



THE ECONOMICS OF
LAND DEGRADATION

ELD CAMPUS

Module :

**Identification et sélection
des services écosystémiques**



www.eld-initiative.org
#ELDsolutions

Auteurs principaux / coordination :

Julia Hebbrecht, Hannes Etter, Silke Schwedes

Révision et édition :

Richard Thomas

Ce document a été publié grâce au soutien de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH au nom du Ministère Fédéral Allemand de la Coopération Économique et du Développement (BMZ)

Photographie :

Birgit Kundermann (première et dernière de couverture); Georg Birbaumer /GIZ (p. 8); Jörg Böhling /GIZ (p. 23)

Concept visuel : MediaCompany, Bonn Office

Mise en page : kipconcept gmbh, Bonn
Bonn, Septembre 2019

Pour plus d'informations ou pour un éventuel retour veuillez contacter :

ELD Secretariat

Mark Schauer

c/o Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 36

53113 Bonn, Germany

E info@eld-initiative.org

I www.eld-initiative.org

Citation suggérée :

ELD Initiative (2019). ELD Campus.

Module : Identification et sélection des services écosystémiques

Disponible sur www.eld-initiative.org

Module :
**Identification et sélection
des services écosystémiques**

Septembre 2019

www.eld-initiative.org
#ELDsolutions

Liste des abréviations

ADN	Acide Désoxyribonucléique
ARIES	Intelligence Artificielle pour les services écosystémiques (Artificial Intelligence for Ecosystem Services)
CGIAR	Groupe consultatif sur la recherche agricole internationale (Consultative Group on International Agricultural Research)
CICES	Classification internationale des services écosystémiques
CO₂	Dioxyde de carbone
COS	Carbone organique du sol
ELD	Économie de la dégradation des terres (Economics of Land Degradation)
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
GBIF	Système Mondial d'Informations sur la Biodiversité (Global Biodiversity Information Facility)
GDT	Gestion durable des terres
InVEST	Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs (Évaluation intégrée des services écosystémiques et compromis)
ITPS	Comité technique intergouvernemental sur les sols
MA	Millennium Ecosystem Assessment
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique)
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
SE	Services écosystémiques
SIG	Système d'information géographique
TEEB	L'économie des écosystèmes et de la biodiversité
UE	Union européenne
USPED	Unit Stream Power Erosion Deposition
WOCAT	Panorama mondial des approches et technologies de conservation (World Overview of Conservation Approaches and Technologies)

Table des matières

	Liste des abréviations	4
Chapitre 01	Services écosystémiques : les fondements théoriques	6
	Classification des services écosystémiques	8
	Classification CICES des services écosystémiques	10
	Amélioration des services écosystémiques par les pratiques de gestion durable des terres	11
Chapitre 02	Comprendre les services de régulation et de soutien du sol : les cycles de l'eau, des nutriments et du carbone organique	12
	Le cycle de l'eau	12
	Les cycles de nutriments	15
	Le cycle du carbone	18
Chapitre 03	Caractéristiques spécifiques des services écosystémiques	20
	Dynamique spatiale	20
	Dynamique temporelle	20
	Connectivité et complexité	21
	Compromis et synergies	21
	Rivalité et exclusivité des biens et services	24
Chapitre 04	Identification et évaluation des services écosystémiques	25
	Comprendre les unités de délimitation terrestres	26
	Évaluation des types et de l'état des services écosystémiques	28
	Les étapes de l'évaluation des services écosystémiques	28
Chapitre 05	Question de priorité : sélection de services écosystémiques pour l'évaluation .	30
	Lectures complémentaires	33
	Références	35
	Table des figures	38
	Table des tableaux	39
	Liste des encadrés	39

Services écosystémiques : les fondements théoriques

Les services écosystémiques (SE) se rapportent à tous les avantages que les humains tirent des écosystèmes. Ils ne sont pas similaires à la plupart des autres biens et services, car ils sont souvent **plus complexes** dans leur fonctionnement, leurs interactions et leurs effets. Dans les discours actuels sur les questions de conservation et de développement **de plus en plus d'attention est accordée** aux SE, notamment des questions de **valorisation économique des écosystèmes** émergent (Emerton et al. 2018).

Qu'est-ce qu'un écosystème ?

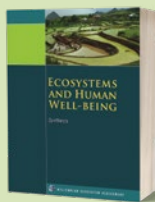
Il s'agit d'un complexe dynamique formé de communautés de plantes, d'animaux et de microorganismes et de leur environnement non vivant qui, par leurs interactions, forment une unité fonctionnelle (EM 2005).

Qu'est-ce qu'un service écosystémique ?

Ce sont les contributions directes et indirectes des écosystèmes au bien-être humain (TEEB 2010).

Les écosystèmes et services écosystémiques ont été évalués pour la première fois à l'échelle mondiale dans le rapport *Millennium Ecosystem Assessment* (MA). Selon ce rapport, environ 60% des services écosystémiques sont dégradés ou utilisés de manière non durable aujourd'hui. Il est estimé que les activités humaines au cours des cinquante dernières années ont gravement impacté les écosystèmes. À titre d'exemple, entre 1950 et 1980 (période de 30 ans) plus de terres ont été converties en systèmes de cultures qu'entre 1700 et 1850 (période de 150 ans). Par conséquent, un quart de la surface terrestre est utilisée en tant que système de production agricole à l'heure actuelle (MA 2005, 1).

La terre offre de nombreux services multifonctionnels qui interagissent et contribuent au bien-être humain. Chacun de ces services a un avantage (socio)-économique qui a de la valeur pour la société dans son ensemble et bien au-delà des valeurs marchandes. Par exemple, les plantes terrestres constituent une source de nourriture, de matériaux de construction et de fibres, tout en fournissant d'autres services essentiels tels que la



Le **Millennium Ecosystem Assessment** (MA) a été rédigé suite à la demande du Secrétaire général des Nations Unies Kofi Annan en 2000, et le rapport a été publié en 2005. Ce rapport a établi une base scientifique permettant d'entreprendre les actions nécessaires visant à améliorer la conservation et l'utilisation durable des écosystèmes et leur contribution au bien-être humain. L'étude a été menée à l'échelle mondiale, et pour faciliter une meilleure prise de décision à tous les niveaux, 34 évaluations ont été réalisées à l'échelle régionale, nationale et locale. Depuis la publication du MA, d'autres évaluations régionales ont été entreprises. Le rapport est

subdivisé en 3 parties : 1) Conditions et tendances ; 2) Scénarios ; 3) Recommandations en vue des changements de politique. Voici quelques exemples des problèmes d'ordre global identifiés. De nombreux stocks halieutiques sont dans un état déplorable. Par ailleurs, les populations des régions sèches (2 milliards de personnes) vivent dans une situation vulnérable en raison de la perte de services écosystémiques des sols (adapté de Emerton et al. 2018). Pour plus d'informations sur le rapport MA, veuillez consulter les liens suivant :

<http://www.millenniumassessment.org/en/About.html>
et <http://www.millenniumassessment.org/en/History.html>

régulation de la qualité du sol, de l'eau et de l'air. L'estimation de l'avantage économique total des terres n'est pas facile ni simple. Le **cadre de services écosystémiques** peut faciliter l'évaluation globale des écosystèmes en désagrégeant les terres en grandes catégories indépendantes (services écosystémiques) qui peuvent être évalués séparément (à savoir, des services d'approvisionnement, de soutien, de régulation et culturels, voir les figures 1 et 2) (ELD 2015, 1).

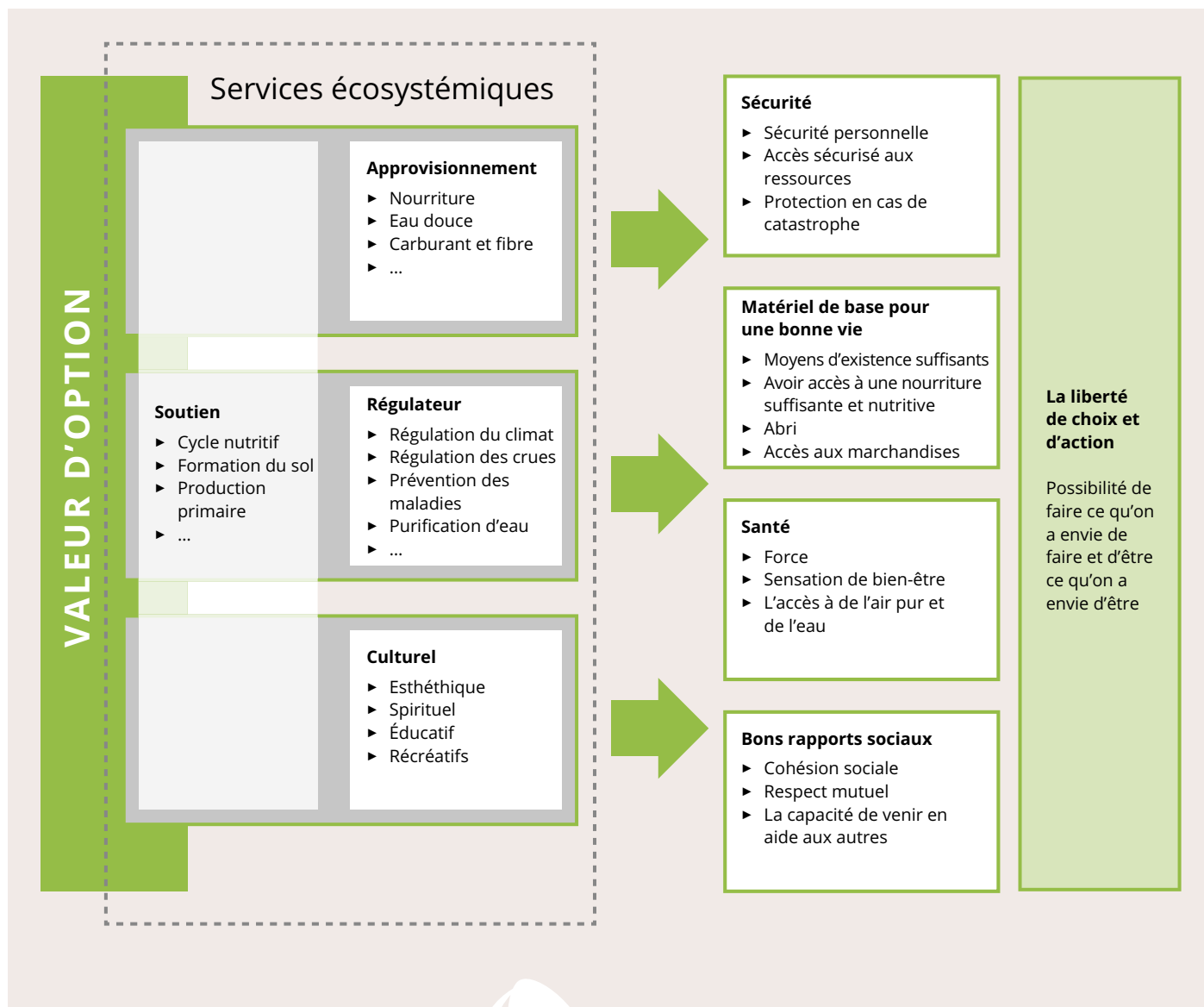
Le cadre des services écosystémiques dispose de plusieurs classifications de services écosystémiques à des fins diverses. Ces classifications ont été établies pour servir de guide pour l'évaluation exhaustive des écosystèmes et non comme « plan directeur ». La catégorisation utilisée par le MA est la plus répandue.

La figure 1 montre le lien entre les quatre catégories de services écosystémiques et le bien-être humain, basé sur le MA de 2005.

