces nappes souterraines, mais peuvent également constituer des zones de décharge de ces nappes. Cette fonction dépend principalement des caractéristiques hydrauliques du sol, de la géométrie de l'aquifère, de sa composition granulométrique (matière minérale, matière organique, taille des particules) et sa porosité qui détermine la conductivité hydraulique.

RÉTENTION ET ACCUMULATION DE SÉDIMENTS

Les zones humides accumulent les sédiments qu'ils soient exogènes, transportés par les cours d'eau, et le ruissellement (alluvions), la gravité (colluvions) ou le vent, mais également endogènes, c'est-à-dire produits sur place, comme c'est le cas pour l'accumulation de matière organique (tourbe).

Cette dynamique sédimentaire est déterminante dans le fonctionnement des zones humides. Elle anime notamment la dynamique des nutriments et des matériaux organiques. Plusieurs facteurs phy-

siques peuvent influencer les apports de sédiments, la connectivité de la zone humide aux cours d'eau (submersion) ou les caractéristiques des terrains entourant immédiatement la zone humide par exemple, mais également l'importance des sources de sédiments produits en amont dans le bassin versant (culture, construction...). Les facteurs physiques intrinsèques à la zone humide (microtopographie, pente, réseau hydrographique, nature et densité du couvert végétal) influencent pour leur part la capacité de rétention et de production de sédiments.

RÉGULATION DU CLIMAT

Le rôle des zones humides pour la régulation du climat, c'est-à-dire sur la composante atmosphérique du cycle de l'eau, peut être envisagé à deux échelles. A

l'échelle globale, la fonction est principalement liée à leur rôle dans les cycles du carbone et du méthane, comme nous l'évoquerons plus loin. A l'échelle locale, en évapotranspirant d'importantes quantités d'eau, les zones humides contribuent à la saturation de l'air en eau et influent sur le micro-climat local.

Physique et biogéochimique

De par les processus physiques et chimiques qui se produisent dans les zones humides, elles interviennent fortement sur les flux de matières minérales et organiques. Les microorganismes (bactéries, champignons...) présents dans les sols saturés en eau, dépourvus d'oxygène, mettent en place des processus d'oxydoréduction qui leur permettent de

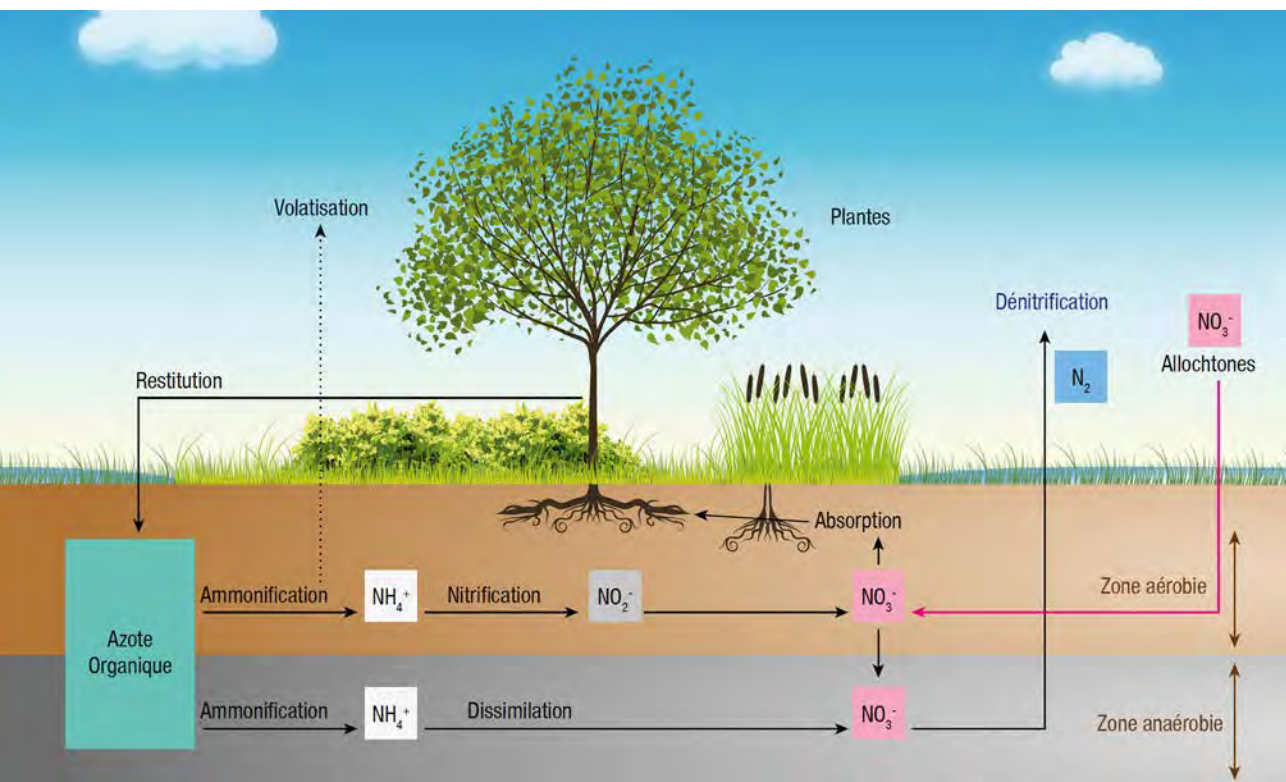


Figure 11 - Rôle de la végétation des milieux humides dans le cycle de l'azote⁵⁶.

respirer et transforment les composés contenant de l'oxygène (nitrates, oxyde de fer, sulfates...) en minéraux qui sont assimilables par les animaux et les organes souterrains des végétaux (racines...). Les zones humides remplissent des fonctions importantes dans les grands cycles biogéochimiques.

Dans le cycle de l'azote, par l'action des bactéries en conditions hydromorphes, les zones humides contribuent à la dénitrification. L'assimilation végétale est également un vecteur important lorsqu'il existe des pratiques de fauche, de coupe ou de pâturage qui contribue à l'exportation de la végétation en place.

Leur rôle dans le cycle du phosphore est lié à la dynamique hydrologique qui les fait passer alternativement du rôle de puits à celui de source. Le phosphore peut être stocké de manière relativement pérenne dans les sédiments lorsqu'il se combine à d'autres ions (principalement fer, aluminium, calcium) et ce dernier contribue à la fixation par les particules du sol.

Aujourd'hui, c'est la fonction des zones humides dans le cycle du carbone qui est principalement mise en avant. Le carbone est présent dans les sols, certaines roches mères, l'atmosphère et la biomasse végétale.

Les principaux mécanismes d'échange de carbone sont la photosynthèse, la respiration et l'oxydation. Comparativement à d'autres milieux, les zones humides sont souvent considérées comme des puits de carbone du fait des conditions anaérobies qui inhibent la décomposition de la matière organique, de la productivité relativement importante (stockage dans les compartiments végétaux aériens et souterrains) et du rôle de rétention des sédiments organiques exogènes. Le stockage de carbone dans une zone humide dépend donc du compartiment végétal (type d'habitat, biomasse aérienne et souterraine et durée de vie des organes) et de son hydrologie (hydromorphie des sols, conditions thermiques).

L'épaisseur et le type d'horizons qui constituent l'episolum humifère (c'est-à-dire l'ensemble des horizons supérieurs du sol contenant de la matière organique) donne une indication sur l'importance du stock de carbone séquestré dans le sol d'une zone humide. Plus cet horizon est important, plus le stock de carbone est élevé. Les horizons histiques (H) ou tourbeux, composés majoritairement de restes organiques qui se sont accumulés en raison d'une décomposition partielle des matières organiques, présentent des teneurs en carbone de près de 60 % de la masse sèche.

Écologique

La composition et la structure des communautés végétales et animales d'une zone humide résultent des interactions entre les conditions abiotiques du milieu (par ex. variables climatiques, hydrologiques, géomorphologiques) et les activités anthropiques. En retour, ces communautés affectent les caractéristiques hydrologiques et biogéochimiques de la zone humide, notamment via des rétroactions biotiques.

Les zones humides jouent un rôle important pour l'accomplissement du cycle biologique des espèces.

Cette fonction qui consiste à fournir un lieu de reproduction, d'alimentation, de gîte, se traduit par une importante diversité des espèces. Les milieux humides abritent d'innombrables espèces de plantes et d'animaux : 30 % des espèces végétales remarquables et menacées en France y sont inféodées.

Mais un grand nombre d'espèces qui accomplissent une partie de leur cycle biologique dans une zone humide, comme les oiseaux (50 %) et les amphibiens, utilisent également les habitats alentours pour se nourrir, y séjourner ou se reproduire. Elle assure également une fonction vis-à-vis de la connectivité pour les espèces.

Comment mesurer ces fonctions des zones humides?

Sans être exhaustif, nous souhaitons ici donner quelques repères pour les opérateurs qui souhaiteraient construire des jeux de données nécessaires à la bonne compréhension du fonctionnement d'une zone humide et à l'évaluation minimale des fonctions qu'elle remplit.

Données du bilan de l'eau

Les données peuvent être acquises auprès de fournisseurs de données ou collectées *in situ* après instrumentation des sites. Pour établir des bilans des variations des volumes d'eau qui transitent dans la zone humide, les valeurs **décadaires à mensuelles** sont utilisées. Pour aller plus loin dans la compréhension de la dynamique hydrologique et l'analyse de la réponse du milieu aux différents types de phénomènes météorologiques, il convient de disposer de données **horaires à journalières**.

Suivant les normes et recommandations de l'Organisation Météorologique Mondiale, les stations météorologiques des grands réseaux de mesure nationaux disposent de métadonnées permettant de caractériser la validité et qualité de la mesure des différents paramètres. Il convient dans ce cas de disposer de la plus longue série de données possible en raison des importantes variations interannuelles des conditions climatiques. Trois paramètres sont nécessaires, les précipitations en mm, l'évapotranspiration en mm ou les paramètres permettant son calcul (température, hygrométrie, ensoleillement, etc.) et les débits en mm (c'est-à-dire rapportée à la même unité de temps et de surface que les précipitations). L'instrumentation est possible, voire nécessaire, lorsqu'il n'est pas possible de disposer par ailleurs de données collectées dans des conditions similaires au site d'étude.

Toutefois, cette instrumentation ne permet généralement pas de disposer de longue série temporelle de données.

En l'absence de données météorologiques et de données de débits, la mesure de la dynamique de la nappe (piézométrie), qui permet d'observer la variation du stockage de l'eau, et des propriétés physiques du milieu (microtopographie, volume du sol hydromorphe, propriétés hydrauliques du sol) permet de bien appréhender la fonction de stockage et de régulation des zones humides.

Données du fonctionnement biogéochimique

C'est dans les premiers centimètres de sol, lieu d'interface de l'atmosphère, de l'hydrosphère et de la lithosphère, que se produisent les processus biogéochimiques qui nous intéressent. Une attention particulière portera sur le sol, dont il convient à la fois de bien décrire et de connaître la dynamique de l'hydromorphie.

Il convient donc de bien connaître ce sol qui peut être classé dans deux grandes catégories pour les zones humides. En effet, si l'hydromorphie, c'est-à-dire la formation de marques physiques d'une saturation régulière en eau, est commune à toutes les zones humides, elle se traduit soit par l'accumulation de matières organiques, soit par des phénomènes d'oxydo-réduction du fer. Les connaissances suivantes sont indispensables :

- la description de la stratigraphie et des différents horizons du sol ;
- le sondage et la cartographie de la profondeur du sol hydromorphe ;
- l'analyse des propriétés physiques du sol, teneur en eau, porosité, teneur en matière organique et minérale, pH.

Les taux de matière minérale et de matière organique sont un élément déterminant du comportement hydraulique du sol et traduisent la dynamique d'accumulation de la matière. Pour déterminer les proportions de ces différentes fractions, des échantillons sont analysés en laboratoire en réalisant une perte au feu.

La porosité correspond à la présence de vides interstitiels interconnectés ou non dans un sol ou une roche et s'exprime par le rapport du volume de ces vides au volume total du milieu. Pour la tourbe par exemple, elle est rarement inférieure à 0,8, alors que pour un sol minéral elle varie entre 0,4 et 0,6. De cette porosité dépend la quantité d'eau que peut contenir le sol. On peut exprimer la teneur en eau du sol en établissant le rapport du volume de l'eau contenu dans un volume donné.

La biodiversité

Pour connaître la biodiversité, il est nécessaire de mobiliser les données :

■ **d'inventaires naturalistes**, comme la liste de l'ensemble des espèces connues sur le site (faune/flore) ou liste des habitats (et cartographie si elle existe) ;

■ **d'indicateurs d'état du fonctionnement**, comme la Boîte à outils de suivi des zones humides par exemple. Il s'agit d'un recueil d'indicateurs, associant protocole de collecte de données, méthode de calcul de valeurs indicatrices et éléments d'analyse et d'interprétation, développé et déployé sur le territoire de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse depuis 2010.

Sur la base de ces données, il est possible d'utiliser les concepts de l'écologie du paysage en décrivant la composition des habitats par des indices de richesse, de diversité ou d'équitabilité :

■ **la richesse des habitats** ; cela consiste à dénombrer les types d'habitats présents dans une étendue spatiale⁵⁷ ;

■ **la diversité des habitats** peut être mesurée avec des indices comme par exemple celui de Shannon et Weaver (1949) ; elle révèle par exemple si l'abondance relative des habitats (superficie) est homogène ou non dans une étendue spatiale ;

■ **l'équitabilité des habitats** est l'équivalence entre la représentation de différents types d'habitats d'une mosaïque ; elle résulte du rapport entre la diversité observée et la diversité théorique maximale.



COMMENT ATTRIBUER UNE VALEUR AUX SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES ?