FIGURE 1

L'approvisionnement de services écosystémiques à partir du capital naturel : les liens entre les services écosystémiques et le bien-être humain

Source : La valeur des terres (ELD 2005, 1) adapté de le MA 2005



Classification des services écosystémiques

Catégorisation des services écosystémiques du MA

La figure 2 présente les quatre catégories de SE selon le MA. Ils peuvent être définis comme suit (ELD 2015, 1) :

Services d’approvisionnement – le capital naturel s’associe au capital construit, humain et social pour produire la nourriture, le bois, la fibre, l’eau, les combustibles, les minéraux, les matériaux de construction et les abris, la biodiversité et les ressources génétiques, ou autres avantages « d’approvisionnement ». Par exemple, pour avoir le grain qui est fourni aux gens comme nourriture, il faut des outils (capital construit), des agriculteurs (capital humain) et les communautés agricoles (capital social) pour le produire. En termes simples : les biens que les gens peuvent obtenir de l’écosystème ;

Services de régulation – le capital naturel s’associe au capital construit, humain et social pour réguler les processus tels que les événements climatiques par la régulation des flux hydriques (par exemple, pour lutter contre l’augmentation des inondations ou contre les sécheresses, pour la protection contre les tempêtes), la lutte contre la pollution, la baisse de l’érosion des sols, le cycle des éléments nutritifs, la régulation des maladies humaines, la purification de l’eau, la préservation

de la qualité de l’air, la pollinisation, la lutte contre les parasites et la régulation climatique avec le stockage et la séquestration du carbone. Par exemple, la protection contre les tempêtes par les zones humides côtières nécessite que l’on protège les infrastructures construites, les personnes et les communautés. Ces services ne sont généralement pas commercialisés, bien qu’ils aient une valeur importante pour la société ;

Les services culturels – le capital naturel s’associe au capital construit, au capital humain et au capital social pour produire plus d’avantages matériels liés aux loisirs (tourisme) et la chasse ainsi que des avantages non matériels tels que le spirituel ou l’esthétique, l’éducation, l’identité culturelle, le sentiment d’appartenance, ou tout autre avantage culturels. Par exemple, la production d’un avantage de loisirs nécessite un bel atout naturel (une montagne), en combinaison avec une infrastructure construite (route, piste, etc.), un capital humain (personnes en mesure d’apprécier la montagne), et le capital social (famille, amis et institutions qui rendent la montagne accessible et sécurisée). Ces services culturels auraient tendance à être surtout utilisés pour le tourisme ou les pratiques religieuses ; et,

Les services de soutien – ils préservent les processus des écosystèmes de base et des fonctions telles que la formation des sols, la productivité primaire, la biogéochimie, la formation du sol et le cycle des éléments nutritifs. Ils affectent le bien-être humain indirectement par le maintien des processus nécessaires à l’approvisionnement, la régulation et les services culturels. Par exemple, la production primaire nette est une fonction de l’écosystème qui contribue au contrôle climatique par la séquestration du carbone et son retrait de l’atmosphère, qui s’associe au capital construit, au capital humain et social pour fournir des services de régulation du climat. Dans certaines classifications ces services de soutien sont définis comme des fonctions des écosystèmes, car ils n’existent pas d’interaction directe avec les trois autres formes de capital pour créer des avantages en termes d’un meilleur bien-être humain. Les services de soutien permettent plutôt de soutenir ou de sous-tendre ces avantages. Les SE de soutien peuvent parfois être utilisés comme substituts des bénéfiques lorsque ces avantages ne peuvent pas être facilement mesurés directement.



FIGURE 2

Les quatre catégories de services écosystémiques avec des exemples

Source : TEEB 2010

Provisioning Services are ecosystem services that describe the material outputs from ecosystems. They include food, water and other resources.



Food: Ecosystems provide the conditions for growing food – in wild habitats and in managed agro-ecosystems.



Raw materials: Ecosystems provide a great diversity of materials for construction and fuel.



Fresh water: Ecosystems provide surface and groundwater.



Medicinal resources: Many plants are used as traditional medicines and as input for the pharmaceutical industry.

Regulating Services are the services that ecosystems provide by acting as regulators eg regulating the quality of air and soil or by providing flood and disease control.



Local climate and air quality regulation: Trees provide shade and remove pollutants from the atmosphere. Forests influence rainfall.



Carbon sequestration and storage: As trees and plants grow, they remove carbon dioxide from the atmosphere and effectively lock it away in their tissues.



Moderation of extreme events: Ecosystems and living organisms create buffers against natural hazards such as floods, storms, and landslides.



Waste-water treatment: Micro-organisms in soil and in wetlands decompose human and animal waste, as well as many pollutants.



Erosion prevention and maintenance of soil fertility: Soil erosion is a key factor in the process of land degradation and desertification.



Pollination: Some 87 out of the 115 leading global food crops depend upon animal pollination including important cash crops such as cocoa and coffee.



Biological control: Ecosystems are important for regulating pests and vector borne diseases.

Habitat or Supporting Services underpin almost all other services. Ecosystems provide living spaces for plants or animals; they also maintain a diversity of different breeds of plants and animals.



Habitats for species: Habitats provide everything that an individual plant or animal needs to survive. Migratory species need habitats along their migrating routes.



Maintenance of genetic diversity: Genetic diversity distinguishes different breeds or races, providing the basis for locally well-adapted cultivars and a gene pool for further developing commercial crops and livestock.

Cultural Services include the non-material benefits people obtain from contact with ecosystems. They include aesthetic, spiritual and psychological benefits.



Recreation and mental and physical health: The role of natural landscapes and urban green space for maintaining mental and physical health is increasingly being recognized.



Tourism: Nature tourism provides considerable economic benefits and is a vital source of income for many countries.



Aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and design: Language, knowledge and appreciation of the natural environment have been intimately related throughout human history.



Spiritual experience and sense of place: Nature is a common element of all major religions; natural landscapes also form local identity and sense of belonging.

Icons designed by Jan Sasse for TEEB. They are available for download at www.teebweb.org

Classification CICES des services écosystémiques

Outre le cadre du MA mentionné ci-dessus, on utilise également le cadre commun de classification internationale des services écosystémiques (CICES). Le CICES a été développé par l'Agence européenne pour l'environnement afin de fournir une description systématique de la contribution de la biodiversité au bien-être humain. Le CICES n'est pas une nouvelle classification des SE qui vise à remplacer les classifications précédemment développées tel que le MA ou le TEEB. Il est plutôt conçu comme un outil qui crée des équivalences entre les systèmes de classification. La première version 4.3 du CICES a été publiée en 2013, une version révisée – CICES 5.1 – qui intègre les expériences des utilisateurs a ensuite été lancée en 2017. Depuis sa première publication, le CICES s'est construit une base solide d'utilisateurs en Europe. Il a notamment été utilisé pour cartographier et évaluer les écosystèmes et leurs services dans le cadre de l'action 5 de la Stratégie de l'UE sur la biodiversité à l'horizon 2020 (CICES 2019).

Comme dans le MA, le CICES utilise également la répartition en services d'approvisionnement, de régulation et de services culturels comme principales catégories des SE. Seuls les services de soutien ne sont pas inclus dans le CICES, car ceux-ci ne

fournissent pas de produits biotiques et sont donc considérés comme ayant un impact indirect sur le bien-être humain. Les services CICES sont considérés comme « services finsaux » dans le sens où les produits de l'écosystème ou les caractéristiques qui contribuent au bien-être sont toujours connectés ou dépendent des structures, processus et fonctions écologiques, qui les sous-tendent (CICES 2019).

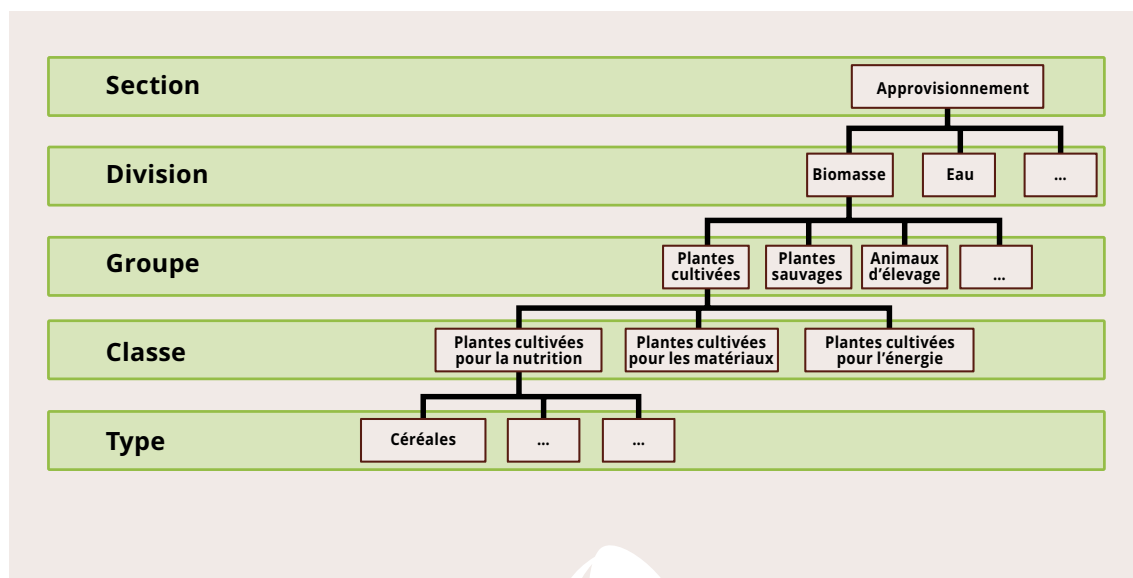
Le CICES utilise une structure à cinq niveaux pour identifier les « services écosystémiques finsaux ». La figure 3 illustre cette approche à cinq niveaux avec l'exemple de l'approvisionnement en céréales comme produit écosystémique final. Pour commencer, le niveau section renvoie à l'une des principales catégories de SE, dans ce cas, il s'agit de l'approvisionnement. Ensuite, le niveau « division » correspond à la production de la biomasse. Les trois niveaux suivants sont utilisés pour spécifier davantage la classification du groupe « plantes terrestres cultivées » à la classe « plantes terrestres cultivées pour la nutrition », puis le type de classe « céréales » (CICES 2019).

La structure hiérarchique est également conçue pour répondre aux préoccupations d'échelle et pour prendre en compte les différences géographiques dans les différents types de production écosystémiques reconnus comme services. Ainsi,

FIGURE 3

La structure à cinq niveaux du CICES dans le cas de la production de céréales

Source : CICES 2019



les groupes les plus agrégés et les catégories de division peuvent être utilisées pour l'élaboration de rapports à des échelles spatiales plus grandes, où l'on associe un certain nombre de classes plus spécifiques. À des échelles géographiques plus petites, ces plus grandes catégories de services pourraient être représentées par des classes spécifiques qui ont une signification au niveau local (CICES, site Web).

Amélioration des services écosystémiques par les pratiques de gestion durable des terres

Une introduction au concept de services écosystémiques liés à la terre est donnée dans le module portant sur la dégradation des terres versus la gestion durable des terres (GDT). Les pratiques non durables d'utilisation des terres conduisent à des processus de dégradation des terres. Les six catégories suivantes de dégradation des terres, selon WOCAT, ont été définies :

- **L'érosion des sols par l'eau**, ex : ravinement, érosion côtière, mouvements de masse, glissements de terrain ;
- **L'érosion du sol par le vent**, ex : la perte de la couche arable, les effets de la dégradation hors site ;
- **La détérioration chimique du sol**, ex : la baisse de la fertilité et la réduction des matières organiques du sol, la salinisation ;
- **La détérioration physique du sol**, ex : le compactage, l'imperméabilisation des sols ;
- **La détérioration biologique**, ex : la diminution de la couverture végétale, l'augmentation des parasites ; et
- **La dégradation par l'eau**, ex : le changement de la quantité des eaux de surface, et le changement du niveau de la nappe phréatique.

Selon l'ampleur des phénomènes, ces processus conduisent à la baisse ou la perte des différents SE :

- Baisse de la fertilité du sol, et par conséquent, baisse de l'approvisionnement en SE tels que les cultures, les fruits, les fibres, le bois, le bois de chauffe et les médicaments ;
- La perte de la couche arable, l'érosion des sols provoque éventuellement des dommages plus en amont (augmentation des sédiments dans les fleuves, etc.) ;

- Baisse des fonctions de régulation des crues ;
- Contamination des eaux de surface et/ou (souterraines) ;
- Réduction des capacités de stockage de l'eau, baisse du niveau des eaux souterraines ;
- Baisse de la séquestration du carbone et des fonctions de régulation climatique ;
- Baisse de la biodiversité (microorganismes du sol, ainsi que la flore, la faune, les habitats hors sol).