Pour les différents acteurs de la gestion des milieux naturels, attribuer des valeurs aux services écosystémiques c'est aborder des notions et concepts des sciences économiques et sociales avec lesquels ils ne sont pas toujours très familiers. Si nous balayons ici un panorama de la question, nous renvoyons le lecteur qui souhaiterait aller plus loin vers le chapitre V de l'ouvrage de Chevassus-au-Louis *et al.* (2009). La polysémie du terme de valeur et son utilisation dans différents domaines, comme la philosophie, les mathématiques, l'art (peinture, musique), le droit, la linguistique, la finance ou l'économie, nécessitent que nous précisions ici le ou les sens sous-tendus par son usage dans l'évaluation des services écosystémiques.

Préalable à l'usage de la notion de valeur des écosystèmes

Caractère mesurable, évaluation de son utilité pour la société, la valeur attribuée aux services écosystémiques a une acception économique. Il s'agit de définir la relation d'équivalence subjective entre les biens, l'offre et la demande, donc ici la relation entre, d'un côté, les composantes physiques, biotiques et abiotiques du fonctionnement des milieux et, de l'autre, le regard que porte l'individu sur ces éléments. Cette relation dépend de son utilité et de sa rareté, mais n'impose pas l'existence de marché. Par conséquent, la valeur n'est pas nécessairement, et pour un certain nombre de services, monétaire. Par ailleurs, anthropocentrée, elle ne peut traduire les intérêts des générations futures ou des autres espèces du vivant qu'au regard de leur

influence sur le bien-être humain. Dans une démarche d'attribution de valeur, chaque individu, agent et sujet, est considéré comme le meilleur juge de ses préférences. Les valeurs, cette fois éthiques, morales, philosophiques, auxquelles se réfèrent les individus pour rendre compte de leur choix peuvent appartenir à différents ordres de justification. Il apparaît donc nécessaire de sensibiliser et d'éduquer les individus pour les aider à former leurs préférences. Toutes les démarches d'attribution de valeur passent par une phase préalable de collecte de données sur le fonctionnement et les fonctions de l'écosystème pour expliciter, tant du point de vue quantitatif que qualitatif, l'offre de service dont les acteurs déterminent la demande.

Quel type de valeur attribuer ?

L'ensemble des bénéfices que l'écosystème peut fournir aux individus et sociétés, qu'ils soient monétaires ou non, cor-

respond à la notion de valeur économique totale (VET). Au-delà des ressources productives, les écosystèmes fournissent

des aménités, c'est-à-dire qu'ils ont utilisé directe pour les êtres-humains quelles que soient leurs motivations. La VET inclut donc ces différents types de valeurs, qui sont illustrés dans le schéma ci-contre. Pour des raisons techniques et éthiques, elle n'a pas vocation à sommer l'ensemble des valeurs attribuées à ses différentes composantes. Elle se décompose en deux catégories principales, les valeurs d'usage et les valeurs de non-usage.

Valeur d'usage

USAGE DIRECT

La valeur d'usage directe représente la valeur traditionnellement véhiculée sur les marchés économiques. On peut penser à tout bien ou service provenant de la nature et pour lequel il est possible de déboursier une somme d'argent pour se l'approprier. On distingue parfois les usages de consommation directe (alimentation, biomasse énergie, plantes médicinales), de ceux s'insérant dans un système productif (ressources industrielles, source d'énergie, matériaux de construction). D'autres usages directs n'impliquent pas la consommation de l'écosystème (usages récréatifs ou esthétiques, tourisme, sciences et éducation).

USAGE INDIRECT

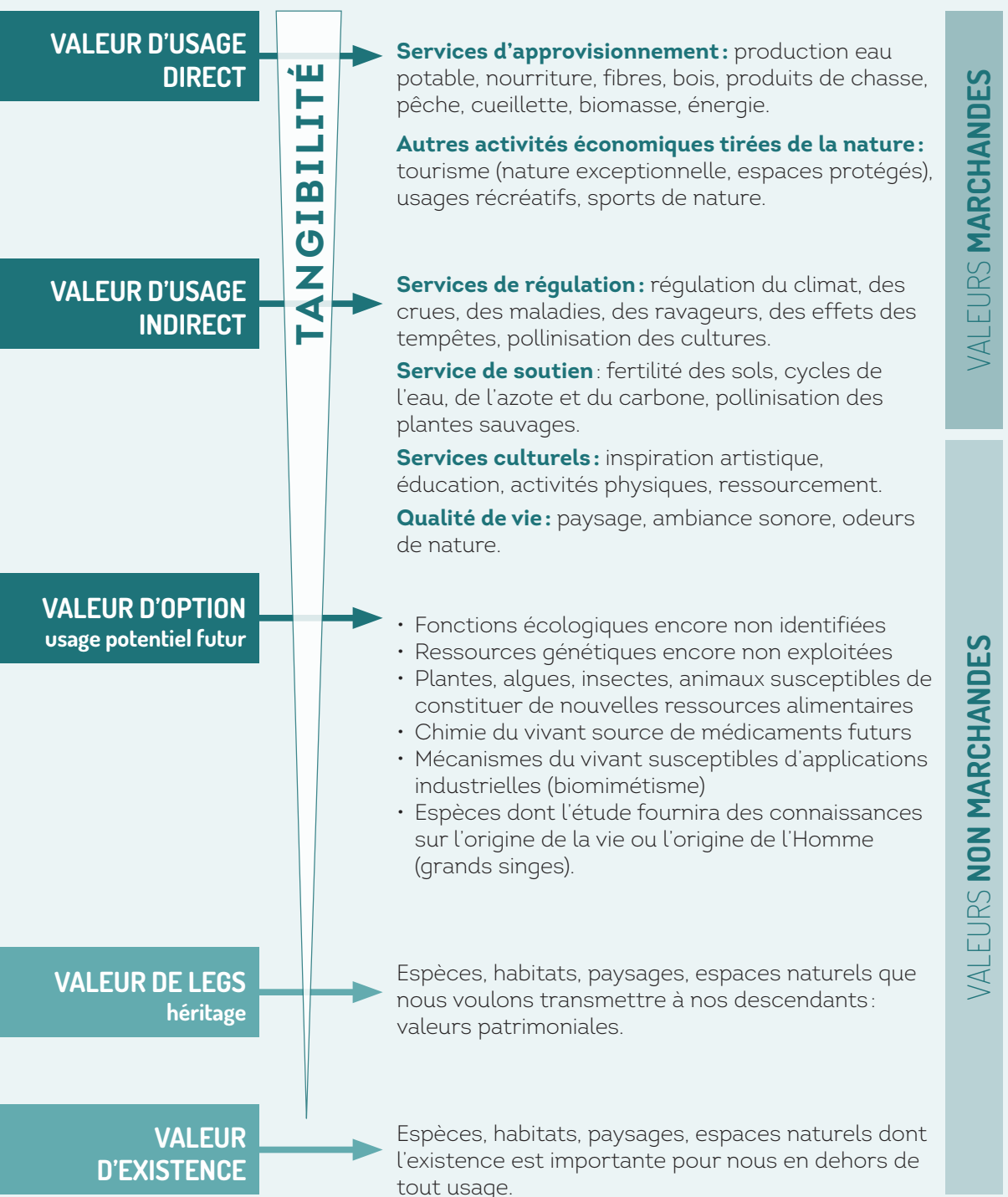
Les usages indirects correspondent aux avantages retirés des fonctions de régulations et de support réalisées par des écosystèmes dont les individus bénéficient sans être en interaction avec eux et, souvent, sans en avoir une conscience claire. Cette valeur d'usage n'est donc pas véhiculée sur les marchés traditionnels. On peut penser par exemple à des services naturels rendus par les capacités de régulation du climat, la contribu-

Figure 12 - Cadre de référence des économistes pour l'appréhension des différentes dimensions de la valeur d'un écosystème⁵⁸.

VALEUR ÉCONOMIQUE TOTALE [V.E.T.]

*Valeurs
d'usage*

*Valeurs de
non usage*



tion à la productivité des agrosystèmes, à la prévention des événements extrêmes, au contrôle biologique, à des fonctions esthétiques, d'habitats pour la faune ou spirituelles qui contribuent positivement à l'utilité de l'utilisateur.

Il faut souligner que ces valeurs ne correspondent pas seulement ni nécessairement à des usages effectifs actuels. Elles concernent également des usages futurs.

VALEUR D'OPTION

Indépendamment d'un usage actuel ou futur, les écosystèmes possèdent une valeur d'option qui se traduit par un surcroît de valeur attribué aux options qui ne diminuent pas les possibilités futures de choix. Il s'agit par exemple de la valeur d'utilisation future des ressources naturelles. On distingue aujourd'hui deux valeurs d'option, selon que l'incertitude porte sur le comportement futur (le décideur ne sait pas, au moment présent, s'il consommera le bien) ou sur l'utilité qui sera effectivement retirée de son usage dans un contexte d'information croissante et de choix entre des options plus ou moins réversibles.

VALEUR DE NON-USAGE

Les valeurs de non-usage sont difficilement quantifiables mais sont bien réelles en participant au bien-être humain. Elles déterminent souvent les préférences des individus et leur consentement à payer. Elles s'inscrivent dans une optique de respect et d'équité transgénérationnelle. Elles traduisent l'idée que l'individu reprend à son compte dans ses motivations ou son bien-être les valeurs éthiques qui paraissaient ne pas pouvoir être intégrées dans un cadre anthropocentrique, comme la dimension altruiste envers les autres êtres humains, les espèces non humaines ou la Nature en général.

On intègre donc ici les valeurs liées à l'altruisme :

- **envers nos contemporains**
(d'autres que nous tirent un bénéfice des écosystèmes - valeur d'usage par procuration);
- **envers nos descendants**
ou plus généralement les générations futures (valeur de leg);
- **envers les espèces non humaines**
auxquelles nous pouvons reconnaître une certaine forme de droit moral à exister (valeur d'existence).

Quelle méthode d'attribution de la valeur ?

L'évaluation des différents types de valeur se fait par le concours de méthodes variées qui sont reliées aux théorisations propres à l'économie. Elles reposent sur les coûts associés à la perte des services offerts par les écosystèmes ou analysent les préférences et comportements des individus. Pour plus de détails sur la mise en œuvre de ces méthodes, nous renvoyons le lecteur vers le guide dirigé par Revéret (2013) que nous reprenons largement ici.

Les marchés directs

En général, ces méthodes sont simples et les données requises pour l'analyse peuvent être facilement accessibles, mais leur application reste limitée aux biens commercialisés

ou aux services qui ont un prix réel. Il faut également avoir à l'esprit qu'il existe des imperfections du marché ou que des politiques peuvent fausser les prix du marché les empêchant de refléter la valeur économique des biens ou des services à la société dans son ensemble. Il existe également, des variations saisonnières et des effets sur les prix d'autres facteurs qui doivent être considérés lorsque les prix de marché sont utilisés dans l'analyse économique. On peut donc évaluer la valeur d'usage direct de biens et services écosystémiques marchands en se référant à la valeur qu'ils ont sur les marchés. C'est la méthode la plus simple. Cette méthode mesure les avantages économiques des biens commercialisés en se basant sur la quantité de ces

biens que les consommateurs se procurent à des prix différents et, du côté du producteur, la quantité offerte à des prix variables. Toujours en se basant sur les marchés, il existe également des méthodes qui s'intéressent à l'impact de l'évolution qualitative ou quantitative d'un service écosystémique sur la production. Elles reposent sur le calcul du différentiel de production d'un bien ou d'un service commercialisé mesurable entre les deux scénarios pour mesurer la variation des bénéfices en liens avec l'évolution de l'écosystème.

Les coûts

L'approche par le coût des dommages évités, le coût de remplacement, les dépenses de protection et les méthodes de coûts de substitution sont des méthodes connexes qui permettent d'estimer les valeurs des services écosystémiques. Elles estiment la valeur des écosystèmes à travers le paiement pour des alternatives aux services rendus. On parle de dépenses de protection ou de coûts de remplacement. On trouve de nombreux exemples simples, comme le coût de construction d'un bassin écrêteur de crue en remplacement du service de stockage de l'eau d'une zone humide. Ces méthodes sont très utilisées car il est plus aisé de mesurer les coûts de production de biens et services de protection ou de remplacement que d'estimer la volonté des gens à payer pour certains services écosystémiques. Toutefois, elles peinent à intégrer les biens et services de façon holistique, se concentrant généralement sur une seule fonctionnalité de l'écosystème.

Les préférences révélées

Il s'agit de méthodes indirectes basées sur le comportement actuel des agents économiques sur des marchés économiques et qui représentent donc leur consentement à payer réel, de façon directe ou indirecte, pour des aménités environnementales.

Ainsi par exemple, la méthode des coûts de transport déduit la valeur d'un change-

ment du niveau de ressources ou de l'environnement à partir des données observées sur les marchés de certains biens ordinaires. Son principe repose sur le fait que les consommateurs manifestent l'intensité de leur intérêt envers un site selon les dépenses qu'ils engagent pour s'y rendre. Cette méthode est utilisée pour évaluer la valeur d'un site touristique.

La méthode des prix hédonistes évalue la valeur des variations de la qualité de l'environnement ou des ressources naturelles qui peuvent affecter les prix du marché. C'est par exemple le cas du paysage ou plus généralement de la qualité de l'environnement qui influe sur la valeur d'un bien immobilier. La méthode vise donc à évaluer la contribution d'une caractéristique spécifique parmi un ensemble dans le niveau de prix d'un bien composite.

Toutefois, très souvent, les transactions réelles de marché, bien qu'elles puissent révéler directement ou indirectement certaines valeurs d'usage d'un changement de l'environnement par des comportements de marché des consommateurs, ne peuvent pas illustrer la valeur totale de ce changement. Cette dernière inclut très souvent une proportion importante de la valeur d'usage passive, qui ne s'associe à aucun comportement observable, et de la valeur de non-usage.