Les pratiques de GDT au contraire améliorent les fonctions de soutien écologique des terres. Rappelez-vous que les quatre catégories de mesures de GDT sont des mesures agronomiques, végétales, et des mesures structurelles ou de gestion. Ces mesures maintiennent la résilience écologique et la stabilité des services écosystémiques et apportent donc des avantages socio-économiques, écologiques, économiques et institutionnels (Pour plus d'informations, se référer au module sur la dégradation des terres versus la GDT, la section sur les avantages et les effets à long terme des mesures de GDT).

Entre autres, elles aident à :

- **Augmenter la teneur en matière organique** et donc de maintenir ou d'améliorer la fertilité du sol. Par conséquent, elles maintiennent ou augmentent la disponibilité de l'approvisionnement des SE tels que les cultures, les fruits, les fibres, le bois, le bois de chauffe et les médicaments ;
- **Enrichir et stabiliser la terre arable et à réduire l'érosion des sols** en empêchant ainsi la sédimentation dans les cours d'eau et réduisant ainsi les risques d'inondations ;
- **Maintenir et/ou renforcer les mécanismes de renforcement de la santé des sols et de purification de l'eau ;**
- **Maintenir ou améliorer les capacités de stockage de l'eau** et ainsi de maintenir ou d'augmenter le niveau des eaux souterraines, ce qui peut entraîner une amélioration de l'accès à l'eau ;
- **Favoriser la séquestration du carbone** et les fonctions de régulation du climat ;
- **Maintenir ou accroître la biodiversité** (microorganismes du sol, ainsi que la flore, la faune, les habitats hors-sol) ; et
- **Améliorer la résilience** de la production par rapport au changement climatique et les conditions météorologiques extrêmes.

Comprendre les services de régulation et de soutien du sol : les cycles de l'eau, des nutriments et du carbone organique

Bien que les services d'approvisionnement soient relativement faciles à identifier, à quantifier et à évaluer, et que les services culturels jouent un rôle mineur dans le contexte des systèmes agricoles (ce sur quoi l'ELD se concentre habituellement), les services de régulation et de soutien sont particulièrement pertinents pour la comparaison de différents systèmes agricoles et/ou d'occupation des sols. Ce chapitre présente les principaux cycles naturels du sol intervenant dans les services de régulation et de soutien, à savoir les cycles de l'eau, des nutriments et du carbone organique.

Le cycle de l'eau

L'eau est un élément essentiel de la vie sur Terre. Tout au long du cycle, l'eau passe par différents processus

et change entre les trois phases, solide, liquide et gazeuse. Elle transite entre différents réservoirs – l'air, les nuages, l'océan, les lacs, la végétation, la neige, les glaciers – et elle joue ainsi un rôle dans le système climatique de la terre (NOAA 2019).

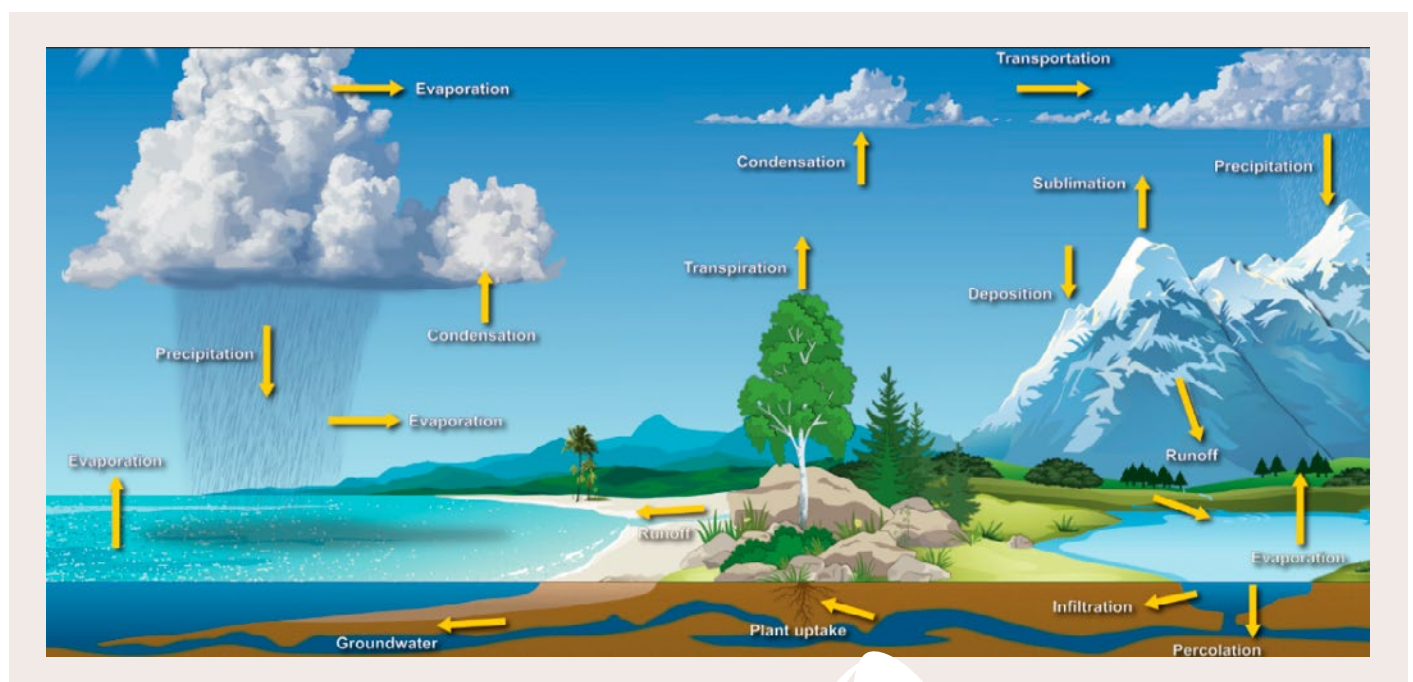
La figure 4 présente les principaux processus du cycle de l'eau (NOAA 2019) :

- L'évaporation : l'eau liquide change de phase et devient gazeuse (vapeur d'eau) ;
- La condensation : la vapeur d'eau (gaz) se transforme en gouttelettes d'eau (liquide) ;
- L'absorption par les plantes : l'eau prélevée par les racines des plantes, il s'agit d'eaux souterraines et de l'eau présente dans le sol ;
- L'évapo-transpiration : évaporation de l'eau des plantes vers dans l'atmosphère ;

FIGURE 4

Le cycle global de l'eau : les principaux flux d'eau

Source : NOAA 2019



- Le transport : le mouvement de l'eau sous forme solide, liquide et gazeuse à travers l'atmosphère ;
- Le ruissellement : le transport de l'eau par les fleuves, les lacs et les rivières et le transport de la glace dans les glaciers ;
- Les précipitations : l'eau est transportée depuis l'atmosphère sur la terre. La plupart des précipitations est sous forme de pluie, mais il existe aussi d'autres formes telles que la neige et la grêle ;
- L'écoulement : des eaux souterraines (aquifères) ;
- Le dépôt : la vapeur d'eau (gaz) se transforme en glace (solide) sans passer par la phase liquide ;
- La sublimation : la glace et la neige (solide) deviennent vapeur d'eau (gaz) sans passer par la phase liquide ;
- L'infiltration : l'eau de la surface pénètre l'intérieur du sol ;
- La percolation : le mouvement de l'eau qui traverse le sol en profondeur pour aller dans les eaux souterraines.

L'eau est un élément vital pour la subsistance humaine. Elle est utilisée dans l'alimentation humaine, dans les applications industrielles, dans l'irrigation pour l'agriculture, dans l'hydroélectricité, pour l'élimination des déchets et dans les loisirs. L'encadré ci-dessous présente des menaces majeures qui pèsent sur l'eau à la suite des nombreuses utilisations humaines. Certains facteurs aggravants sont le changements climatiques et la croissance constante de la population mondiale. L'épuisement des ressources en eau est une question importante que l'homme sera amené à résoudre (NOAA 2019).

Les menaces sur l'approvisionnement en eau au plan mondial

- Entre 1960 et 2000, la quantité d'eau prélevée dans les rivières et les lacs pour l'irrigation ou pour les besoins urbains ou industriels a doublé ;
- Dans le monde, 70 % de l'eau est utilisée pour l'agriculture ;
- À l'échelle mondiale, les êtres humains utilisent un peu plus de 10 % des réserves d'eau douce renouvelables pour les besoins des ménages, des activités agricoles et industrielles ;
- Dans certaines régions comme le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord, les Hommes utilisent 120 % des réserves renouvelables (MA 2005, 2).

Le cycle de l'eau intervient dans de nombreux écosystèmes et fournit divers SE aux êtres humains. Il est difficile de classer le cycle de l'eau exclusivement dans l'une des catégories : services de soutien, de régulation ou d'approvisionnement (MA 2005, 2). Par exemple, les précipitations constituent la principale source d'eau pour des **services de soutien**. Ensuite, les écosystèmes répartissent les précipitations entre les processus d'évaporation, de recharge et de ruissellement, ce qui correspond aux **services de régulation**. L'eau douce est également indispensable à la consommation humaine, ce qui représente un **service d'approvisionnement** (Falkenmark et Folke 2003).

Voici quelques exemples de certains services écosystémiques dans lesquels le cycle de l'eau intervient (Coates et al. 2013) :

- **Les zones humides** jouent un rôle majeur dans la régulation des flux des eaux de surface et des eaux souterraines ;
- Dans **les sols**, la rétention d'eau est essentielle pour fournir suffisamment d'eau pour la croissance des plantes. Par exemple, la désertification est essentiellement due à la perte de l'eau des sols ;
- **La végétation et la couverture terrestre** constituent des composantes majeures du cycle de l'eau ;
- Les écosystèmes peuvent être considérés comme « les infrastructures naturelles de l'eau », qui ont un fonctionnement similaire à celui des infrastructures construites par l'homme et jouent par conséquent un rôle essentiel dans la gestion de l'eau.

La figure 5 illustre la grande variété de services écosystémiques que le cycle de l'eau fournit à l'homme à l'échelle d'un paysage. La figure 6 illustre le cycle de l'eau à l'échelle d'un agroécosystème.

FIGURE 5

Cadre conceptuel illustrant le cycle de l'eau et les services écosystémiques dans le contexte d'un paysage simplifié

Source : Coates et al. 2013

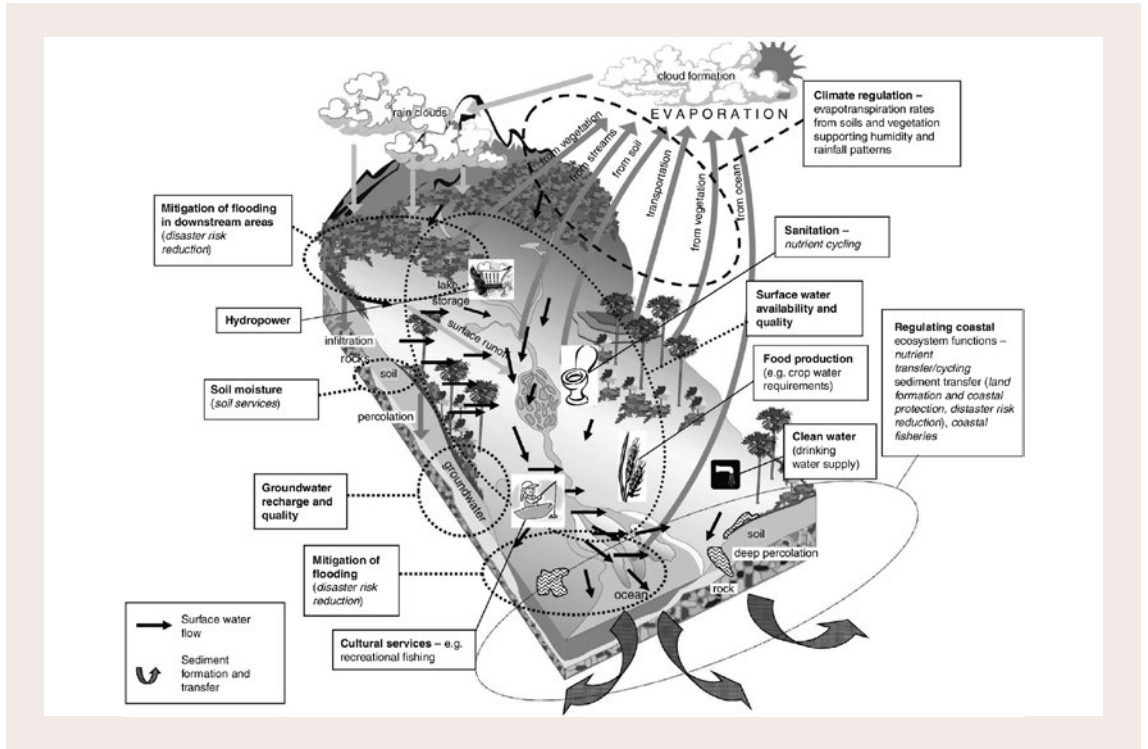
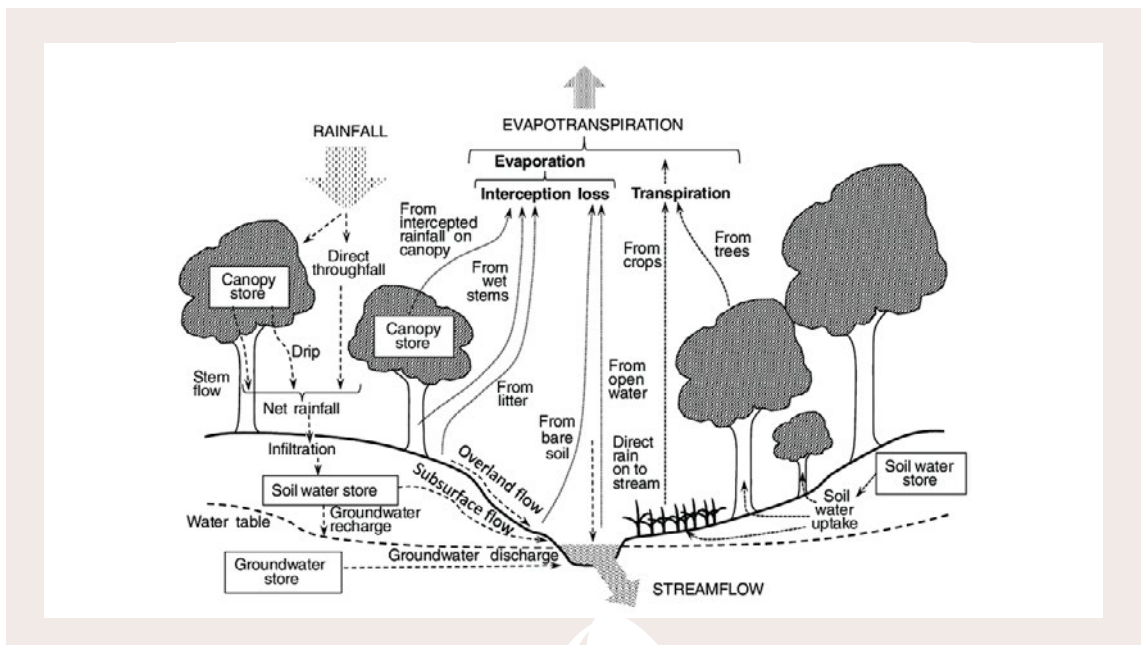


FIGURE 6

Le cycle de l'eau dans un agroécosystème

Source : Coates et al. 2013



Les cycles de nutriments

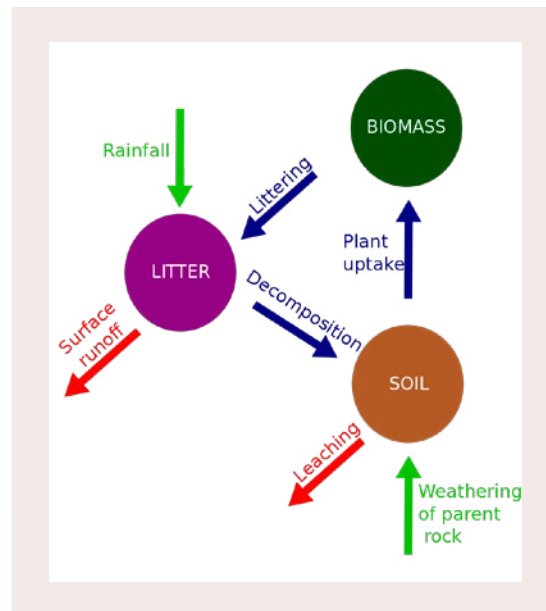
La croissance des plantes repose sur plusieurs nutriments présents dans les sols, parmi lesquels le carbone, l'azote (N) et le phosphore (P) (MA 2005, 3). Le cycle du carbone sera présenté dans le paragraphe suivant. Quant à N et P, ils transitent entre différents réservoirs (les sols, la biomasse, l'atmosphère, les eaux continentales et océaniques) tout au long de leurs cycles, en changeant de forme moléculaire au cours de ces processus. La figure 7 présente le schéma général des cycles de nutriments entre le sol et la biomasse. L'équilibre entre les éléments organiques et inorganiques dans les sols est nécessaire pour assurer que les plantes puissent absorber les nutriments inorganiques.

L'encadré suivant donne quelques faits importants sur les problèmes d'accumulation de N et de P dans les écosystèmes en raison de la fertilisation et de la pollution.

FIGURE 7

Le cycle des nutriments dans un écosystème terrestre

Source : Wikipédia 2019



Informations clés sur le cycle de l'azote (N)

- Pendant l'ère préindustrielle, le flux annuel de N de l'atmosphère vers les écosystèmes terrestres et aquatiques était de 90 – 130 millions de tonnes par an. Cela a été plus ou moins équilibré par un « flux » inverse de dénitrification ;
- La production et l'utilisation des engrais de N synthétiques, l'expansion de la production de cultures fixatrices d'azote, et le dépôt de polluants de l'air contenant de l'N sont à l'origine d'un flux supplémentaire d'N d'environ 200 millions de tonnes par an, dont une partie seulement est dénitrifiée ;
- L'accumulation d'N dans les sols et dans les eaux qui en résulte a permis une forte augmentation de la production alimentaire, mais au prix d'une augmentation des émissions des gaz à effet de serre et une détérioration continue des services écosystémiques d'eau douce et de zones côtières, y compris la qualité de l'eau, la pêche et la valeur d'agrément – moins de la moitié des engrais azotés appliqués parvient aux plantes cultivées. Le reste s'infiltré dans les plans d'eau ou retourne dans l'atmosphère.

Informations clés sur le cycle du phosphore (P)

- Le P s'accumule aussi dans les écosystèmes à un taux de 10.5 – 15.5 millions de tonnes par an, par rapport à un taux de 1 – 6 millions de tonnes de phosphore par an durant l'ère préindustrielle, principalement en raison de l'utilisation de P extrait dans l'agriculture ;
- La plupart de cette accumulation se produit sur des sols, qui peuvent ensuite être érodés dans les systèmes d'eau douce, ce qui provoque une détérioration des services écosystémiques ;
- Cette tendance est susceptible de se propager et de s'aggraver au cours des prochaines décennies, car de grandes quantités de P se sont accumulées dans la terre et leur transport vers les systèmes d'eau est lent et difficile à arrêter.

Source : MA 2005, 3

Le concept des frontières planétaires a été introduit par Rockström et al (Rockström et al 2009a, b). Une étude plus approfondie a permis de définir les neuf frontières planétaires (Steffen et al. 2015), dont deux sont menacées de risque élevé (voir figure 8). Il s'agit des flux biogéochimiques d'N et de P, et le système de production agricole mondiale actuelle y joue un rôle important (Campbell et al. 2017).

La figure 9 est une illustration de la forme simplifiée du cycle de l'azote en tant qu'exemple spécifique. Le cycle de l'azote consiste en flux d'azote

sous différentes formes chimiques entre l'atmosphère, les masses terrestres et les océans. L'azote est présent dans l'atmosphère essentiellement sous forme gazeuse en tant que diazote ainsi que les traces d'autres gaz. Les systèmes aquatiques contiennent principalement des formes solubles d'azote, tels que le nitrate et l'ammoniac. Les systèmes vivants contiennent principalement de l'azote biologique sous forme de protéines et d'ADN (Erisman et al. 2007).

Si le manque d'éléments nutritifs dans les sols limite la croissance des plantes et réduit les ren-

FIGURE 8

L'état des neuf limites planétaires notamment les flux biogéochimiques de phosphore et d'azote

Source : Campbell et al. 2017

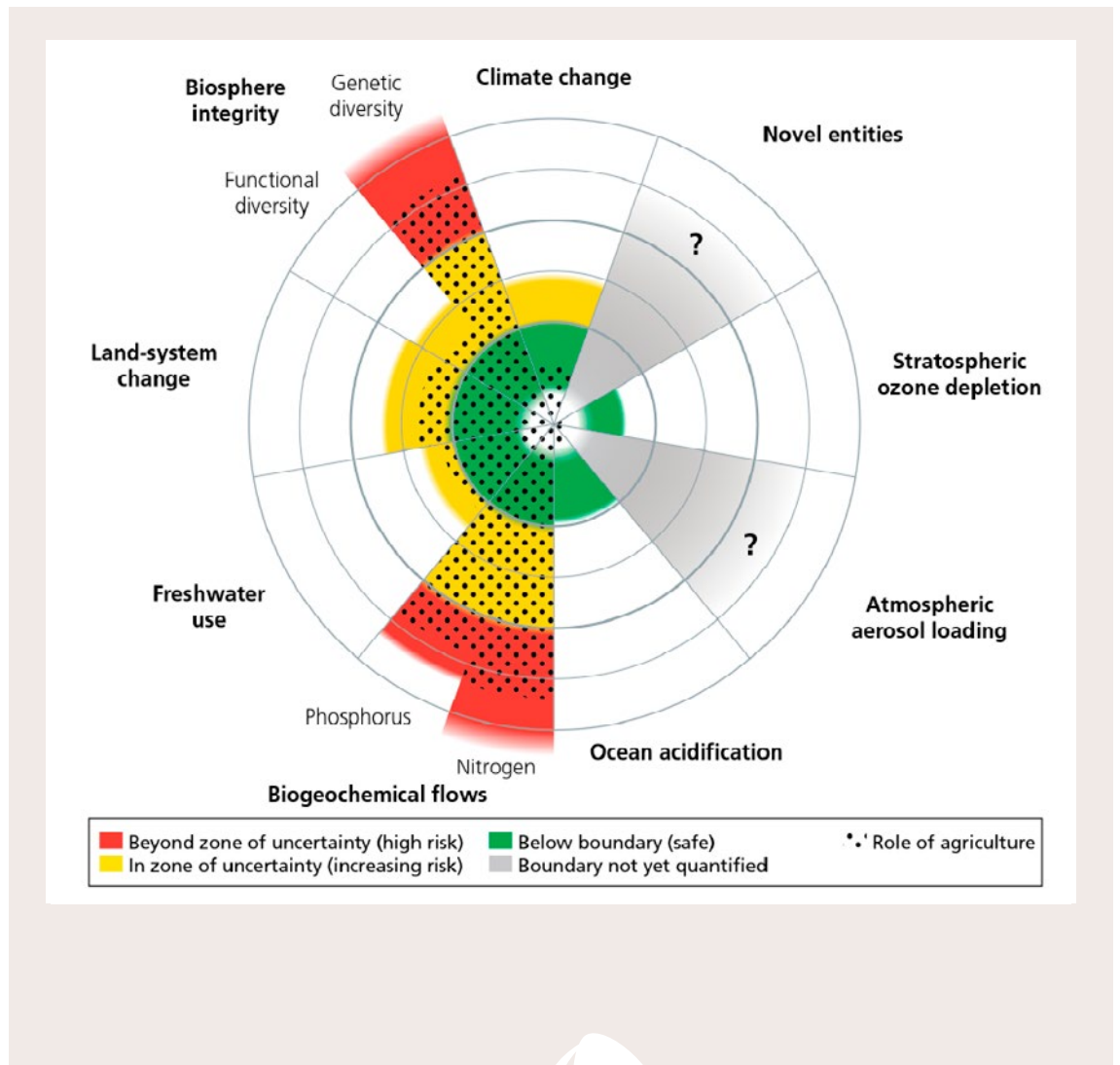
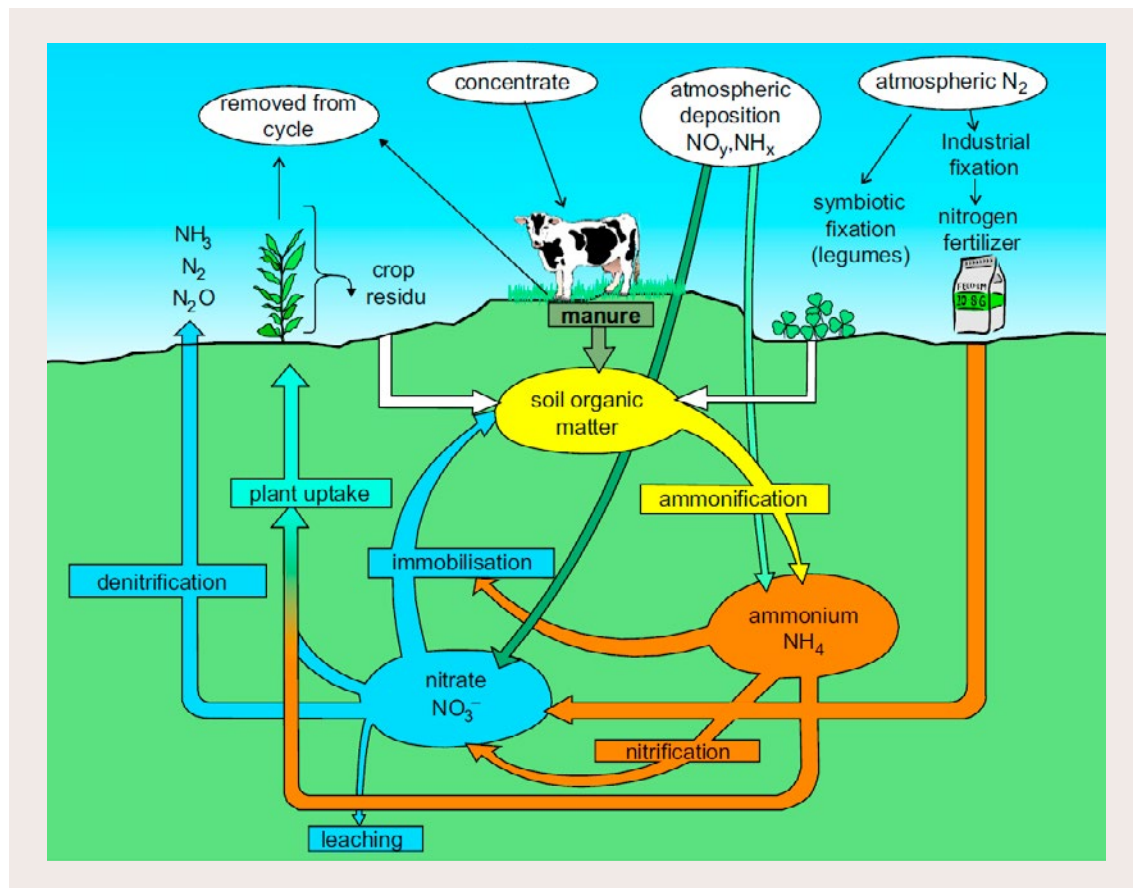