Les préférences exprimées

On utilise les méthodes basées sur les préférences exprimées pour mesurer la valeur de l'environnement et des ressources naturelles via des comportements de non-marché. Il s'agit de créer un marché simulé dans le but d'identifier les arbitrages des individus, à travers l'enquête, entre le prix à payer et l'amélioration de l'environnement. La force de ces méthodes de préférences exprimées est leur capacité d'englober les différents composants de la valeur économique totale. L'évaluation contingente fondée sur les préférences exprimées est la méthode la plus souvent utilisée. Elle se base sur la présentation de scénarios futurs à un groupe de répondants qui évalueront

monétairement la variation ex ante de leur bien-être en rapport à la nature de ces scénarios. Le répondant possède toujours le choix d'opter pour un scénario de statu quo qui traduit un état de satisfaction par rapport à la situation existante. L'approche multi-attributs présente aux répondants une série d'alternatives qui sont définies par des attributs (dont un parmi eux est le prix ou paiement). La présentation de ces alternatives se fait par un éventail de choix et le but est d'obtenir une estimation de la valeur pour chaque attribut. Une vigilance particulière est nécessaire dans l'utilisation de ces méthodes. La volonté de payer des individus, donc le bien-être qu'ils peuvent en soutirer, se réfère souvent à la perception qu'ils ont du bien ou du service et non pas nécessairement à sa fonctionnalité écologique.

Transfert des bénéfices

Lorsqu'il n'est pas possible d'étudier directement un site pour attribuer une valeur monétaire à partir de données locales, il est possible d'utiliser les méthodes de transfert de bénéfices. Cette impossibilité peut être due à des contraintes de temps ou de ressources, par exemple. Il s'agit donc de transférer une valeur ou plus largement un résultat déterminé sur un site déjà étudié et la transposer à un autre pour lequel on souhaite évaluer les services écosystémiques.

Si cette démarche a été très utilisée pour communiquer sur l'intérêt de la préservation des milieux, pour s'assurer que ce transfert est pertinent, il est nécessaire d'utiliser des méthodes et protocoles très précis, bien détaillés dans le guide pour « l'évaluation économique des biens et services écosystémiques dans un contexte de changements climatiques ». Les auteurs notent qu'il demeure un écart considérable entre la rigueur de la littérature, qui présente des méthodes complexes, et la pratique du transfert des bénéfices. Généralement on distingue les méthodes de transfert d'unité ou de valeur fixe et le transfert de fonctions. Le transfert de valeur consiste à utili-

ser directement une valeur de volonté à payer sous la forme d'une moyenne par ménage/individu ou par unité de surface estimée au site analysé pour l'appliquer au site cible. Comme il existe toujours des différences entre les caractéristiques du ou des sites où a été réalisée l'étude originale et celles du site cible, il est préférable de réaliser des ajustements de valeur que l'on transfère en fonction des caractéristiques du site (surface, revenu des moyens des populations, etc). Le choix de l'étude de référence est ici prépondérant.

Le transfert de fonction consiste non pas à utiliser la valeur, mais la relation entre la volonté de payer d'un individu et des caractéristiques de celui-ci ou du site analysé. Il s'agit d'appliquer le modèle d'une étude de référence, élaborant ou expliquant, la valeur monétaire. Ainsi, les caractéristiques socio-économiques et démographiques de la population du site, de même que les caractéristiques physiques du site et de l'utilisation de celui-ci, peuvent être intégrées dans la fonction.

Lorsqu'il existe de multiples études de référence, il est possible de construire une valeur transférable d'un service écosystémique à un autre site similaire, à l'aide de méta-analyses qui utilisent les méthodes statistiques. L'avantage le plus évident d'une telle approche par rapport à la méthode de transfert de fonction est que la méta-analyse permet de réduire les biais potentiels dans le choix du site analysé.

Différents tests d'évaluation de la qualité de ces méthodes sont proposés. Il apparaît que la bonne application de ces méthodes nécessite des compétences techniques poussées et que derrière leur apparente facilité de mise en œuvre (réduction du temps et du coût), les risques d'attribuer une valeur biaisée sont très importants. Il apparaît donc que la technique de transfert de bénéfices ne devrait pas être employée lorsqu'une valeur précise est nécessaire à la prise de décision.

QUELS SERVICES RENDUS PAR LES ZONES HUMIDES ALPINES ?

Afin de promouvoir la protection des zones humides, les partenaires du projet RestHALp se sont donné l'objectif d'améliorer la connaissance sur les bénéfices que l'Homme tire du fonctionnement de ces écosystèmes dans le contexte alpin. Le croisement des données qualitatives et de perception et des données quantitatives collectées sur sept sites en Savoie (France) et en Vallée d'Aoste (Italie) a permis de réaliser des fiches de synthèse qui constituent des exemples de services rendus par les zones humides alpines. Ces fiches sont des outils de promotion de l'intérêt de ces milieux pour l'Homme auprès des élus et acteurs économiques locaux.

SITES D'ÉVALUATION ET DE PROMOTION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

SAVOIE

- Marais des Chassettes ;
- Marais de Chautagne ;
- Marais de la Plesse ;
- Tourbière de Montendry ;
- Tourbière du Plan de l'Eau.

VALLÉE D'AOSTE

- Réserve Naturelle Les Îles de Saint Marcel ;
- Tourbière de Pra Suppiaz.

Conservation de la diversité spécifique et génétique

Les zones humides participent à l'appui et au maintien de la diversité spécifique et génétique, comme habitat de reproduction, de nourrissage...

LA TOURBIÈRE DU PLAN DE L'EAU ABRITE À ELLE SEULE :

- **351 espèces floristiques différentes,**
- **5 espèces d'amphibiens et reptiles,**
- **3 espèces de mammifères,**
- **25 espèces d'oiseaux...**

Ces inventaires, réalisés par le CEN Savoie, ne représentent pas des listes exhaustives. Ce service est bien perçu par les acteurs du territoire, qui le placent parmi les 5 services les plus rendus par le site.

Certaines espèces sont inféodées ou étroitement dépendantes à ces milieux humides. Les zones humides permettent le maintien d'espèces qui participent au bon équilibre et fonctionnement des écosystèmes. La préservation de la diversité biologique est par ailleurs l'une des grandes préoccupations actuelles sur la planète.

Cette conservation contribue à la résilience des écosystèmes face aux changements qui les affectent (climatique notamment) mais aussi à la fourniture de services dépendants directement de ces ressources biologiques et génétiques : approvisionnement en ressources alimentaires, pollinisation, patrimoine (en lien avec le patrimoine naturel), régulation des cycles hydrologiques (rôle de la végétation dans le ralentissement des eaux), ou encore régulation du climat (rôle des sphaignes sur les tourbières).



©V. Bourgoïn/CEN Savoie



Figure 13 - *Utricularia minor* ©A. Fleischmann

contribuant au stockage de carbone)... Les milieux humides abritent un grand nombre d'espèces animales et végétales: oiseaux, amphibiens, mollusques, poissons, plantes aquatiques, mousses... Il est estimé que 30 % des espèces végétales remarquables et menacées vivent dans les milieux humides, et qu'environ 50 % de l'avifaune dépend de ceux-ci. Les différents types de milieux humides permettent d'abriter des cortèges d'espèces bien différents.

Le Marais des Chassettes et la tourbière du Plan de l'Eau sont deux sites de milieux humides, ils abritent néanmoins des espèces très différentes, de par les habitats divers proposés par chaque site. Les roselières présentes dans le Marais des

Chassettes permettent à la Rousserolle effarvatte d'être présente sur le site, ainsi qu'à un cortège d'espèces forestières grâce à ces boisements humides denses (Pic épeiche, Grive musicienne...). La tourbière du Plan de l'Eau bénéficie d'autres habitats abritant d'autres types d'espèces comme la Petite Utriculaire (*Utricularia minor*) (Figure 13), profitant des trous d'eau de la tourbière, ou encore des Lépidoptères (49 espèces ont été recensées sur le site) comme le Petit apollon (*Parnassius phoebus*), espèce protégée et inféodée aux bords de torrents de montagne. Les amphibiens sont également des espèces ayant besoin des zones humides pour vivre ou se reproduire. Les milieux humides savoyards abritent un cortège d'espèces d'amphibiens: Crapaud commun, Crapaud calamite, Grenouille agile, Salamandre tachetée, Sonneur à ventre jaune, Triton palmé, Triton alpestre (Figure 14)... La Grenouille rousse (*Rana temporaria*) est inscrite sur les listes rouges comme espèce quasi-menacée, elle est présente sur les cinq sites étudiés.



Figure 14 - *Triton alpestre* ©M. Bouron/CEN Savoie

L'enquête menée auprès des habitants du Marais des Chassettes a montré que toutes les personnes interrogées s'accordaient à dire que le marais rendait un rôle évident de refuge pour la biodiversité. Néanmoins, le rôle du marais dans l'accueil d'espèces « rares » a été perçu de manière plus contrastée.

Sur les 18 réponses: 12 ont répondu positivement, 2 négativement, et 4 ont répondu ne pas savoir.

Régulation des cycles hydrologiques et de protection contre le risque inondation

Le service de protection contre le risque inondation est un des services majeurs et bien connus rendus par les zones humides. L'ensemble des enquêtes, questionnaires et autres démarches menées prouvent cette reconnaissance (évoqué, placé à la première position des services rendus...), et ce, quelle que soit la réalité physique des phénomènes mis en jeu.

Des zones reconnues comme stratégiques...

LE MARAIS DE CHAUTAGNE : ZONE D'EXPANSION DES CRUES DU RHÔNE

Les graves inondations du Rhône de 2003 (estimées à 1 milliard d'euros de dégâts) ont déclenché une prise de conscience de l'intérêt d'une politique globale de prévention des crues. La plaine de Chautagne-lac du Bourget a ainsi été inscrite en tant que Zones d'Expansion des Crues du Rhône, grâce à ses capacités de stockage et d'étalement des crues. Le débordement du Rhône dans cette zone,

LES CRUES DU RHÔNE DE JANVIER 2018

Les données collectées par le CEN Savoie sur une parcelle en restauration permettent d'illustrer ce rôle hydrologique. Les crues du Rhône survenues les 4 et 22 janvier ont atteint respectivement les niveaux de la crue biennale et de la crue quinquennale. Lors du second épisode de crue, le Rhône atteint la cote de 3,59 m (1930 m³; altitude 238,21 m) au pont de la Loi. Compte tenu de la taille du Plan de Prévention des Risques d'Inondation-PPRI (23,8 km²), le volume d'eau qui s'est répandu sur la Chautagne peut être estimé à 415 000 000 m³ au plus fort de la crue. La parcelle est submergée d'une lame d'eau de 74 cm (altitude 233,94 m). L'eau sera stockée sur le sud de la Chautagne pendant 4 à plus de 30 jours (Figure 15).

aux enjeux moindres puisque adaptée à ces phénomènes, permet une diminution du débit et un étalement dans le temps du débit maximum, protégeant ainsi la ville de Lyon située en aval en diminuant l'ampleur du phénomène de crue.

Figure 15 - Crues de janvier 2018 sur la parcelle D705 (J. Porteret / CEN Savoie).

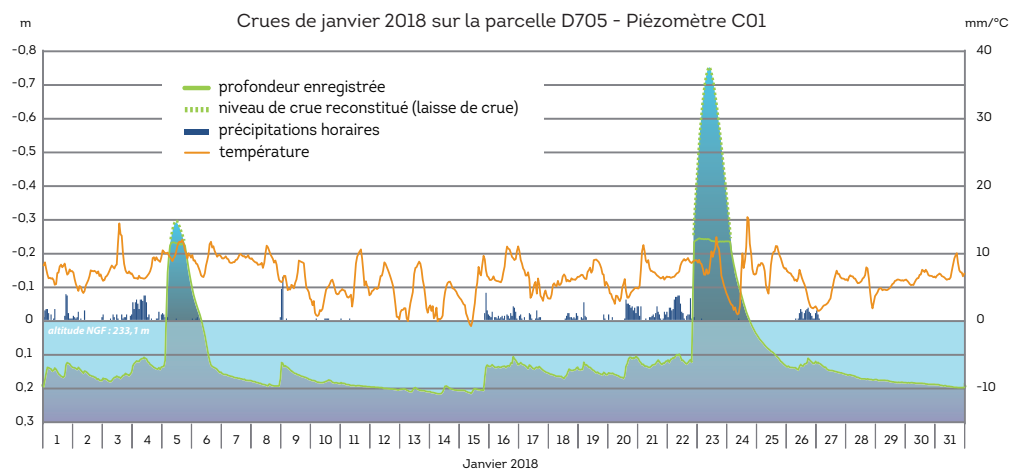




Figure 16 - Crue sur le Marais de la Plesse ©V. Bourgoïn/CEN Savoie

LE MARAIS DE LA PLESSE : UN « EMPLACEMENT RÉSERVÉ »

Situé sur la commune de Saint-Offenge dans l'Albanais et d'une taille bien plus modeste que le Marais de Chautagne, le Marais de la Plesse joue à son échelle son rôle de service contre le risque inondation pour la commune et celles situées en aval. Le rôle de protection du marais ne fait pas de doute pour le maire de Saint-Offenge. Convaincu de l'importance du marais pour la protection de sa commune, celui-ci a entamé des démarches de classement du marais en « *Emplacement Réserve* » dans le Plan Local d'Urbanisme. En 2008, il entama des travaux de redirection des eaux de pluie vers le marais, afin de lui rendre ses capacités hydrauliques « naturelles ». Dans une dépression peu creusée, le marais et son remplissage tourbeux (d'une épaisseur d'1 m environ), constituent un réservoir qui se remplit d'eau lors des épisodes pluvieux, il la restitue lentement au cours d'eau (Figure 16). Ainsi, les fortes précipitations de l'hiver 2018 ont submergé le marais pendant près de 4 mois.

ET LA PERCEPTION DES HABITANTS ?

Des enquêtes auprès des habitants pourraient être menées afin de connaître leur perception sur ce service rendu par les zones humides, ayant connu et subissant les inondations en Chautagne. Sur le Marais de la Plesse, l' élu interrogé émettait des doutes sur la connaissance et la conscience de ce service par les riverains. Si le vécu pourrait être relié à la perception du service, les entretiens menés en Chautagne avec les agriculteurs n'ont pas permis de valider cette hypothèse. En effet, aucun agriculteur n'a évoqué le rôle du marais pour la réduction du risque inondation. Les agriculteurs ayant le cœur de leur exploitation localisé sur le marais n'ont pas non plus évoqué les inondations.

« Un immense bassin de rétention naturel qui sert lors des crues décennales »
Bernard Gelloz, maire de Saint-Offenge, 30 mai 2018

Régulation du climat

À l'échelle locale et globale, les milieux humides jouent un rôle non négligeable dans la régulation du climat. Si avec le contexte actuel de changement climatique le rôle des zones humides pour la régulation du climat est bien connu à l'échelle planétaire, leur impact à une échelle plus locale est moins documenté.

Au niveau global

Le rôle et l'importance des milieux humides pour la régulation du climat global s'effectuent par l'intermédiaire de leur fonction de stockage de CO₂, principal gaz à effet de serre. Des études ont prouvé que les tourbières, malgré leur très faible surface, concentrent 30 % du carbone contenu dans les sols, et on estime leur capacité moyenne de stockage à 1400 tonnes de CO₂ par hectare⁵⁹. Sur le Marais de

Chautagne, le volume de carbone stocké sur l'ensemble de la surface tourbeuse de la zone humide (qui couvre une surface de 1700 ha) a été estimé à **10 millions de tonnes**. Ce service reste néanmoins sensible aux changements qui l'affectent: l'assèchement des zones humides, en plus d'engendrer la perte de cette fonction de stockage, provoque un relargage de ce carbone stocké dans l'atmosphère⁶⁰.

Au niveau local

Au niveau local, les zones humides impactent le climat en modifiant les précipitations, la température, l'humidité de l'air...⁶¹. Néanmoins, la difficulté d'appréhension de ce service explique le peu de données disponibles à ce sujet dans la littérature. Quelques observations de ce service ont pu être faites sur les sites étudiés.



©J. Porteret/CEN Savoie

LE MARAIS DE CHAUTAGNE

Les données ci-dessous ont été collectées via l'installation d'une station météorologique par le Conservatoire sur une parcelle de Chautagne (nommée « Marais - D705 »). Ces données ont été comparées avec des données collectées par une autre station météorologique localisée sur la commune de Chindrieux, également située en Chautagne, à quelques kilomètres de l'autre station.

La première figure (Figure 17) représente les températures maximales (Tx), moyennes (T) et minimales (Tn) enregistrées par mois par les deux stations sur la période juillet 2017 - juin 2018. Elle montre que les températures moyennes sur le marais sont constamment plus fraîches que celles de la commune.

La seconde figure (Figure 18), plus complète, comprend des données de radiation solaire, de température, et d'humidité relative sur 3 jours (28, 29, 30 juillet 2018). On remarque que l'humidité de l'air dans

le marais durant la nuit est clairement plus élevée que celle à Chindrieux. Les températures sont également toujours plus basses. Les phénomènes observés peuvent être la résultante de l'évapotranspiration, du type de végétation présente sur le marais...⁶².

LE MARAIS DES CHASSETTES

Marais périurbain, il est à proximité directe des habitations et des habitants. Lors de l'enquête réalisée sur le marais, les habitants de ses bordures ont fait allusion à la fraîcheur apportée par le marais, surtout durant l'été, et à l'humidité de l'air plus élevée que la moyenne.

Si certains apprécient cette fraîcheur, d'autres habitants subissant des nuisances (mouches, moustiques) perçoivent cette ambiance comme un danger au niveau sanitaire. Aucune donnée quantitative climatique ne permet à ce jour de mettre en parallèle ces données de perception avec des données récoltées sur le terrain.

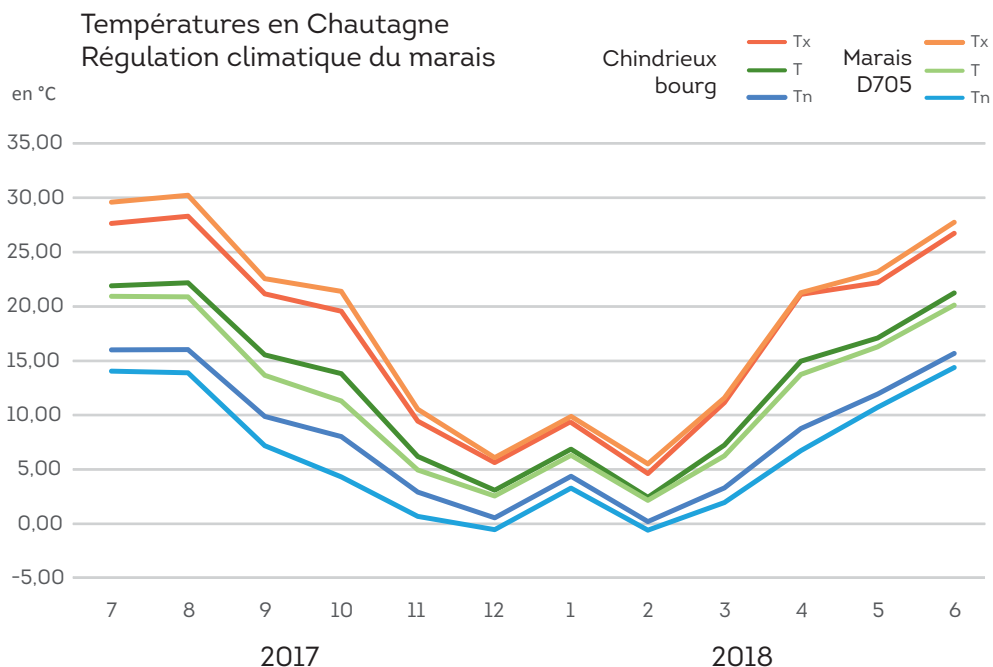


Figure 17 - Températures en Chautagne ©J. Porteret - CEN Savoie

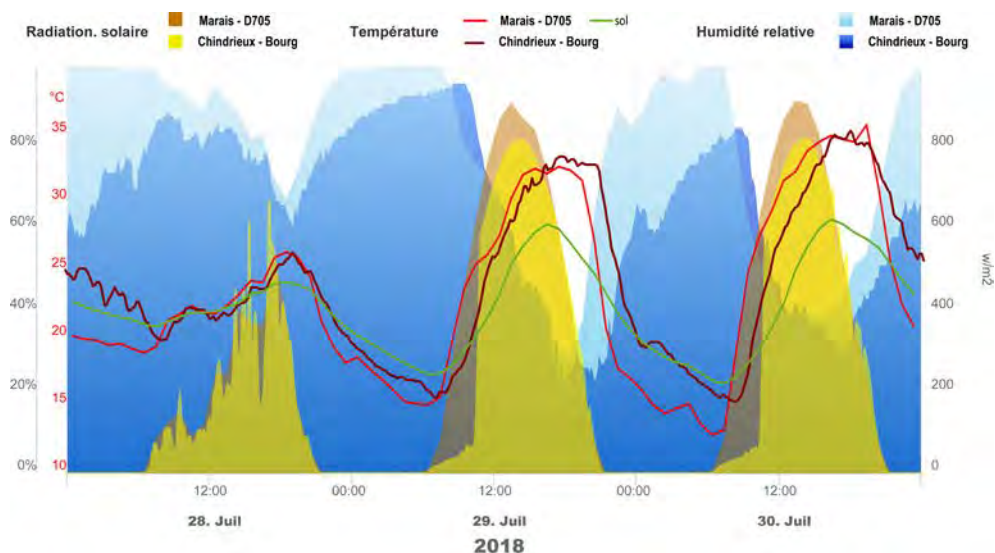


Figure 18 - Comparaison de paramètres climatiques entre deux stations météorologiques sur la Chautagne ©J. Porteret/CEN Savoie

Recharge de la nappe

Dans le projet RestHALp, une première tentative a été faite pour élargir l'évaluation de certains services écosystémiques aux territoires de la Vallée d'Aoste et du Parc National Grand Paradis. Pour cela les matrices proposées par Burkhard *et al.*⁶³ ont été utilisées sur l'ensemble du territoire régional couvert par la cartographie CORINE Land Cover.

La méthodologie se prête très bien à être contextualisée à la réalité de chaque territoire étudié, en adaptant les couches cartographiques et les valeurs attribuées dans les matrices en exploitant les informations issues de suivis, mesures, statistiques ou entretiens réalisés à échelle régionale. Afin de construire un « conteneur » d'informations, qui peut être mis à jour et amélioré au fil du temps, une voie à suivre consiste à :

- identifier une cartographie de l'occupation/utilisation du sol plus détaillée ;
- décliner les valeurs des matrices originales dans les catégories d'occupation du sol de la couche cartographique choisie.

Ensuite, en ayant une carte plus précise, créée à plus grande échelle, il sera toujours possible de mettre à jour les valeurs des matrices sur la base des résultats des recherches et suivis effectués directement sur le territoire d'étude ou dans des zones comparables.

L'occupation du sol comme donnée de base

Pour la Vallée d'Aoste, on a utilisé la « Carte de la nature » (CdN), issue d'un projet national coordonné par l'Institut supérieur de protection et de recherche environnementale (ISPRA) et achevé en 2004. Cette carte a été créée à l'échelle au 1:50.000 et compte 56 classes d'occupation des terres pour le territoire de la Vallée d'Aoste, offrant ainsi une nette amélioration des détails par rapport à la carte CORINE Land Cover, réalisée à l'échelle au 1:100.000 et présentant 24 classes différentes sur le territoire régional.

Pour le Parc National Grand Paradis, on a utilisé la « Carte des typologies d'habitats » (CtH) de 2015, réduite à l'échelle au

1:10.000, mais créée par photo-interprétation à l'échelle 1:2.500 (avec des approfondissements également à l'échelle 1:1.000). Cette cartographie, réalisée pour l'ensemble des 71 000 hectares du Parc, classe le territoire en 54 catégories d'occupation des sols et constitue donc la plus détaillée des cartographies utilisées. Avec cette dernière couche cartographique, il est possible d'aller au-delà de la limite principale de la carte CORINE, dont l'échelle de réalisation conduit à l'agrégation de catégories d'occupation des terres très hétérogènes (par exemple, il n'y a pas de catégorie spécifique pour les routes, qui ne sont donc jamais distinguées, étant incluses dans d'autres catégories). La CdN présente également cette inexactitude, mais à un moindre degré que la carte CORINE.

Cartographie du service de recharge de la nappe

Le travail de correspondance entre les catégories d'occupation des sols CORINE avec les catégories considérées par la CdN et la CtH a nécessité le décodage

complet des différentes classifications. La correspondance a été réalisée sur la base d'une évaluation consolidée des experts, vérifiant les cas douteux ou plus complexes avec la photo-interprétation, croisant les trois couches cartographiques et, surtout, grâce la connaissance directe de la zone. Bien que les catégories de la CdN et de la CtH aient souvent été réunies en macro-classes, le codage détaillé a été conservé. Ce choix est motivé par le fait que, lorsque des informations locales adéquates seront disponibles, il sera possible de distinguer les valeurs dans les catégories détaillées d'occupation du sol. Une fois terminé le travail de correspondance, les cartes de fonctionnalité territoriale peuvent être représentées dans un SIG grâce à des simples jonctions des tables.

Les cartographies suivantes, utilisant le modèle « **fourniture-demande-flux** » (voir *Croisement d'information géographique: approche matricielle*) présentent la situation du service écosystémique de régulation « Recharge de la nappe » sur le territoire de la Vallée d'Aoste.

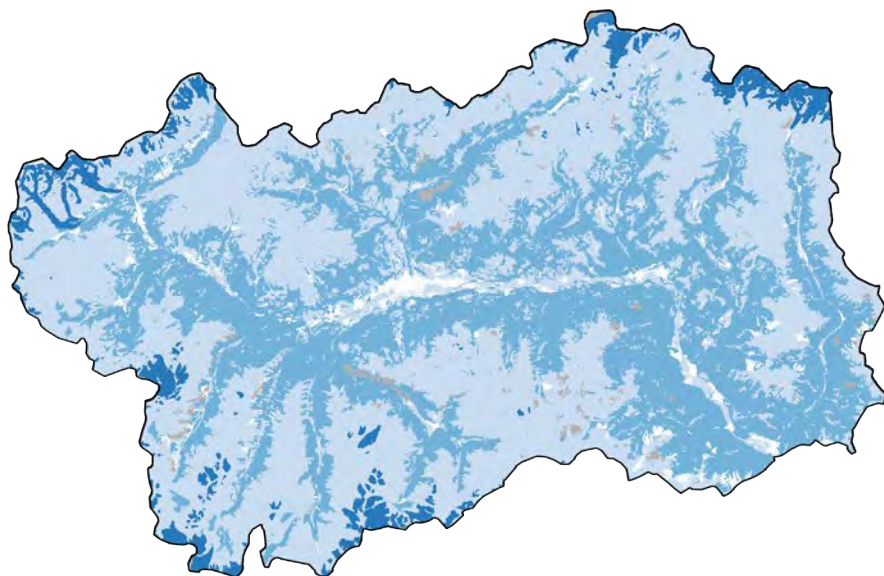


Figure 19 - Carte de la fourniture du service écosystémique « Recharge de la nappe » en Vallée d'Aoste. La gradation des couleurs augmente, du bleu ciel au bleu intense, à mesure que la disponibilité des eaux souterraines augmente (plus élevée dans les zones des glaciers pérennes).