FIGURE 9

Les éléments les plus importants du cycle de l'azote

Source : Erisman et al. 2007



dements, les quantités excessives d'éléments nutritifs épandus dans les champs agricoles ont des impacts négatifs sur l'environnement (FAO 2017, 2) :

- L'accumulation des excès de nutriments – en particulier le N et le P – conduit à l'eutrophisation et à la détérioration de la qualité de l'eau ;
- Une plus grande quantité d'oxyde d'azote – un gaz à effet de serre – est émise du sol vers l'atmosphère ;
- Les formes mobiles de N sont lessivées dans les eaux utilisées pour la consommation humaine, ce qui a un impact sur la santé humaine ; et, dans les cas extrêmes, entraîner de mauvaises récoltes.

Les mesures de GDT sont donc utilisées pour contrecarrer ces problèmes environnementaux. En voici quelques exemples (FAO 2017, 2) :

- Amélioration de la fertilité naturelle des sols et des cycles des nutriments naturels par les **pratiques de conservation des sols** telles que l'utilisation de la rotation des cultures avec des légumineuses, l'utilisation de l'engrais vert et ou du fumier animal, les cultures de couverture avec très peu ou sans labour, l'utilisation réduite des herbicides et l'agroforesterie ;
- Optimisation de l'efficacité de l'utilisation des nutriments en appliquant **des amendements du sol adaptés au contexte** tels que le compost ou des matériaux de chaulage ;
- L'application d'engrais devrait promouvoir une **absorption équilibrée des éléments nutritifs** et devrait être basée sur des analyses du sol et des plantes.

Pour plus de détails sur les pratiques de GDT, consultez le module sur la dégradation des terres versus la GDT.

Le cycle du carbone

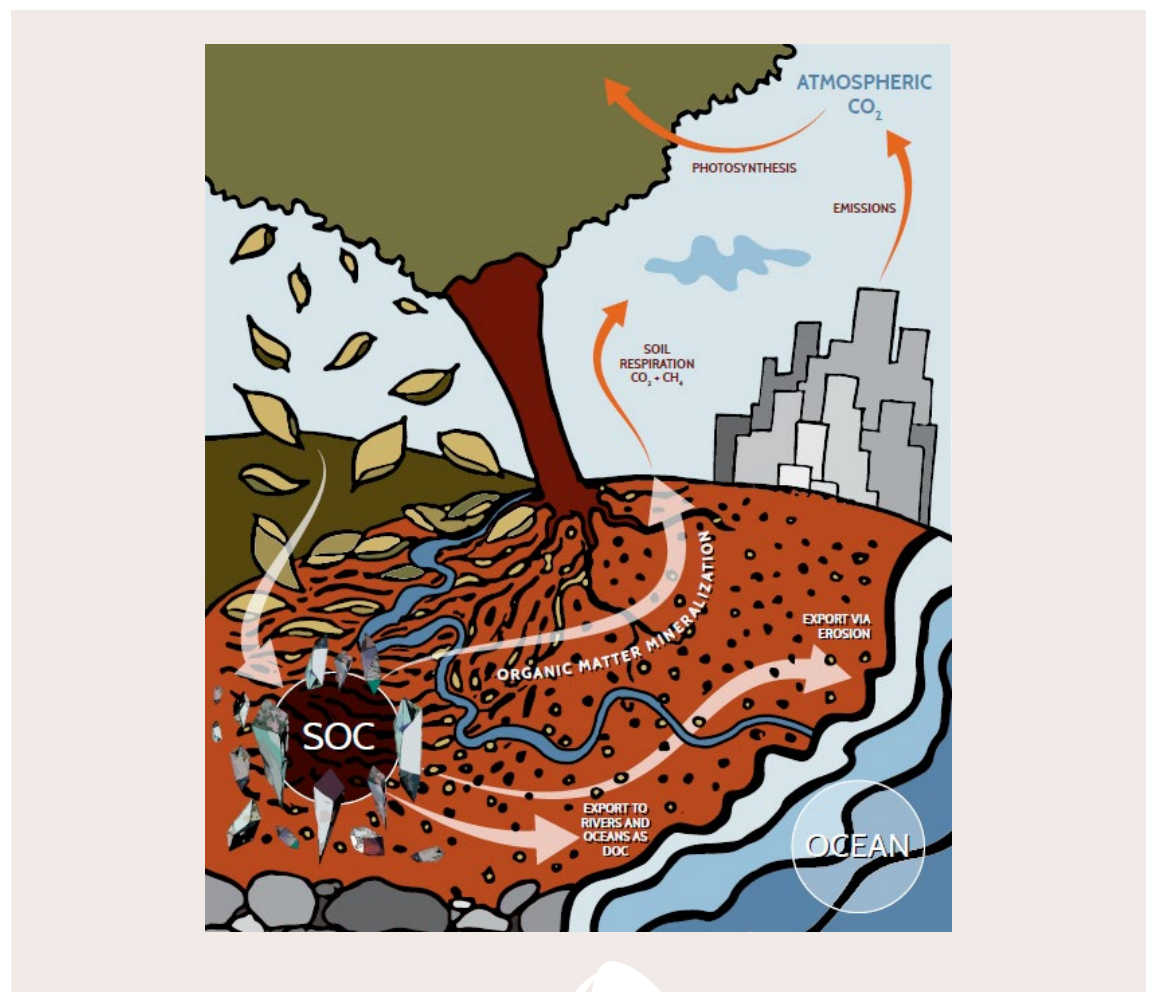
Le carbone organique du sol (COS) constitue une partie d'un cycle global du carbone beaucoup plus grand qui comporte les cycles du carbone dans le sol, la végétation, l'océan et l'atmosphère (FAO 2017, 1). Le COS représente un réservoir considérable de carbone, contenant 1500 PgC rien que dans la première couche d'un mètre en profondeur du sol. À titre de comparaison les deux autres grands réservoirs de carbone, l'atmosphère et la végétation terrestre, contiennent respectivement 800 PgC et 500 PgC respectivement (FAO et ITPS, 2015). Le bassin de COS est un réservoir dynamique, impliquant différents flux entre les bassins de carbone (FAO 2017, 1).

Comme le montre la figure 10, le cycle du carbone comprend quatre grands réservoirs de carbone, qui sont le sol, les océans, l'atmosphère et la végétation terrestre. La végétation absorbe le dioxyde de carbone (CO_2) de l'atmosphère pour le convertir en carbone organique au cours de la photosynthèse. Les sols absorbent le carbone par l'incorporation de la matière organique morte dans les sols via les micro-organismes hétérotrophes. Un flux de carbone, sous forme de CO_2 , est émis des sols vers l'atmosphère au cours de la décomposition de la matière organique par des microorganismes. Le carbone du sol est également exporté vers les océans sous forme de carbone organique dissout ou par érosion (FAO 2017, 1).

FIGURE 10

Le COS dans le cycle global du carbone

Source : FAO 2017 (1)



Informations clés sur le cycle du carbone

- Depuis 1750, le CO₂ atmosphérique a augmenté de 34 %, dont 60 % de cette augmentation depuis 1959 ;
- Depuis 1950, les écosystèmes terrestres jouent un rôle plus important en tant que puits de carbone ;
- Les écosystèmes terrestres jouent un rôle dans la séquestration du carbone grâce à une meilleure gestion des forêts, des changements dans les pratiques agricoles et les effets fertilisants des dépôts de N, et l'augmentation du CO₂ atmosphérique.

Source : MA 2005 (1)

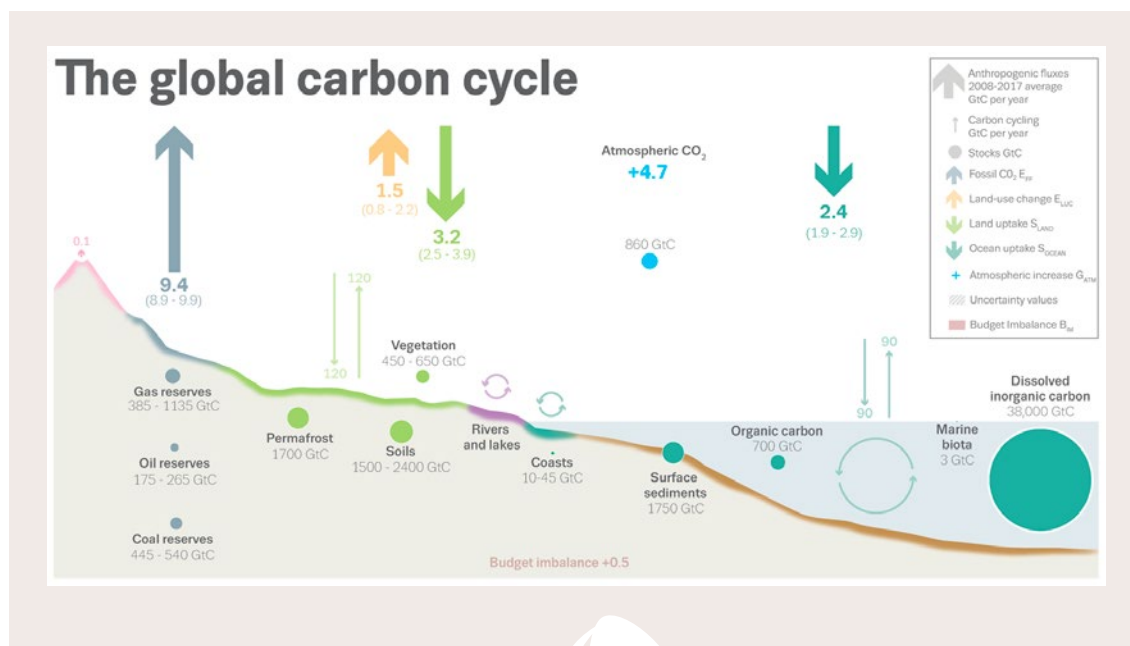
De même que pour les cycles d'azote et de phosphore, le carbone organique du sol peut être augmenté à l'aide de mesures de GDT. Par exemple, la fertilité naturelle des sols peut être améliorée par les pratiques de conservation des sols telles que l'utilisation de la rotation des cultures avec des légumineuses, l'utilisation de l'engrais vert et ou du fumier animal, les cultures de couverture avec très peu ou sans labour, l'utilisation réduite des herbicides et l'agroforesterie (FAO 2017, 2).

La Figure 11 illustre le cycle global du carbone au cours de la période 2008–2017 en mettant l'accent sur les émissions anthropiques de CO₂. Au cours de cette période, les émissions anthropiques moyennes annuelles de CO₂ ont représenté 9,4 GtC. De cette quantité, environ 4,7 GtC sont restés dans l'atmosphère chaque année, ce qui correspond à 50% de la quantité annuelle totale. Ce carbone émis s'est ensuite accumulé dans l'atmosphère (44%), dans l'océan (22%) et sur Terre (29%) avec un déséquilibre budgétaire de +0,5% (Global Carbon Project 2001–2018).

FIGURE 11

Le cycle global du carbone

Source : Global Carbon Project 2018



Caractéristiques spécifiques des services écosystémiques

Les services écosystémiques sont difficiles à évaluer, à quantifier et donc à valoriser en raison de la dynamique spatiale et temporelle, de leur connectivité et complexité ainsi que des compromis et synergies entre les différents services écosystémiques (Emerton et al. 2018).

Dynamique spatiale

Il peut y avoir un écart spatial entre l'endroit où un service écosystémique est produit et l'endroit où les avantages sont ressentis (Figure 12). En général, les SE connaissent des changements entre le point de

production et le point d'utilisation par trois mécanismes : a) les processus biophysiques évoluent selon le paysage, b) les avantages et les bénéficiaires évoluent selon le paysage et c) les coûts d'approvisionnement évoluent selon le paysage.

Dynamique temporelle

Les conditions et les processus écologiques peuvent changer de manière dynamique tout comme les préférences et les besoins de la société peuvent changer au fil du temps. La dynamique temporelle peut également peser dans l'évalua-

FIGURE 12

Dynamique spatiale dans les écosystèmes

Source : Fisher et al. 2009

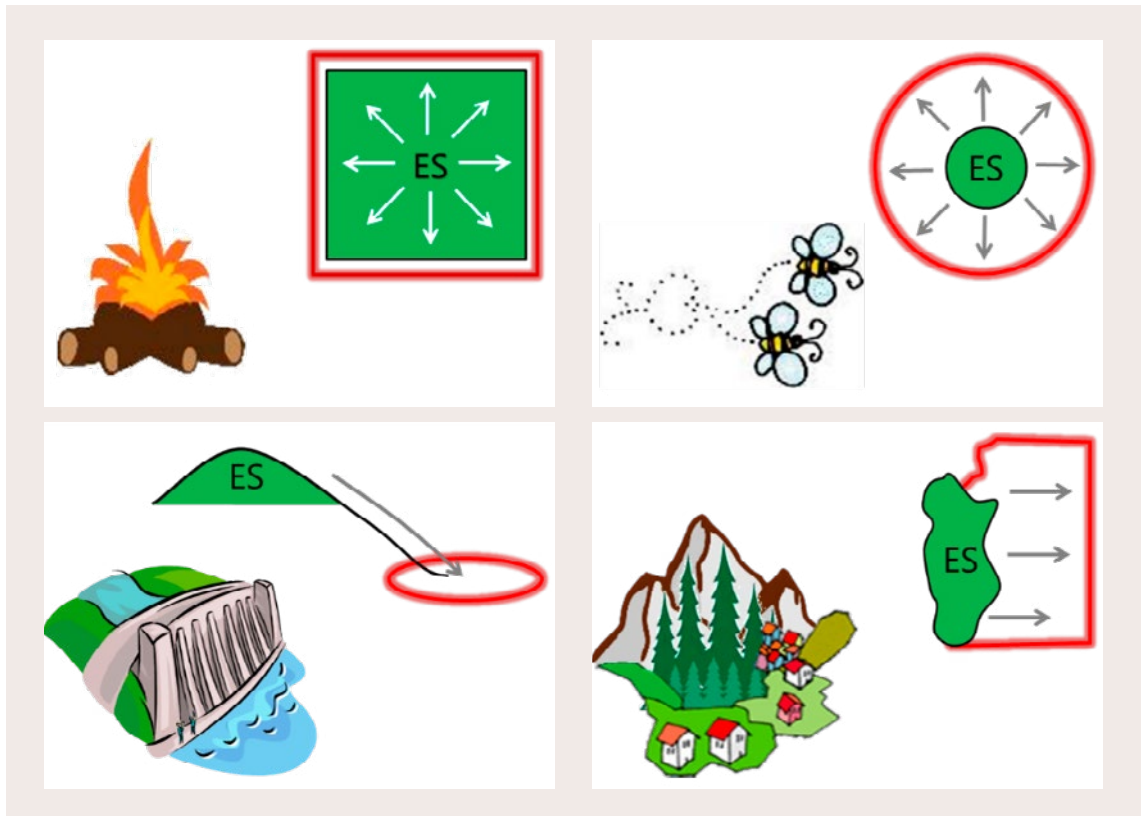
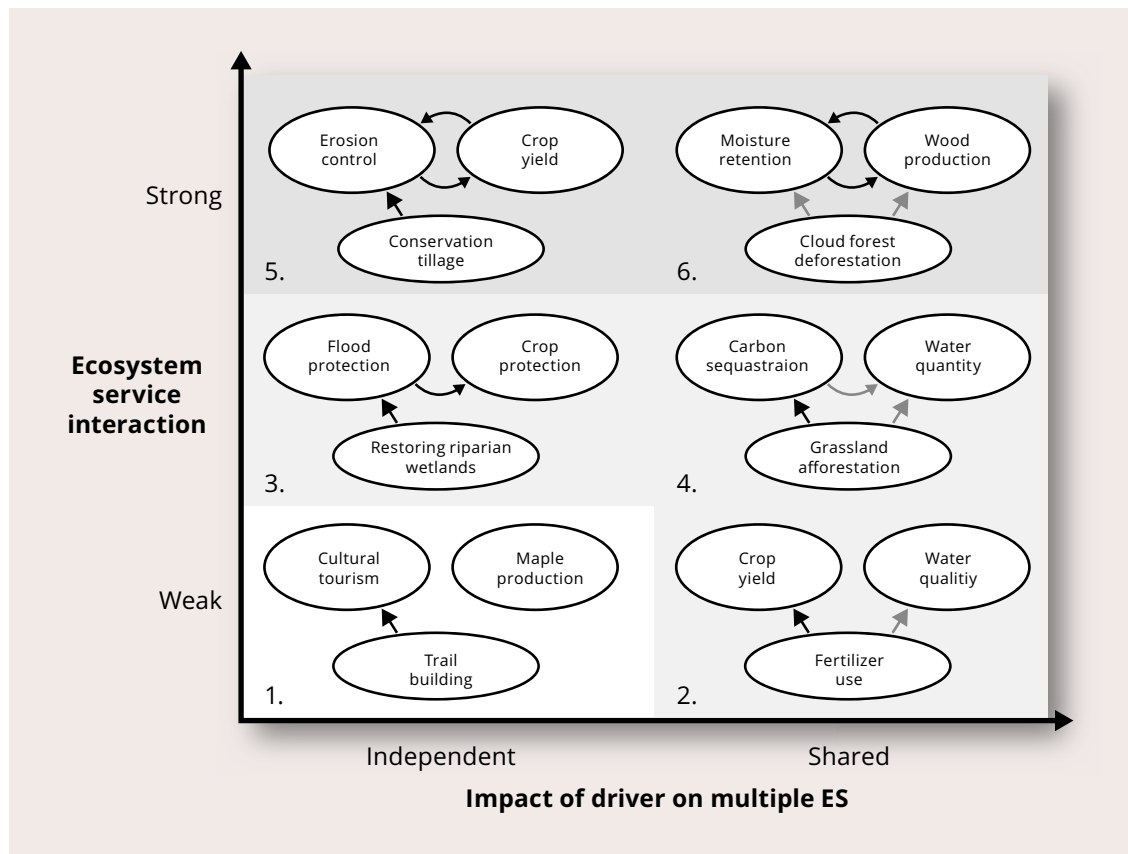


FIGURE 13

Interaction entre les services écosystémiques

Source : Bennett et al. 2009



tion puisque les gens ont tendance à préférer obtenir des avantages maintenant que plus tard.

Connectivité et complexité

Les changements dans l'écosystème peuvent affecter les services différemment. Les changements ou les impacts sur une composante peuvent également affecter d'autres services. Cela rend les écosystèmes très complexes à comprendre et à évaluer.

La figure 13 en donne quelques exemples. Les flèches noires indiquent un effet positif et les flèches grises un effet négatif.

Compromis et synergies

Les compromis de services écosystémiques résultent des choix de gestion effectués par les

êtres humains, qui peuvent changer le type, l'ampleur et le mélange relatif des services fournis par les écosystèmes. Les compromis ont lieu lorsque la fourniture d'un SE est réduite suite à l'utilisation accrue d'un autre SE. Dans certains cas, un compromis peut être un choix explicite ; mais dans d'autres, les compromis surviennent sans préméditation ou même sans qu'on ne réalise qu'ils sont en train de se produire. Ces compromis involontaires se produisent lorsque nous ne sommes pas conscients des interactions entre les SE (Tilman et al. 2002, Ricketts et al. 2004), lorsque nos connaissances sur la façon dont ils fonctionnent sont incorrectes ou incomplètes, ou lorsque les SE concernés n'ont pas de marchés explicites. Mais, même lorsqu'une décision est le résultat d'un choix explicite, éclairé, elle peut avoir des conséquences négatives. Par exemple, on peut avoir des effets indésirables suite au décalage d'échelle entre l'intention d'une décision de gestion particulière, les résultats escomptés, et

l'échelle à long terme ou à grande échelle spatiale des décisions (van Jaarsveld et al. 2005). Les rétroactions de l'écosystème et la dynamique de

la chaîne alimentaire peuvent également entraîner des conséquences inattendues (Ostfeld et LoGiudice 2003).