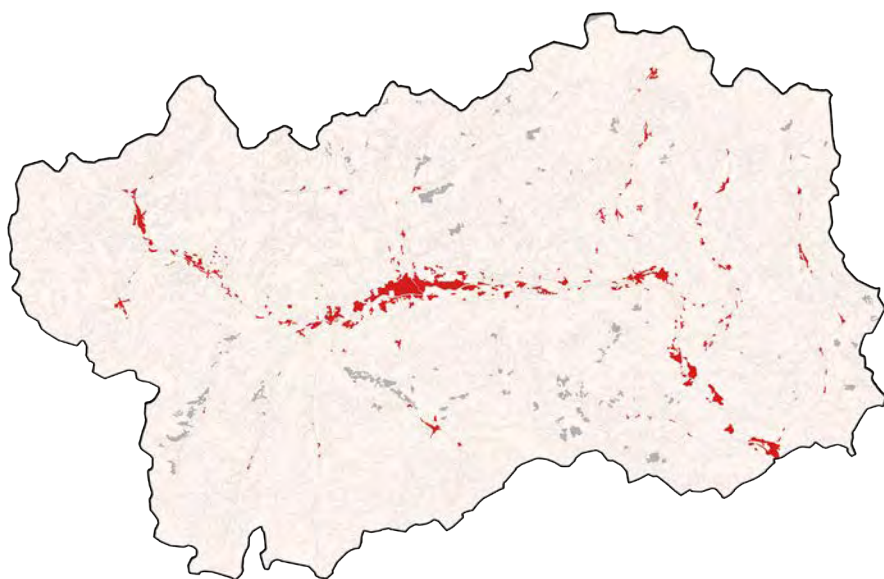


Figure 20 - Carte de la demande du service écosystémique « Recharge de la nappe » Vallée d'Aoste. La gradation des couleurs augmente, du rose clair au rouge intense, en fonction du besoin en eau souterraine (plus élevé dans les centres anthropisés).

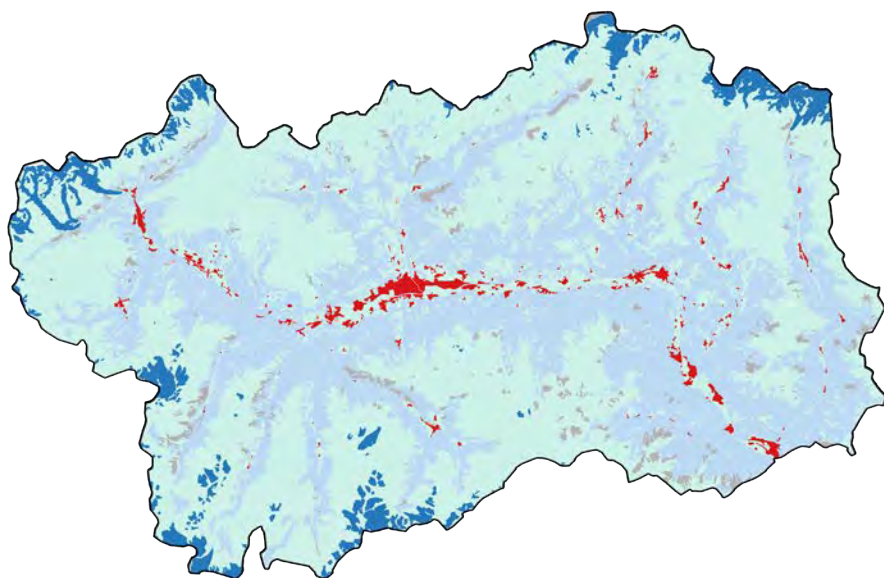


Figure 21 - Carte du flux du service écosystémique « Recharge de la nappe » Vallée d'Aoste. La couleur bleue intense correspond à une fourniture beaucoup plus élevée que la demande, tandis que la couleur rouge correspond à une demande qui dépasse de loin la fourniture de ce service écosystémique.

Production de fourrage et de litière

Le service d'approvisionnement en fourrage et litière est en lien avec la production de biomasse des zones humides. Même si ces écosystèmes apparaissent moins productifs que les milieux purement agricoles, l'exploitation des zones humides revêt certains avantages. La matière récoltée sur les zones humides est traditionnellement appelée « blache » dans la région du Haut-Rhône français⁶⁴.



©CEN Savoie

Sur les 7 sites étudiés, 3 rendent ce service d'approvisionnement: le Marais de Chautagne, le Marais de la Plesse et le Marais des Chassettes.

L'EXEMPLE DU MARAIS DE CHAUTAGNE

L'analyse cartographique effectuée a permis d'identifier 580 hectares faisant l'objet d'un usage agricole sur le Marais de Chautagne, tout type de cultures confondues (maïs, prairies, orge, blé... - déclarations PAC 2015).

Sur ces 580, environ **350 hectares sont déclarés en tant que prairies**. Les données collectées lors d'entretiens avec les exploitants ont permis d'approximer la quantité de matière sèche pouvant être récoltée sur l'ensemble du marais à plus de 800 tonnes pour l'année 2017 (2,25 t/ha de MS).

LES CHIFFRES DE L'EXPLOITATION AGRICOLE EN ZONE HUMIDE SUR LE TERRITOIRE SAVOYARD :

- **32 %** des zones humides inventoriées font l'objet d'un usage agricole;
- **plus de la moitié des agriculteurs** ont au moins un îlot pour tout ou partie en zone humide d'après les déclarations de la PAC;
- **3 % de la surface agricole utile (SAU)** du territoire est située en zone humide (Chambre d'agriculture Savoie-Mont Blanc, 2016).

« Zone qui peut avoir des difficultés périodiquement d'accès du fait de l'humidité ; elles sont peu accessibles, et à respecter »

Définition d'une zone humide selon un exploitant - juin 2018

Quelle utilisation de la matière récoltée ?

D'après les déclarations des exploitants de Chautagne, la blache récoltée sur le marais est majoritairement utilisée pour de la litière et pour un usage personnel. L'utilisation de la matière en fourrage dépend de son appétence variable en fonction des années et des secteurs : elle est un fourrage de qualité lorsque les bonnes conditions sont réunies.

Une exploitation régie par les conditions climatiques

À la vue du fonctionnement de ces milieux, l'exploitation agricole demande quelques adaptations par rapport à une prairie de fauche classique. Les exploitants interrogés ont tous fait référence à la nécessité de s'adapter aux conditions météorologiques, qui régit notamment la portance du sol.

Une exploitation nécessaire

L'exploitation des zones humides par la fauche ou le pâturage permet non-seulement un approvisionnement en matière, mais apparaît également indispensable à

leur entretien, en évitant au milieu d'être colonisé par les ligneux. Sur le Marais de Chautagne, la mise en place de Mesures Agro-Environnementales et Climatiques (MAEC) a permis le maintien d'une fauche régulière conduisant à la sauvegarde des milieux ouverts de prairies humides. Ces mesures agro-environnementales permettent également d'effectuer les fauches en respectant les cycles biologiques des espèces sensibles qui s'y trouvent grâce à un retard de fauche et l'instauration de zones refuges.

Le Marais de Chautagne, un élément essentiel pour les exploitants

Même si les MAEC (qui représentent un total de 187 ha de marais) ont permis de maintenir un certain nombre d'exploitants sur le marais, ceux-ci reconnaissent les bénéfices que le marais leur fournit, malgré un rendement plus faible que sur d'autres parcelles et le travail parfois délicat que représente la fauche en zone humide.

Le Marais de Chautagne représente pour les agriculteurs « un lieu de dépannage », et notamment lors des années sèches où le foin vient à manquer : il a pour eux une **valeur sécuritaire**. Si la spécificité fourra-



Figure 22 - Balles sur le Marais de Chautagne ©M. Bouron/CEN Savoie

« Avec les lacs, les tourbières forment
les deux meilleurs supports dans mon domaine, la paléoécologie »
Scientifique interrogé - juin 2018

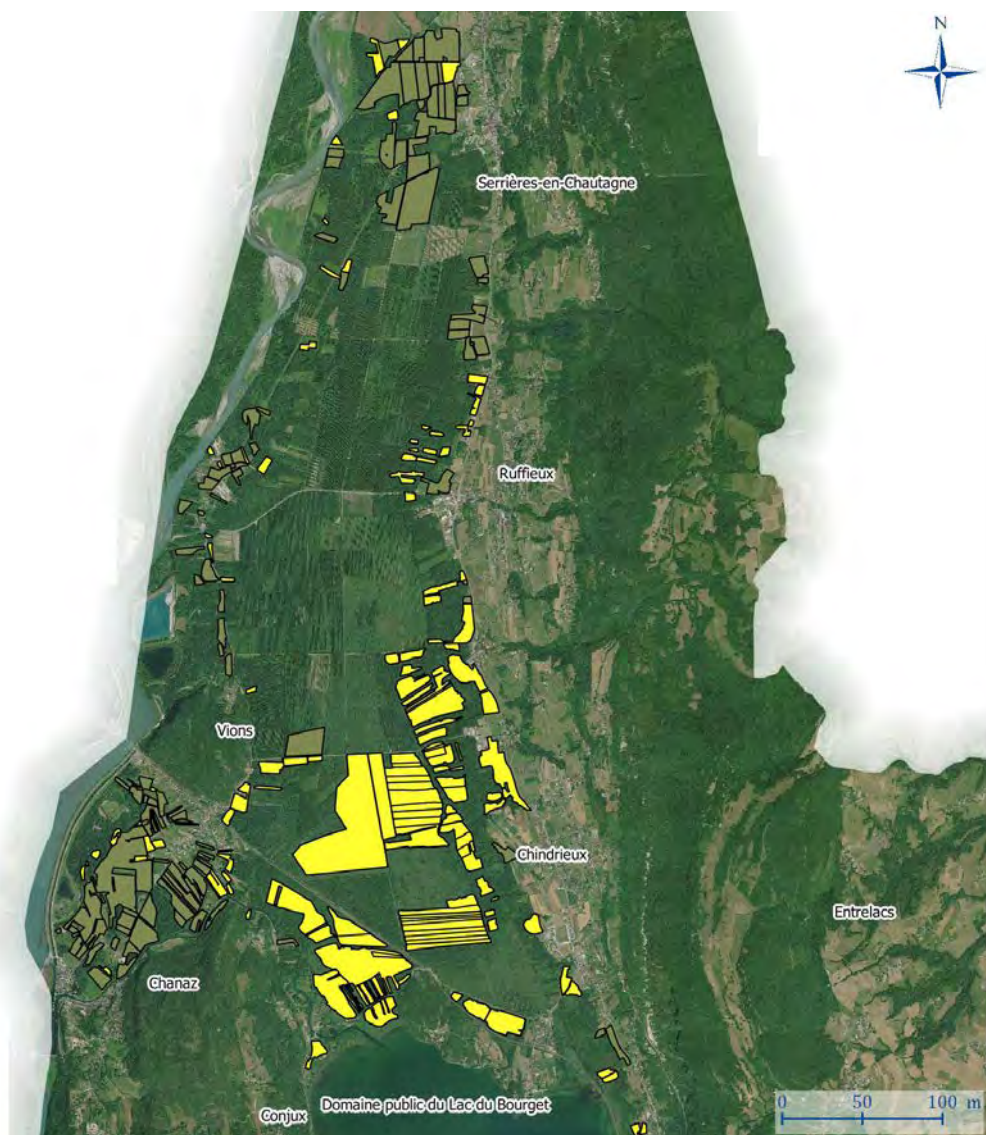


Figure 23 - Parcelles en prairie sur le Marais de Chautagne.

gère de la blache n'a été reconnue que par un unique exploitant natif de Chautagne, la plupart des interrogés reconnaissent que le marais leur apporte une **autonomie de matière** certaine. La blache récoltée sur le marais leur permet d'économiser

sur l'achat de paille. Cette économie est d'autant plus appréciable pour les exploitations pratiquant une agriculture biologique. Le prix d'achat de la paille biologique représente en effet un coût important pour les exploitants.

Opportunités pour la recherche

Ce service renvoie à l'intérêt d'un site en termes de recherche et d'études. La recherche en milieux humides peut néanmoins couvrir des disciplines très diverses⁶⁵. Les entretiens réalisés avec les scientifiques dans le cadre de cette étude ont permis de confirmer cette pluralité d'approches possibles. Parmi les thèmes de recherche sont retrouvés : l'écologie, l'hydrologie, la paléoécologie, la biogéochimie...

Cette fiche synthétise quelques exemples d'études pouvant être menées en zones humides.

LES TOURBIÈRES, SUPPORTS POUR LA PALÉOÉCOLOGIE

Les propriétés conservatrices des tourbières leur concèdent une grande importance pour les études paléo-environnementales. L'anoxie permet la conservation d'éléments organiques dans la tourbe comme le pollen, le bois, les insectes... Elles ont également leur importance dans les domaines de l'archéologie.

Ces études sur les tourbières peuvent conduire à des études sur la végétation, le climat ou encore les pratiques humaines passées. Cette capacité des tourbières à nous fournir des informations sur le passé est sujet à la menace de l'assèchement, qui conduit à une minéralisation de la tourbe et donc à une perte d'information.

ÉCOLOGIE & BIODIVERSITÉ

Les conditions particulières des zones humides leur confèrent un intérêt certain pour l'étude de la biodiversité.

La tourbière de Montendry (Figure 24) a par exemple fait l'objet d'une étude complète portant sur son analyse floristique et écologique⁶⁶. Celle-ci fut également l'objet d'une comparaison avec la tourbière des Creusates par Manneville et Baïer dans leur étude⁶⁷.

Le Marais de Chautagne a également été le support de nombreuses études touchant à sa végétation ou à sa faune par Walthert⁶⁸, Fossati & Pautou⁶⁹, Dufay⁷⁰...



Figure 24 - Tourbière de Montendry ©M. Maussin



©B. Mabboux/CEN Savoie

De nombreuses études liées aux suivis des papillons sont par ailleurs toujours conduites par le Conservatoire à ce jour.

BIOGÉOCHIMIE

Parce qu'elles peuvent être des puits, des sources et des lieux de transformation d'éléments chimiques divers, de nombreuses zones humides font l'objet de thématiques de recherche liées à leur biogéochimie: biogéochimie des nutriments, contaminants microbiens, sources de phosphore dissous...