FIGURE 14

Comparaison des services écosystémiques fournis par un écosystème agricole et par un écosystème naturel

Source : Gordon et al. 2010

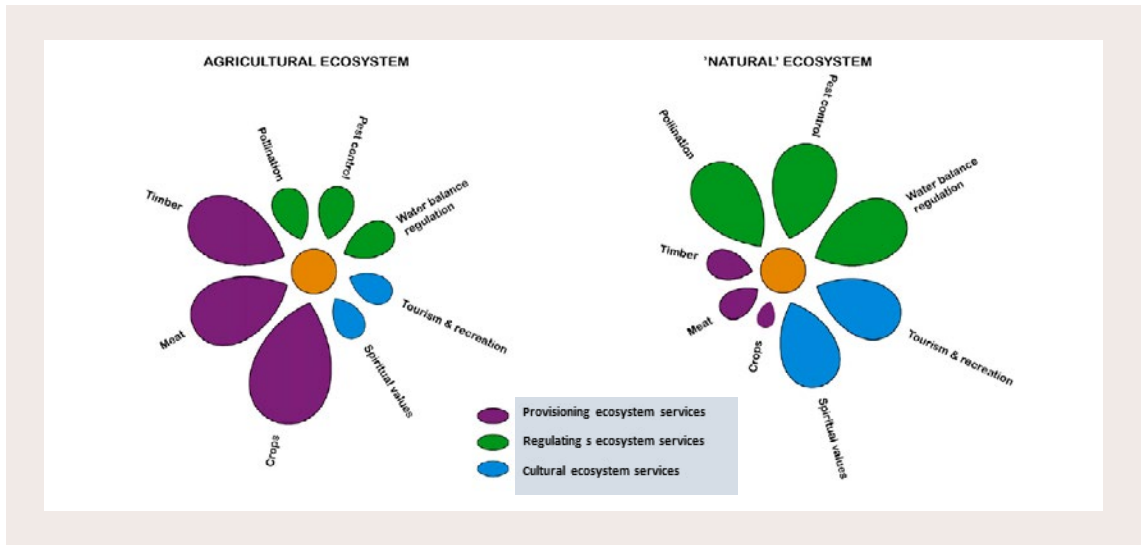
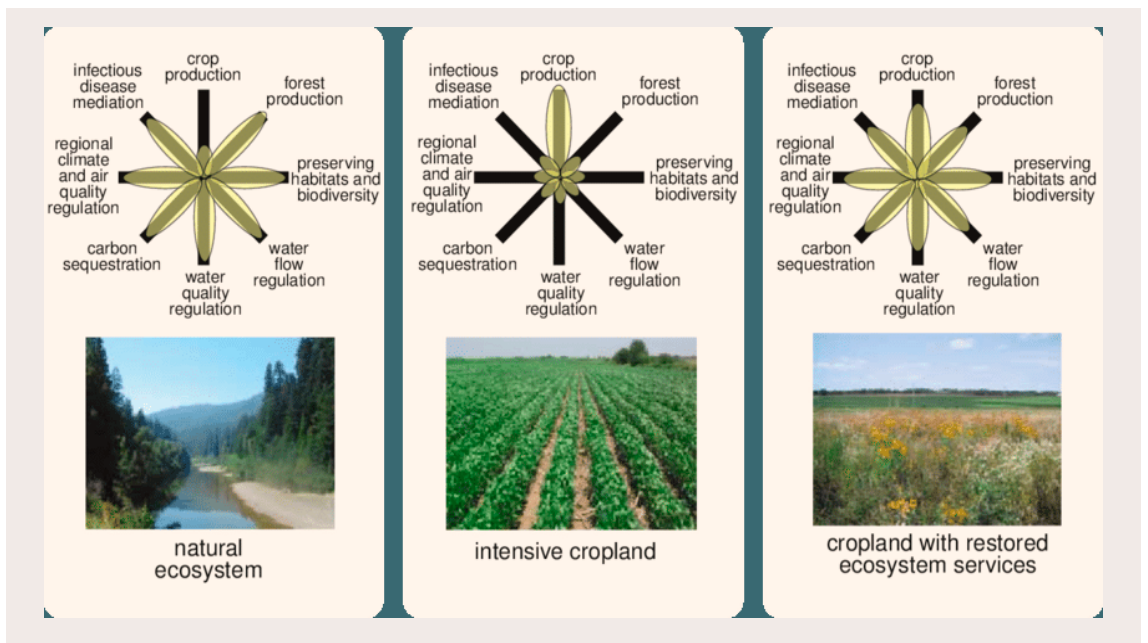


FIGURE 15

Comparaison des services écosystémiques fournis par un écosystème naturel, un système de culture intensif et un système de culture avec restauration des services écosystémiques

De : Foley et al. 2005



Des exemples de compromis entre services écosystémiques sont illustrés ci-après. La première figure montre comment le changement d'un écosystème naturel en un écosystème agricole peut avoir des implications sur la relation entre les services écosystémiques d'approvisionnement, de régulation et culturels (figure 14). La seconde figure fait la distinction entre un écosystème naturel, un système de culture intensif et un système de culture avec restauration des services écosystémiques (figure 15).

Il est important de noter que **tous ces compromis ont des répercussions sur la distribution, l'équité et les intérêts des différents acteurs**, y compris les personnes en aval, les générations futures et/ou la faune. Par exemple, un système de production agricole intensif utilisant des engrais et des pesticides peut réduire la qualité des sols, la biodiversité, la lutte biologique, la régulation de la qualité de l'air ainsi que les services de régulation de l'eau et la qualité de l'eau, et pourrait causer des conséquences négatives sur la santé, ainsi que des contraintes d'utilisation pour les générations futures.

Cependant, il est également possible de créer des synergies et ce faisant, de créer des situations mutuellement profitables, où un ensemble de services écosystémiques génère plusieurs autres services et avantages écosystémiques. A titre

d'exemple, on peut citer les systèmes de production extensifs, qui associent les arbres et les cultures, et n'utilisent que des engrais organiques. Ce type de système permet de maintenir la qualité du sol et peut donc de favoriser la production primaire. En outre, il améliore le stockage du carbone, contribue à réguler les flux d'eau, améliore la plupart des services d'approvisionnement (notamment alimentaires), et améliore la biodiversité.

Les compromis ont un impact sur la fourniture actuelle et future des SE, et, par conséquent, sur le développement et le bien-être. Minimiser et atténuer les compromis négatifs reviendrait à diminuer les conflits environnementaux et sociaux. L'identification des compromis permet d'avoir des informations sur les incitations et les décisions qu'il faut changer afin de réduire les impacts négatifs sur les SE (ValuES 2018).

Lors de l'identification et de l'analyse des services écosystémiques, il est important de distinguer les services écosystémiques en fonction des bénéficiaires. Lors d'une étape ultérieure, ce sera une condition nécessaire pour l'analyse coûts-avantages d'un scénario de statu quo par rapport à un scénario « d'action ». Les questions suivantes se poseront alors :

Qui supporte les coûts ? Qui profite des avantages ?



Rivalité et exclusivité des biens et services

Il est important de comprendre non seulement la fonction de la dynamique des écosystèmes, mais aussi les systèmes sociaux qui font l'interface avec les biens et services respectifs. Certains services et leurs avantages seront privés, d'autres publics. Les systèmes de gouvernance, les marchés, l'utilisation informelle des terres et autres servent à utiliser et à tirer profit des systèmes écologiques. Ces systèmes sont complexes et dynamiques et interagissent avec les différentes catégories de biens, ce qui nécessite différentes solutions sociales pour chaque type.

Certains services écosystémiques sont à la fois **rivaux et exclusifs** et peuvent donc être commercialisés également sur les marchés classiques (tableau 1). Il s'agit de **biens privés**, par exemple des cultures vivrières sur une ferme privée.

D'autres services écosystémiques entrent dans la catégorie des **biens club**. Ce type de bien est **non-rival et exclusif**. Il s'agit par exemple des frais d'entrée pour entrer dans un parc national.

Dans la catégorie des **biens d'usage commun** les biens sont **rivaux et non-exclusifs**. Il s'agit par exemple de l'usage de pâturages communautaires.

Pour finir, les **biens publics** sont **ni rivaux ni exclusifs**. Un exemple est la capacité de l'atmosphère à protéger les personnes contre les rayonnements nocifs. Les parcs publics en ville et la forêt sont d'autres exemples de biens publics. En général le gouvernement est le gestionnaire de ces biens ; il est difficile d'identifier exactement qui doit payer pour les services rendus (adapté de Emerton et al. 2018).

T A B L E A U 1

Rivalité et exclusivité des biens et services

Source : adapté de Emerton et al. 2018

		Est-il possible d'empêcher les consommateurs d'avoir accès à un bien ou service ?	
		Exclusif	Non-exclusif
Est-ce que l'utilisation d'un bien / service par une personne réduit sa disponibilité pour une autre personne ?	Rival	Biens privés : - Denrées alimentaires - Bois de charpente - Charbon, minéral, fer	Biens d'usage commun : - Stabilité climatique - Eau - Stocks halieutiques
	Non-rival	Biens de club : - Parc national - UE	Biens publics : - Oxygène - Montagnes, forêts

Identification et évaluation des services écosystémiques

L'approche 6 étapes + 1 de l'Initiative ELD est une méthode qui guide les utilisateurs dans le processus d'analyses scientifiques des coûts-avantages afin de faciliter les processus de prise de décision. Les trois premières étapes visent à identifier les services écosystémiques pertinents dans la zone d'étude prédéterminée (ELD 2015, 2).

La première étape est la phase initiale au cours de laquelle la portée, la localisation, l'échelle spatiale, et le but stratégique de l'étude sont définis et adoptés avec les parties prenantes, qui vont jouer un rôle essentiel dans la conception de scénarios alternatifs pour la gestion durable des terres. Cela se fait à travers un processus de **concertation** participatif et structuré **avec les parties prenantes** au cours duquel on explique l'approche de base et la justification de l'étude, et les questions straté-

giques sont discutées (voir le module sur la communication, la sensibilisation et l'impact des politiques du campus ELD). De plus, pour étayer le développement et la base de l'étude, **il est nécessaire de rassembler et de préparer des documents d'information** sur les contextes politique, législatif et institutionnel et sur l'environnement socio-économique et écologique par une recherche documentaire (Noel et Soussan, 2010). Il est très important d'identifier clairement **l'échelle de l'étude**, que ce soit au niveau communautaire, sous-national (ex : une province ou un bassin versant) ou national, et les frontières géographiques spécifiques ainsi que les catégories de couverture terrestre. En outre, les institutions partenaires concernées qui vont soutenir la recherche et la mise en œuvre par la suite devraient être identifiées et impliquées à cette étape (ELD 2015,2)

ENCADRÉ 1

Cartographie de la dégradation des terres due à l'érosion des sols en Ethiopie

Source : ELD 2015 (2), Hurni et al. 2014

Hurni et al. (2014) ont réalisé une analyse coût-avantage de la mise en place de structures de conservation des sols et de l'eau existantes et potentielles dans les hauts-plateaux d'Éthiopie. Pour identifier les caractéristiques géographiques retenues pour l'étude (dans ce cas, il s'agit du type de couverture terrestre, des structures de conservation existantes, et de l'érosion / dépôt des sols), les auteurs ont utilisé une combinaison d'images Landsat et l'opinion d'experts pour déterminer les classes de couverture terrestre, conjointement avec le modèle Unit Stream Power Erosion Deposition (USPED). Ce modèle prédit les schémas de dégradation par l'estimation des schémas d'érosion et de dépôt spatiale de matière terreuse, et a été utilisé dans cette étude avec les paramètres suivants :

- Erodabilité : Tirée des bases de données sur la répartition spatiale des types de sols, qui ont calibré les paramètres d'érodabilité à partir de la littérature ;
- Type de gestion : A partir de l'imagerie satellitaire haute résolution, des structures de conservation physiques ont été identifiées à l'aide de calculs géospatiaux ;
- Couverture de sol : Sur la base d'images Landsat, la couverture du sol a été identifiée et enregistrée dans le module USPED du logiciel SIG ; et
- Élévation : On a utilisé un modèle d'élévation numérique de la zone d'étude pour obtenir des informations sur les pentes (importantes à prendre en compte dans ce cas, car plus les pentes sont raides, plus le besoin de structures de conservation est élevé) et la capacité de transport des sédiments.

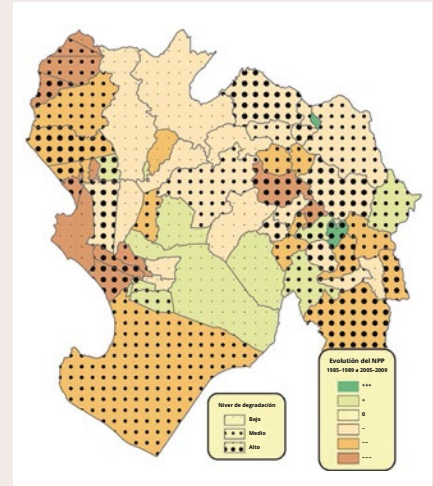
Les informations ainsi obtenues ont également été vérifiées in situ avec des avis d'experts, pour s'assurer que l'identification de la couverture terrestre ainsi que les estimations de la dégradation des sols (érosion des sols) et ses impacts (dépôt) étaient corrects. Partant de là, les auteurs avaient une base solide à partir de laquelle ils pouvaient élaborer des alternatives de scénarios de gestion des terres et les comparer au scénario de statu quo dans une analyse coûts-avantages.