DE NOUVELLES PERSPECTIVES DE RECHERCHE GRÂCE AUX RESTAURATIONS

Les chercheurs ont évoqué à plusieurs reprises que de nombreuses recherches sur les milieux humides actuelles avaient lieu dans le cadre de restauration. Ces études peuvent être menées au préalable

d'actions de réhabilitation, au cours, ou à la suite, afin de suivre les évolutions du milieu et ses réponses: effets de celles-ci sur les dynamiques végétales, étude des populations d'amphibiens sur des milieux restaurés... Le Marais de Chautagne, ayant subi de nombreuses évolutions, a fait l'objet d'un certain nombre d'études en lien avec sa restauration: étude de son fonctionnement hydrogéologique dans le cadre de la réhabilitation des grands marais du Haut-Rhône⁷¹ ou encore des études portées par le CEN dans le projet de « *Restauration hydraulique et agroenvironnementale de 60 ha de milieux humides ouverts dans le marais de Chautagne* » (Figure 25). Cinq scientifiques de laboratoires différents par ailleurs ont saisi l'opportunité du projet pour mener une étude sur la *dynamique des transferts et effets des micropolluants organiques persistants*, appelée DynaMO.



Figure 25 - Parcelle en restauration sur le Marais de Chautagne ©CEN Savoie

« D'un point de vue pédagogique, une zone humide c'est excellent car c'est un bon outil pour comprendre un écosystème. »

Enseignant-chercheur interrogé - mai 2018

Opportunités pour l'éducation

Les zones humides peuvent constituer des supports pour l'éducation à l'environnement. Ce service peut se matérialiser de diverses manières: panneaux explicatifs situés sur le site, points d'observation, parcours à thèmes, animations sur site, plaquettes d'information...

Sur les 7 sites étudiés, 4 sont équipés de panneaux pédagogiques.

POURQUOI LES ZONES HUMIDES ONT UN INTÉRÊT PÉDAGOGIQUE ?

■ **Des espaces naturels aux dynamiques singulières**, permettant d'appréhender le fonctionnement d'un écosystème dans sa généralité: formation d'une zone humide (processus géomorphologiques, pédogénèse...), dynamiques d'évolution des milieux, adaptations des espèces... De plus, leur taille délimitée leur permet d'être des outils pédagogiques « simplifiés », en comparaison avec d'autres types d'écosystèmes.

■ **Des espaces à enjeux**: les destructions des zones humides au cours du siècle dernier ont engendré une diminution du nombre de ces milieux. Les zones humides deviennent alors de plus en plus rares. Malgré une prise de conscience de leur intérêt ces dernières années, elles subissent encore d'importantes pressions (urbanisation, aménagement de cours d'eau...). Celles-ci font aussi encore l'objet d'une connotation très négative dans les esprits des citoyens (zones insalubres, indésirables, problèmes sanitaires...). La sensibilisation de la population à ces milieux est importante afin d'améliorer les connaissances sur ces zones et enclencher des prises de conscience sur la nécessité de préserver ces écosystèmes, et l'environnement en général.

« Les étudiants apprécient de travailler sur ces milieux »

Enseignant-chercheur interrogé, mai 2018



Figure 26 - Panneau pédagogique sur le Marais de Chassettes ©CEN Savoie

Les entretiens réalisés avec des enseignants-chercheurs ont prouvé que les zones humides servaient d'exemple durant leurs cours afin d'illustrer des notions diverses: dynamique, gestion des milieux (avec par exemple la gestion d'activités récréatives - zones humides), aspects naturalistes, diversité biologique, dynamique des populations... Six chercheurs sur huit ont affirmé évoquer régulièrement les zones humides et y avoir

déjà organisé des sorties terrain avec leurs élèves. D'une manière générale, les chercheurs ont également remarqué que les travaux effectués sur ces milieux avec les étudiants sont appréciés.

L'EXEMPLE DU MARAIS DES CHASSETTES

Pour les acteurs de l'éducation à l'environnement, s'occupant des animations sur le marais, et le Département, propriétaire foncier, le service pédagogique du marais des Chassettes est indéniable.

À ce jour, trois panneaux explicatifs sont présents sur le site (Figure 26). Le site se caractérise par des sentiers dits « autorisés », situés plutôt en périphérie du marais, et d'autres sentiers « non autorisés », fréquentés au cœur du marais

comme en témoigne la carte (Figure 27). Un éco-compteur installé sur l'un de ces sentiers a permis d'évaluer une fréquentation faible mais régulière du marais. Sur une période d'environ un mois allant du 24 juillet au 27 août 2018, l'éco compteur a comptabilisé un total de 23 passages dans un sens, et 14 passages dans l'autre. Ces données sont bien évidemment à prendre avec précaution en raison des biais inhérents à ces installations: allers-retours des individus, passage de la faune ou autres animaux comme les chiens...

Une brochure d'information avait été réalisée en 2014. Le site fait également l'objet d'animations par deux associations: leur nombre varie entre 4 et 8 animations sur site par an. Ces animations prennent des formes diverses:

- **des « Sorties Nature »**: découverte du marais (fonctionnement, dynamique...) et de ses espèces (insectes, batraciens, oiseaux...);

- **des chantiers de débroussaillage et de nettoyage** en lien avec la gestion du site (ramassage des déchets sur site, arrachage des ligneux...);

- **d'autres actions en partenariat avec des établissements locaux**: travaux d'inventaires avec des BTS, travaux de sécurisation des accès du marais en partenariat avec un lycée agricole local...

Le **public de ces animations est varié**: scolaires (lycées, collèges, écoles, établissements d'études supérieures), centres de loisirs, adhérents des associations, habitants des quartiers situés autour du marais, ou encore parents d'élèves. Les animations sont bien évidemment adaptées en fonction du public visé: appel à l'imaginaire ou au sensoriel pour les plus petits... Les animations auprès des écoles à proximité du marais présentent un intérêt certain pour l'éducation des habitants: les enfants vont jouer un rôle de diffusion de l'information auprès de leurs parents, qui vont à leur tour venir découvrir le site.

« Il permet de montrer aux gens ce qu'est un vrai espace naturel avec une dynamique complètement différente de celle d'un parc, ce n'est pas un espace jardiné, aménagé »

La perception des acteurs du site sur ce service est unanime: la sensibilisation et la communication sont des leviers importants pour le marais. Le rôle de ce service est important pour le site pour plusieurs raisons, qui sont revenues systématiquement à la suite des entretiens réalisés avec les acteurs. Le Marais des Chassettes accueille **un patrimoine naturel intéressant** vis-à-vis des espèces qui s'y trouvent (grenouille rousse, crapaud commun, quatre espèces de pics, et autres oiseaux remarquables comme la Rousserolle effarvatte...) et des habitats qu'il propose dans un fond de vallée très urbanisé. Cette situation géographique et son contexte périurbain lui confèrent une proximité et une accessibilité aisée.

Grâce à cette proximité, le marais est vu comme une opportunité unique pour les habitants de bénéficier d'un vrai espace naturel sensible à côté de chez eux.

Néanmoins, ce contexte et cette proximité avec les habitations sont également les raisons pour lesquelles le marais présente des enjeux:

- **pressions vis-à-vis de l'urbanisation**;

- **conflits d'intérêts** avec les habitations les plus proches du marais: l'étude de la perception des habitants a montré qu'une part de la population avait une vision très négative du marais, et subissait des nuisances: moustiques, mouches, ombre...;

- **incivilités**: de nombreuses incivilités sont comptées sur le marais: chiens non-tenus en laisse divaguant dans le marais, des dépôts de déchets, passages d'engins motorisés...

On observe alors un décalage entre la perception des gestionnaires et la réalité perçue par les habitants du site. Pour toutes ces raisons, le service d'opportunités pour l'éducation constitue un volet clé pour la gestion du site pour les acteurs locaux. En continuant de fournir des efforts sur ce service en menant des actions à but éducatif, les acteurs

« Il joue son rôle d'espace de nature,
de proximité avec cette fonction de découverte »
Département de la Savoie lors d'un entretien - juin 2018



Figure 27 - Sentiers et panneaux pédagogiques sur le Marais des Chassettes.

espèrent faire changer la vision des habitants sur le site et ainsi limiter les conflits d'intérêts et les incivilités. Selon le questionnaire mené sur le marais, les habitants sont conscients de son rôle pédagogique : 15 personnes sur 19 ont affirmé que le

marais présente un intérêt pédagogique. Sur ces 19 personnes qui se sont déjà rendues sur le site, 16 avaient parcouru les panneaux pédagogiques, et la majorité des personnes amènent leurs enfants sur le marais.

Support pour les activités récréatives et touristiques

Les zones humides peuvent être les supports d'activités diverses : tourisme vert par leur richesse environnementale, activités sportives de pleine nature, chasse (gibier d'eaux)...



© A. Tempé/CEN Savoie

L'EXEMPLE DE LA TOURBIÈRE DU PLAN DE L'EAU

La tourbière du Plan de l'Eau, située au cœur de la station des Ménuires, est un exemple emblématique de ce service. Sa

position géographique offre aux touristes un espace naturel de choix à deux pas de la station. L'aménagement de l'aval du site en 2006 en plan d'eau artificiel (Plan d'eau des Bruyères) prouve de cette situation

stratégique et de l'importance du site pour la station en termes de tourisme. Cet aménagement offre aujourd'hui aux usagers la possibilité de pique-niquer sur des tables aménagées à cet effet, de faire des barbecues, de pêcher sur le plan d'eau, de profiter des pontons, de bénéficier d'un circuit pédestre adapté aux personnes à mobilité réduite. Ces aménagements viennent compléter l'offre d'activités présentes sur l'ensemble de la zone.

La tourbière du Plan de l'Eau a pu bénéficier d'un statut de protection à la suite de la création du Plan d'eau des Bruyères : elle a été placée sous la protection d'un Arrêté Préfectoral de Protection de Biotope (APPB). Ce statut ne l'empêche pas d'être le support d'activités diverses, comme en témoigne la carte qui récapitule l'ensemble des activités praticables sur le site :

- nombreux circuits pédestres jalonnés par des panneaux pédagogiques permettant d'en apprendre plus sur le site : patrimoine bâti, patrimoine naturel... ; d'autres panneaux délimitent également le site et rappellent la réglementation en vigueur ;

- lieu de départ d'une randonnée phare de la station : la randonnée du refuge et du Lac du Lou ; la première partie du sentier de la randonnée offre un panorama sur l'ensemble de la tourbière ;

- nombreuses animations VTT, avec un circuit de découverte balisé aménagé pour les enfants ;

- aire d'atterrissage de parapente ;

- « Montagne Aventure » : activités pour les enfants, regroupant tyroliennes, ponts de singe... ;

- outre les activités estivales, le site accueille des activités en hiver, et notamment du ski de fond sur des pistes entretenues par la commune.

La pêche est également une activité présente sur le site. Les pêcheurs peuvent pratiquer leur activité sur le Plan d'eau des Bruyères et sur le Doron. L'activité est réglementée sur l'APPB : permis et timbre obligatoires, interdiction de marcher dans l'eau, une seule prise de taille réglementaire par jour et par pêcheur...

Les décisionnaires locaux ont conscience de l'importance du service de support pour les activités récréatives et touristiques de la tourbière, en le plaçant à la deuxième position des services les plus rendus par le site lors de la réunion participative (à la suite du service « *régulation des cycles hydrologiques et protection contre le risque inondation* »). Ils sont évidemment confrontés à la problématique de conciliation des activités humaines avec la préservation d'un écosystème sensible. Tous les sujets abordés au cours de la dernière partie de la réunion participative tournaient autour de l'accueil du public. Les observations faites sur le terrain durant la haute saison touristique estivale ont révélé que le Plan d'eau des Bruyères permettait de canaliser la fréquentation sur cette zone grâce aux nombreux aménagements (tables, bancs...). La tourbière du Plan de l'Eau apparaissait alors plutôt comme un endroit dédié à la balade et au calme.



©F. Biamino/CEN Savoie

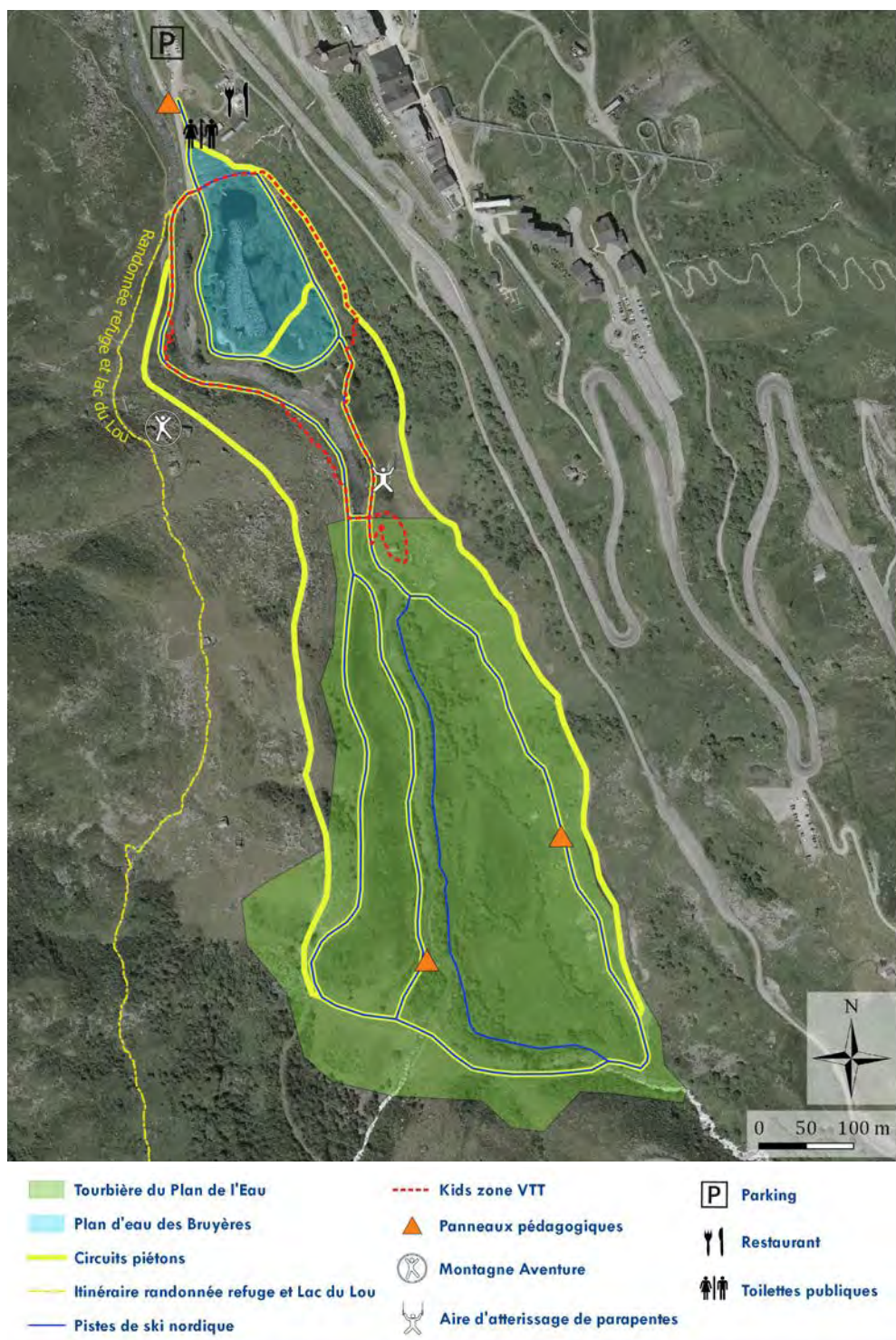


Figure 28 – Activités récréatives et touristiques sur le site du Plan de l'Eau.

Les zones humides, comme tout espace naturel, peuvent faire partie du patrimoine culturel des habitants ou usagers. L'évaluation du patrimoine culturel peut renvoyer à différentes valeurs : identitaires, relationnelles, spirituelles... Cette dimension patrimoniale peut s'exprimer à travers la présence d'espèces dites « patrimoniales » sur le site (espèces emblématiques, rares, endémiques...), de processus particuliers (phénomènes d'érosion, reproduction d'une espèce en un lieu donné...), de pratiques culturelles (pratiques agricoles ancestrales par exemple), ou autres objets « patrimoniaux » présents sur le site comme du patrimoine bâti par exemple. Ces dimensions peuvent se retranscrire par des efforts de protection indépendants de tout usage, dans l'art ou la gastronomie, participer à l'identité territoriale...⁷².

Ainsi, le patrimoine reflète en quelque sorte la « singularité » de chaque zone humide et les relations que les individus entretiennent avec elle.

Le caractère « patrimonial » des zones humides étudiées s'est traduit de différentes manières au cours des entretiens réalisés. Une zone humide peut faire partie du patrimoine car elle est associée à l'histoire locale et aux pratiques qui y étaient menées (hydraulique, approvisionnement, fréquentation...).

EXPLOITATION DE LA TOURBE SUR LE MARAIS DES CHASSETTES

Le Marais des Chassettes a fait l'objet **d'une exploitation de tourbe** durant la seconde guerre mondiale. Le marais qui porte encore les traces de cette époque, témoigne de cette époque difficile.

RÔLE HYDRAULIQUE ET EXPLOITATION AGRICOLE SUR LE MARAIS DE LA PLESSE

Le Marais de la Plesse a fait l'objet de **plusieurs aménagements au cours des siècles**. Déjà délimité comme une entité à part entière sur la Carte sarde, le marais appartenait au propriétaire du château de Saint-Offenge, la commune sur laquelle il est implanté. Le propriétaire autorisait les domestiques à aller **récolter la blache sur le marais**. Le marais est aujourd'hui encore exploité pour sa blache par des exploitants agricoles. Les aménagements du marais durant les derniers siècles étaient liés à ses fonctions hydrauliques.

En effet, les eaux du marais étaient redirigées à leur sortie pour alimenter les moulins situés en aval.

EXISTENCE D'UN PATRIMOINE BÂTI SUR LE PLAN DE L'EAU

Le caractère « patrimonial » du site du Plan de l'Eau aux Ménuires s'exprime par **l'existence d'un bâti traditionnel sur le site** : le site du Plan de l'Eau est jalonné par des anciens chalets, construits en pierres locales et témoignant de l'ancienne activité de transhumance sur les Ménuires, participant à l'identité de la vallée (Figure 29). Lors de rencontres avec les locaux, ceux-ci ont placé ce service systématiquement à la première position des services rendus par le site, prouvant de la valeur patrimoniale de la zone humide dépassant tout aspect utilitaire. Cette dimension patrimoniale peut expliquer les craintes évoquées par les locaux lors des débuts du projet d'aménagement du Plan d'eau des Bruyères.



Figure 29 – Bâti patrimonial sur le Plan de l'Eau
©J. Porteret/CEN Savoie

Outre ces aspects historiques, une zone humide peut également posséder une valeur patrimoniale vis-à-vis des espèces présentes sur celle-ci.

PRÉSENCE D'ESPÈCES PATRIMONIALES

La patrimonialité peut par exemple relever du **nombre d'espèces menacées** présentes sur une zone humide. La rareté de ces espèces peut conférer au site un aspect patrimonial vis-à-vis de son rôle dans la préservation de ces espèces, parfois inféodées à ces milieux. Par exemple, le site du Plan de l'Eau aux Ménuires abrite deux espèces de reptiles classées quasi-menacées sur la liste rouge de l'UICN : la Grenouille rousse (au niveau régional) et la Couleuvre à collier (au niveau national). *Carex microglochin*, présente sur le site, est inscrite en tant qu'espèce vulnérable au niveau européen. Le Circaète Jean-le-Blanc et le Héron crabier, tous deux de passage sur la tourbière, sont inscrits à l'annexe I de la Directive Oiseaux. Les prairies humides du Marais de Chautagne abritent pas moins de 12 espèces de papillons protégées à l'échelle européenne : Cuivré des marais (*Lycaena dispar*), Fadet des Laïches (*Coenonympha oedippus*), Damier de la succise (*Euphydryas aurinia*), Azuré de la Sanguisorbe (*Maculinea teleius*)... Les MAEC, mesures de gestion spécifiques, permettent de conserver ces espèces fragiles sur le site.

La patrimonialité des espèces peut également s'aborder *via* **la valeur que lui attribuent les habitants au-delà de la rareté de l'espèce**. Ces critères peuvent être par exemple fondés sur l'esthétique, la dangerosité, l'abondance, les pratiques qui sont associées à l'espèce.

Sur le Marais de la Plesse, la pêche à la grenouille a longtemps été une activité pratiquée sur le site. Malgré l'abandon de cette pratique aujourd'hui lié à la disparition des grenouilles pour diverses raisons, celle-ci reste dans les mémoires et les souvenirs d'enfance des habitants.



Figure 30 – *Drosera* ©V. Bourgoïn/CEN Savoie

DES MILIEUX RELIQUES

Les tourbières peuvent renfermer des espèces **témoignant parfois des périodes climatiques froides passées** inféodées à ces milieux : *Drosera* (Figure 30), *Grassette*, *Linaigrette*... *Drosera rotundifolia* (Rossolis à feuilles rondes) et *Pinguicula vulgaris* (*Grassette* commune), sont toutes deux des plantes carnivores présentes sur la tourbière acide de Montendry.

LA RECONNAISSANCE DU PATRIMOINE :

LES MESURES DE PROTECTION

La reconnaissance de ce patrimoine peut s'exprimer à travers des **mesures de protection spécifiques** comme la mise en place d'Arrêtés Préfectoraux de Protection de Biotope ou encore le classement en tant qu'Espace Naturel Sensible comme le marais des Chassettes. En Savoie, la valeur écologique des zones



Figure 31 – Vue générale de la Chautagne avec sa mosaïque de paysages ©CEN Savoie

humides présentes sur le territoire est assez bien reconnue: 50 % des APPB, qui justifient leur existence par la présence d'une ou plusieurs espèces protégées, sont des zones humides (marais et tourbières). Elles sont les milieux les mieux représentés dans ce type de protection. La Drosera sur la tourbière de Montendry est l'une des espèces ayant justifié le classement de la tourbière en APPB.

LA ZONE HUMIDE COMME ÉLÉMENT DU PAYSAGE DE LA CHAUTAGNE

L'aspect patrimonial d'une zone humide peut également prendre place à travers **un paysage auquel se rattache une valeur identitaire** pour les habitants. Sur le territoire chautagnard, les prairies humides apparaissent comme faisant partie de la mosaïque de milieux qui caractérise la Chautagne: forêts, vignes, lac, montagnes et prairies (Figure 31). Les exploitants fauchant le marais ont conscience

de leur rôle essentiel, permettant au milieu de ne pas se refermer et donc de conserver ces prairies exploitées depuis des siècles. La valeur patrimoniale des pratiques agricoles sur le marais a été identifiée à travers les entretiens réalisés. Les exploitants interrogés ont pour la plupart appris à exploiter le marais grâce à leur prédécesseur et aux anciens, qui leur apprenaient à « *respecter le marais* » et à « *repérer les zones où on risque de s'enfoncer* ». Un exploitant précise qu'avant le délaissement de la fauche sur le marais, un commerce avait lieu avec les exploitants de Cessens (commune de l'Albainais), qui descendaient du blé sur le marais et remontaient avec de la blache.



NOTES DE FIN

- 1 - Jeanneaux *et al.*, 2012.
- 2 - De Groot *et al.*, 2007.
- 3 - Groupe de travail de l'Étude sur l'importance de la nature pour les Canadiens, 2017.
- 4 - Dupras *et al.*, 2013.
- 5 - Peh *et al.*, 2017.
- 6 - AA. VV, 2016.
- 7 - MEA, 2005.
- 8 - Dufour *et al.*, 2016.
- 9 - De Sartre *et al.*, 2014.
- 10 - Daily, 1997.
- 11 - Costanza *et al.*, 1997.
- 12 - Méral, 2012; Aznar *et al.*, 2010.
- 13 - Holling, 1978.
- 14 - Berkes & Folke, 1998.
- 15 - Sukhdev, 2008.
- 16 - Salles, 2010.
- 17 - Lamarque *et al.*, 2011.
- 18 - Mace *et al.*, 2012.
- 19 - Laurila-Pant *et al.*, 2015.
- 20 - Maris, 2014.
- 21 - Barbier *et al.* 1997.
- 22 - Blicharska *et al.*, 2017.
- 23 - Fisher *et al.*, 2009.
- 24 - Haines-Young & Potschin, 2018.
- 25 - CREDOC, Biotope, Asconit Consultants, 2009.
- 26 - De Groot *et al.*, 2007.
- 27 - Bernard, 2016.
- 28 - Fisher *et al.*, 2009.
- 29 - EpE, 2013.
- 30 - Daily & Matson, 2008.
- 31 - Dempsey, 2013.
- 32 - Salles, 2010.
- 33 - Scolozzi *et al.*, 2014.
- 34 - Chichilnisky & Heal, 1998.
- 35 - Scolozzi *et al.*, 2012.
- 36 - Wolff *et al.*, 2017.
- 37 - Campagne *et al.*, 2016.
- 38 - Jaunatre *et al.*, 2017.
- 39 - Chang *et al.*, 2015.
- 40 - Sharp *et al.*, 2020.
- 41 - RECORD, 2018.
- 42 - Burkhard *et al.*, 2009.
- 43 - www.alpine-space.eu/projects/alpes/
- 44 - Tamang, 2011; Krol *et al.*, 2012; Nedkov & Burkhard, 2012.
- 45 - Burkhard *et al.*, 2012.
- 46 - Jacobs *et al.* 2015.
- 47 - MA, 2005; TEEB, 2010.
- 48 - Müller 2005.
- 49 - Fustec & Lefevre, 2000.
- 50 - Mitsch & Gosselink, 2015.
- 51 - Gayet *et al.*, 2016.
- 52 - Dacharry, 1996.
- 53 - Cosandey, 1996.
- 54 - Price, 2001.
- 55 - Porteret J., 2010.
- 56 - UICN France, 2015.
- 57 - Forman & Godron, 1981.
- 58 - Sauvage *et al.*, 2015.
- 59 - Devaux & Helier, 2018.
- 60 - Devaux & Helier, op. cit.
- 61 - Devaux & Helier, op. cit.
- 62 - Devaux & Helier, op. cit.
- 63 - Burkhard *et al.*, 2014.
- 64 - Darinot, 2014.
- 65 - Devaux & Helier, op. cit.
- 66 - Fabre, 1977.
- 67 - Manneville & Baïer, 1993.
- 68 - Walthert, 1987.
- 69 - Fossati & Pautou, 1989.
- 70 - Dufay C., 1979.
- 71 - BURGEAP Environnement & EID, 2001.
- 72 - Devaux & Helier, op. cit.

BIBLIOGRAPHIE

- AA. VV., 2016. Actes du séminaire d'échanges de la Zone Atelier du Bassin du Rhône (ZABR) - Les services écosystémiques pour la gestion des milieux aquatiques : pourquoi ? pourquoi pas ? 29/01/2016, IRSTEA Lyon.
- Aznar O., Jeanneaux P., de Mareschal S., 2010. Analyse bibliométrique de la notion de « service environnemental ». Programme SERENA, document de travail n° 2010-09.
- Barbier B., Acreman M., Knowler D., 1997. Évaluation économique des zones humides : guide à l'usage des décideurs et planificateurs. Bureau de la Convention de Ramsar, Gland (CH), 143 p. URL : https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/lib_valuation_f.pdf.
- Bernard G., 2016. Panorama des services écosystémiques des tourbières en France. Quels enjeux pour la préservation et la restauration de ces milieux naturels ? Pôle-relais Tourbières - Fédération des Conservatoires d'espaces naturels, 47 p.
- Blicharska M., Smithers R. J., Hedblom M., Hedenås H., Mikusiński G., Pedersen E. & Svensson, J., 2017. Shades of grey challenge practical application of the cultural ecosystem services concept. *Ecosystem services*, 23, 55-70.
- BURGEAP Environnement & EID, 2001. Réhabilitation des grands marais du Haut-Rhône : étude du fonctionnement hydrogéologique des marais et plaines de Lavours et de Chautagne. Rapport de Phase I : état des lieux. Rapport interne, 52p + cartes.
- Burkhard, B., Kandziora, M., Hou, Y., Müller, F., 2014. Ecosystem service potentials, flows and demand - concepts for spatial localisation, indication and quantification. *Landsc. Online* 34, 1-32.
- Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F., Windhorst, W., 2009. Landscapes' capacities to provide ecosystem services - a concept for land-cover based assessments. *Landscape Online* 15, 1-22.
- Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S., Müller, F., 2012. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecol. Indic.* 21, 17-29.
- Campagne C.S., Tschanz L., Tato T., 2016. Outil d'évaluation et de concertation sur les services écosystémiques : la matrice des capacités. *Sciences Eaux & Territoires*, IRSTEA, 2016, Article hors-série numéro 23, 2-6.
- Chang W., Cheng J., Allaire J., Xie Y., McPherson J., 2015. Shiny: Web Application Framework for R.
- Chee, Y.E. 2004. An ecological perspective on the valuation of ecosystem services. *Biological Conservation* 120, 549-565. doi:10.1016/j.biocon.2004.03.028.
- Chevassus-au-Louis B., Salles J.-M., & Pujol J.-L., 2009. Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes : contribution à la décision publique, Documentation française -978-2-11-007791-2.
- Chichilnisky G. & Heal G., 1998. Economic Returns from the Biosphere. *Nature* 391: 629-630.
- Cosandey C., 1996. - Bilan hydrique - bilan hydrologique. C. N. F. D. S. HYDROLOGIQUES, Commission de terminologie.
- Costanza R., d'Arge R., de Groot R.S., Farber S., Grasso M., Hannon B., van den Belt M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature*, 387, 253-260.
- CREDOC, Biotopie, Asconit Consultants, 2009. Etude exploratoire pour une évaluation des services rendus par les écosystèmes en France, application du Millennium Ecosystem Assessment à la France, Rapport de synthèse pour le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer (MEEDDM), 30 p
- Dacharry M., 1996. - Hydrosystèmes. C. N. F. D. S. HYDROLOGIQUES, Commission de terminologie.
- Daily G. (dir.), 1997 - *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystem*, Washington D.C., Island Press.
- Daily G.C. & Matson P.A., 2008. Ecosystem Services: From theory to implementation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 105(28), 9455-9456. doi:10.1073/pnas.0804960105

- Darinot M., 2014. Évaluation des propriétés fourragères, agronomiques et calorifiques du foin de marais issu de la Réserve naturelle nationale du Marais de Lavours (Ain). Bull. Soc. Linn. Lyon, hors-série n° 3: 54 – 65.
- De Groot R. S., Stuij M., Finlayson M. & Davidson N., 2007. Évaluation des zones humides: Orientations sur l'estimation des avantages issus des services écosystémiques des zones humides. Rapport technique Ramsar n° 3 Série des publications techniques de la CBD n°, 27.
- De Sartre X. A., Castro M., Dufour S. et Oszwald J., 2014. Political ecology des services écosystémiques. EcoPolis. Vol. 21., 288 p.
- Dempsey J., 2013. Biodiversity loss as material risk: Tracking the changing meanings and materialities of biodiversity conservation, *Geoforum*, vol. 45, p. 41-51.
- Devaux J. et Helier A., 2018. Évaluation française des milieux humides et aquatiques continentaux et de leurs services écosystémiques, Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable, 248 p.
- Dufay C., 1979. Les lépidoptères des marais de Chautagne (Savoie). Bull. Soc. Linn. Lyon, 48: 589-605.
- Dufour S., De Sartre X.A., Castro M., Oszwald J. et Rollet A.J., 2016. Origine et usages de la notion de services écosystémiques: éclairages sur son apport à la gestion des hydrosystèmes, VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Hors-série 25 août 2016.
- Dupras J., Revéret J. P., & He J., 2013. L'évaluation économique des biens et services écosystémiques dans un contexte de changements climatiques: Un guide méthodologique pour une augmentation de la capacité à prendre des décisions d'adaptation. Ouranos, Canada.
- EpE, 2013. Mesurer et piloter la biodiversité, Paris, Entreprises pour l'environnement, 48 p.
- Fabre M.C., 1977. Étude floristique et écologique de la tourbière de Montendry (Savoie). Bull. Soc. Linn. Lyon, 46, 1, 10-25.
- Farber, S.C.; Costanza, R. & M.A. Wilson 2002. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecological Economics* 41, 375-392. doi:10.1016/S0921-8009(02)00088-5.
- Fisher B., Turner K., Morling P., 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68, p. 643-653.
- Forman R. T., & Godron M., 1981. Patches and structural components for a landscape ecology. *BioScience*, 31(10), 733-740.
- Fossati J. & Pautou G., 1989. Vegetation dynamics in the fens of Chautagne (Savoie, France) after the cessation of mowing. *Vegetatio* 85: 71-81.
- Fustec É., & Lefeuvre J. C., 2000. Fonctions et valeurs des zones humides. Dunod.
- Gayet G., Baptist F., Baraille L., Caessteker P., Clément J.-C., Gaillard J., Barnaud G., 2016. Guide de la méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides - version 1.0. Onema, collection Guides et protocoles, 186 p.
- Groupe de travail de l'Étude sur l'importance de la nature pour les Canadiens, 2017. Réalisation et utilisation d'une évaluation des services écosystémiques aux fins de prises de décisions: boîte à outils interdisciplinaire à l'intention des gestionnaires et des analystes. Ottawa, ON: Les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux. 310 p.
- Haines-Young R.H., Potschin M.B., 2018. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure. Fabis Consulting Ltd [In English]. URL: <https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf>.
- Holling C. S., 1978. Adaptive environmental assessment and management. John Wiley & Sons.
- Jacobs, S., Burkhard, B., Van Daele, T., Staes, J., Schneiders A. 2015. 'The Matrix Reloaded': A review of expert knowledge use for mapping ecosystem services. *Ecological Modelling* 295 (2015) 21-30.

- Jaunatre R., Gaucherand S., Rey F., Guerold F., & Muller S., 2017. ASPIRE : un cadre méthodologique pour l'appréciation du succès des projets d'ingénierie et de restauration écologiques : application à une opération de restauration d'une zone humide d'altitude. *Sciences Eaux & Territoires*, IRSTEA, 24, 66-71. URL : <http://www.set-revue.fr/aspire-un-cadre-methodologique-pour-lappreciation-du-succes-des-projets-dingenierie-et-de>.
- Jeanneaux P., Aznar O., de Mareschal S., 2012. Une analyse bibliométrique pour éclairer la mise à l'agenda scientifique des « services environnementaux ». *VertigO* – la revue électronique en sciences de l'environnement 12.
- Kroll, F., Muller, F., Haase, D., Fohrer, N., 2012. Rural-urban gradient analysis of ecosystem services supply and demand dynamics. *Land Use Policy* 29, 521-535.
- Lamarque, P., Quétier, F., & Lavorel S., 2011. Implications de la diversité des définitions du concept de service des écosystèmes pour leur quantification et pour son application à la gestion. *Comptes Rendus Biologies*, 334 (5), 441-449.
- Laurila-Pant M., Lehtikainen A., Uusitalo L. & Venesjärvi R., 2015. How to value biodiversity in environmental management? *Ecological indicators*, 55, 1-11.
- Ludwig, D. 2000. Limitations of Economic Valuation of Ecosystems. *Ecosystems* 3, 31-35. doi:10.1007/s100210000007.
- MA (Millennium Ecosystem Assessment), 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press/World Resources Institute, Washington, DC.
- Mace G. M., Norris K. & Fitter A.H., 2012. Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends in ecology & evolution*, 27 (1), 19-26.
- Manneville O. & Baïer P., 1993. Étude floristique et écologique de la tourbière des Creusates (St-François-de-Sales, Savoie). Comparaison avec les tourbières à Sphaignes des Alpes du Nord Françaises. *Revue d'écologie alpine* 2, p. 1-23.
- Maris V., 2014. *Nature à vendre : Les limites des services écosystémiques*. Éditions Quae.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment), 2005. *Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment*. Island Press. Washington DC., 245 p.
- Méral P., 2012. Le concept de service écosystémique en économie : origine et tendances récentes. *Natures Sciences Sociétés*, vol. 20 (1), 3-15. www.cairn.info/revue-natures-sciences-societes-2012-1-revue-3.htm.
- Mitsch W.J. & Gosselink J.G., 2015. *Wetlands*. 5 th Edition, John Wiley & Sons. 456 p.
- Morri, E., Pruscini F., Scolozzi R., Santolini R., 2014. A forest ecosystem services evaluation at the river basin scale: supply and demand between coastal areas and upstream lands (Italy). *Ecological Indicators*, 37 (part A), 210-219.
- Müller F., 2005. Indicating ecosystem and landscape organisation. *Ecological Indicators* 5 (4), 280-294. doi:10.1016/j.ecolind.2005.03.017.
- Naidoo, R.; Balmford, A.; Costanza, R.; Fisher, B.; Green, R.E.; Lehner, B.; Malcolm, T.R. & T.H. Ricketts 2008. Global mapping of ecosystem services and conservation priorities. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105 (28), 9495-9500. doi:10.1073/pnas.0707823105.
- Nedkov, S., Burkhard, B., 2012. Flood regulating ecosystem services - Mapping supply and demand in the Etropole municipality, Bulgaria. *Ecol. Indic.* 21, 67-79.
- Peh, K.S.-H., Balmford, A., Bradbury, R.B., Brown, C., Butchart, S.H.M., Hughes, F.M.R., MacDonald, M.A., Stattersfield, A., Thomas, D.H.L., Trevelyan, R.J., Walpole, M., Merriman, J.-C., 2017. *Toolkit for Ecosystem Service Site-based Assessment (TESSA)*. Version 2.0. Cambridge, UK.
- Porteret J., 2010. Capacité de stockage de l'eau et rôle des tourbières basses minérotrophes dans le fonctionnement des têtes de bassin versant. *Annales Scientifiques de la Réserve de la Biosphère Transfrontalière des Vosges du Nord-Pfälzerwald*, 15, 207-229.
- Price J. S., 2001. L'hydrologie. In : S. Payette et L. Rochefort, *L'écologie des tourbières du Québec-Labrador*, 621 p. Rapport D.J. & Singh A., 2006. An EcoHealth-based framework for State of Environment Reporting. *Ecological Indicators* 6, 409-428. doi:10.1016/j.ecolind.2005.05.003.
- RECORD, 2018. Mesure de la biodiversité et évaluation des services écosystémiques des milieux restaurés. Méthodes et retours d'expériences, 142 p, n° 17-1021/1A.

- Revéret J.-P., Dupras J., & He J., 2013. L'évaluation économique des biens et services écosystémiques dans un contexte de changements climatiques. Montréal, Ouranos.
- Salles J.-M., 2010. Dossier « Le réveil du dodo III » -Évaluer la biodiversité et les services écosystémiques: pourquoi, comment et avec quels résultats? *Natures Sciences Sociétés*, 18 (4), 414-423.
- Santolini R., Morri E., Pasini G., Giovagnoli G., Morolli C., Salmoiraghi G., 2015. Assessing the quality of riparian areas: the case of River Ecosystem Quality Index applied to the Marecchia river (Italy), *International Journal of River Basin Management*, 13:1, 1-16, DOI: 10.1080/15715124.2014.945091.
- Sauvage P., Landrieu G., Rodriguez T., Delangue J., Mougey T., 2015. Il sert à quoi ton espace naturel? *Espaces Naturels*, 52, 22-37.
- Scolozzi R., Morri E., Santolini R., 2012. Delphi-based change assessment in ecosystem service values to support strategic spatial planning in Italian landscapes. *Ecological Indicators*: 21: 134-144.
- Scolozzi R., Schirpke U., Morri E., D'Amato D., Santolini R., 2014. Ecosystem services-based SWOT analysis of protected areas for conservation strategies. *Journal of Environmental Management*: 1-9.
- Sharp R., Tallis H.T., Ricketts T., Guerry A.D., Wood S.A., Chaplin-Kramer R., Douglass J., 2020. InVEST 3.8.0. User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.
- Spangenberg, J.H., Settele, J., 2010. Precisely incorrect? Monetising the value of ecosystem services. *Ecological Complexity* 7, 327-337.
- Sukhdev P., 2008. The economics of ecosystems and biodiversity. *European Communities*, 64 p.
- Tamang, B., 2011. An assessment of ecosystem services of the Everest Region, Nepal. Ph.D. Thesis. Christian Albrecht University, Kiel, pp. 194.
- TEEB, 2010. The economics of ecosystems and biodiversity: mainstreaming the economics of nature: a synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB.
- UICN France, 2015. Panorama des services écologiques fournis par les milieux naturels en France - volume II.5: les écosystèmes d'eau douce. Paris, France, 23 p.
- Walthert C., 1987. Importance des cladaies (structure et biomasse) dans les successions végétales des marais tourbeux, Chautagne (Savoie), marais de Lavours (Ain). Mémoire de DEA de « Géographie, écologie et aménagement des montagnes », Université scientifique, technologique et médicale de Grenoble, 32 p.
- Wolff A., Gondran N. & Brodhag C., 2017. Les outils d'évaluation de la biodiversité et des services écosystémiques recommandés aux entreprises: compromis entre crédibilité, pertinence et légitimité, *Développement durable et territoires* [En ligne], Vol. 8, n° 1 | avril 2017.