ENCADRÉ 2

L'évaluation de la dégradation des sols par SIG au Pérou : l'étude de cas de Piura

Source : ELD 2015 (2)

La carte suivante a été élaborée par Morales et al. (2015) pour l'Initiative ELD, basée dans la région de Piura au Pérou. Elle met en évidence la tendance nette de la production primaire, sur la base d'informations obtenues de l'Atlas mondial de la désertification réalisé conjointement par le Centre commun de recherche de la Commission européenne et le gouvernement régional de Piura. Les auteurs ont comparé les tendances entre 1982 et 2009, et calculé un indice en superposant les différentes données dans le SIG avec une dégradation des sols (érosion) qui était associée à des pentes élevées. Les zones ombrées représentent des niveaux de dégradation dans les différents districts – renseignements obtenus auprès du gouvernement régional de Piura et adaptés lors d'ateliers avec les parties prenantes locales. La superposition de ces différents ensembles de données SIG a permis de valider et de confirmer les résultats des consultations participatives sur le terrain.



La deuxième étape consiste en l'identification des caractéristiques géographiques. Elle commence par l'évaluation de la couverture terrestre en vue de catégoriser la zone de l'étude en zones agroécologiques et d'identifier les frontières géographiques et écologiques. Ces évaluations peuvent être facilitées en utilisant les programmes de SIG (voir encadrés 1 et 2), qui sont largement disponibles et disposent de données géoréférencées de plus en plus exactes sur des variables clés tels que la couverture terrestre, les caractéristiques des écosystèmes, l'altitude, la topographie, les précipitations, les pentes, etc.

Comprendre les unités de délimitation terrestres

Les services écosystémiques et leurs avantages dépendent des conditions biophysiques. **La cartographie dispose d'un fort potentiel pour faciliter la compréhension des systèmes écologiques complexes et les interrelations.** L'évaluation du type de services écosystémiques (étape 3 d'une étude ELD) se basera donc sur l'identification des caractéristiques écologiques des différents types de couverture terrestre (zonage agroécologique), entrepris dans l'étape 2 d'une étude ELD (ELD 2015, 2).

Les services écosystémiques peuvent également subir des changements. Une fois de plus, la cartographie – y compris la comparaison avec la situa-

tion passée – permet d'identifier et de visualiser **les schémas des changements de la couverture terrestre et de l'utilisation des terres** et, par conséquent, aide à définir la portée exacte de l'étude.

Les questions importantes concernant l'identification des SE sont :

- Où les écosystèmes sont-ils fournis ?
- Où tire-t-on profit des avantages ?
- Où sont situées les limites administratives ?
- Quels sont les barrières et les limites ?

Avec l'aide de cartes, « des ensembles » d'écosystèmes peuvent être identifiés en relation avec différents types de couverture terrestre. La cartographie permet également de visualiser et de discuter des compromis en termes d'utilisation des écosystèmes pour différentes activités, de sorte à identifier les problèmes environnementaux et les conflits et de pouvoir proposer des solutions (2018) (ValuES 2018).

Une fois que la zone d'étude est cartographiée, éventuellement à l'aide d'un programme SIG approprié, les différentes catégories de couverture terrestre sont identifiées et regroupées en **zones agroécologiques** de référence. Cette classification de zones est déjà disponible dans la plupart des pays, mais elles peuvent par ailleurs être tirées du zonage agroécologique mondial produit par la FAO, à partir de sources internationales que l'on retrouve

par des recherches littéraires, ou par une analyse des données satellitaires de télédétection déjà disponibles (par exemple, Landsat). La catégorisation des écosystèmes agroécologiques peut aussi être fondée sur le cadre des services écosystémiques du Millennium Ecosystems Assessment (2005), proposant les catégories de SE d'approvisionnement, de régulation, culturels et de soutien (Figure 2). Des exemples de bases de données, pouvant être utilisées pour la catégorisation en zones agroécologiques, sont présentées dans l'encadré ci-dessous.

Le SIG participatif peut également être un outil efficace pour la collecte d'informations qui peuvent augmenter et qualifier des données SIG plus conventionnelles sur la couverture terrestre et l'utilisation et la répartition des écosystèmes, et peut également permettre de valider ou mettre à jour des données désuètes (Etter 2013).

L'étape de l'évaluation des types de services écosystémiques implique également d'affiner l'analyse au sein des zones agroécologiques et d'évaluer le le

ENCADRÉ 3

Bases de données utilisées dans l'évaluation des caractéristiques géographiques et la définition des zones agroécologiques

Les données de la Banque mondiale sur le développement

La Banque mondiale fournit une plate-forme *données sur l'énergie* ainsi qu'un *catalogue de données ouvertes* à l'échelle mondiale avec une subdivision en sept régions. La base de données sur l'énergie contient 594 ensembles de données sur 164 pays dans le monde. Le catalogue de données ouvertes couvre tous les pays qui sont répartis en sept régions du monde. Il existe trois différents types de données disponibles : les données géospatiales, les microdonnées et les séries chronologiques. Il fournit plusieurs indicateurs tels que la pollution de l'eau dans différents secteurs industriels et le prélèvement d'eau douce en fonction du type d'activité.

FAOSTAT

FAOSTAT offre un accès gratuit aux données agricoles et alimentaires de plus de 245 pays et territoires et couvre tous les groupes régionaux de la FAO de 1961 à la dernière année la plus récente disponible. Il fournit plusieurs indicateurs tels que le pourcentage de la superficie agricole, le bétail par hectare de surface agricole, l'érosion des sols en moyenne.

Lien : <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/E>

La base de données des indicateurs de services écosystémiques

Cette base de données a été créée par le World Resources Institute pour rendre les mesures et les indicateurs des services écosystémiques facilement accessibles pour utilisation dans les dialogues et décisions politiques, dans les évaluations des écosystèmes et dans les décisions sur la gestion des ressources naturelles.

Lien : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212041617306630>

Système Mondial d'Informations sur la Biodiversité (Global Biodiversity Information Facility)

Le Système mondial d'information sur la biodiversité (GBIF) a été mis au point depuis 2000, après approbation des ministres des sciences de l'OCDE. En 2001, 28 pays et 11 organisations internationales ont participé au GBIF. Aujourd'hui le GBIF compte 57 pays et 47 organisations internationales. Le réseau du GBIF dispose actuellement d'une couverture de données de 320 millions d'enregistrements d'occurrence de 8 500 ensembles de données de 360 éditeurs et portant sur un large éventail de couvertures géospatiales, temporelles et taxonomiques partagé via le réseau distribué (GBIF 2012).

Lien : <http://www.gbif.org/dataset>

Zonage Agroécologique Mondial

La méthodologie de zonage agroécologique de la FAO est l'outil principal utilisé pour l'évaluation des ressources foncières. Elle est basée sur le cadre de la FAO pour l'évaluation des terres qui a été utilisé depuis 1978 pour évaluer le potentiel de production agricole et la capacité de production, les rendements réels et potentiels et les écarts de rendement. Le zonage agroécologique mondial basé de la méthodologie ci-dessus mentionnée est une méthode qui crée des produits d'information pour aider à la planification de l'utilisation rationnelle des terres sur la base d'un inventaire des ressources foncières et de l'évaluation des limites biophysiques et du potentiel de production de terres (ELD 2015,2).

Lien : <http://www.fao.org/nr/gaez/programme/en/>

type et l'état des stocks et flux de services écosystémiques pour chaque catégorie de couverture terrestre (Fisher et Turner, 2008) qui ont été identifiées au cours des deux étapes précédentes.

Evaluation des types et de l'état des services écosystémiques

L'évaluation des services écosystémiques est une étape importante vers la reconnaissance du degré de contribution des services écosystémiques à l'agriculture, à l'élevage, à la foresterie, et/ou la pêche (et vice versa) et, par conséquent, aux économies locales. C'est donc une étape vers la valorisation des écosystèmes.

Quelle est la différence entre une évaluation des services écosystémiques et une valorisation des services écosystémiques ?

Une *évaluation des services écosystémiques* offre une vue holistique des services écosystémiques, en se concentrant principalement sur l'interaction des différents processus et fonctions. À l'inverse, une *valorisation des systèmes écosystémiques* attribue des valeurs à ces processus et fonctions, générant des données pour déterminer les coûts et avantages sociaux relatifs des services (ValuES 2018).

Les évaluations des services écosystémiques permettent d'identifier et de mesurer le potentiel de la fourniture de services écosystémiques dans un contexte politique donné et pour des bénéficiaires définis. L'évaluation des services écosystémiques permet l'identification du solde des pertes et des gains des services et de déterminer si oui ou non l'approvisionnement en services est durable. Les évaluations permettent également l'identification des seuils et des points de basculement. L'évaluation des SE se focalise sur la fourniture de services écosystémiques, et leur capacité à répondre à la demande en services écosystémiques. Ils fournissent des informations biophysiques des écosystèmes en termes de leur situation géographique, leur état, les tendances et les causes sous-jacentes. Les évaluations des SE reflètent l'importance des SE en fonction de leur disponibilité et de l'approvisionnement des bénéficiaires, ainsi que la reconnaissance des causes sous-jacentes et les facteurs des conditions et tendances, et leurs effets sur les parties prenantes (adapté de ValuES 2018).

Les étapes de l'évaluation des services écosystémiques

Des étapes importantes de l'évaluation des SE sont :

1. L'analyse des structures et des processus clés au sein des écosystèmes ;
2. La compréhension des fonctions écosystémiques (sur la base d'études, d'opinions d'experts, du savoir-faire) ;
3. L'identification des prestations de services ;
4. L'offre potentielle d'un service par un écosystème (unités physiques) ; et
5. La demande potentielle (social) pour un service.

Les questions directives à utiliser lors d'une évaluation des SE sont les suivantes :

- Quelles sont les activités économiques, sociales ou culturelles qui sont importantes pour les personnes vivant dans la région ?
- Quels sont les SE dont dépendent ces activités ou sur lesquels ces activités ont un impact ?
- Quels sont les SE les plus pertinents pour la région et pour quelles raisons ?
- Quelles parties prenantes mènent quelles activités et comment dépendent-elles des bénéfices des principaux SE ?

Par conséquent, dans le cadre de cette étape de l'évaluation des SE, **des données précises et détaillées sur l'approvisionnement et le flux de chaque service sont collectées**. Ces informations sont par la suite systématisées. Sur la base de cette approche, différents critères sont ensuite utilisés pour prioriser les SE.

L'objectif principal est de maintenir le flux des SE (c-à-d, réguler les services, cf les cycles ci-dessus) de sorte à assurer un approvisionnement constant des avantages, du bien-être et du développement. Pour ce faire, il est important d'identifier la capacité des écosystèmes à maintenir le flux des fonctions écosystémiques. Ces informations peuvent également indiquer la capacité de résilience des écosystèmes face aux changements, et si oui ou non leur état s'approche du point de basculement concernant la fourniture de services écosystémiques. Les paramètres et les indicateurs sont utiles lors de l'évaluation des écosystèmes et des services écosystémiques (pour ce qui est des études ELD, ils portent souvent sur les analyses du sol, de la productivité, des stocks de carbone et de l'érosion des sols).

Pour qu'une fonction soit considérée comme un SE, elle doit apporter un avantage aux êtres humains. Par exemple, la fonction de rétention d'eau d'une forêt ou la fonction de production d'un système d'agroforesterie pourront être considérés comme des SE. La fonction de rétention d'eau contribue à diminuer l'érosion et à prévenir les risques d'inondations, apportant ainsi un avantage à l'Homme. De plus, un même service écosystémique peut être évalué différemment en fonction du contexte. **L'importance accordée aux fonctions des écosystèmes dépend de l'espace géographique et ainsi que des valeurs que la société leur attribue.** Il est donc très important d'identifier les bénéficiaires afin de d'identifier les SE à prendre en compte (adapté de ValuES 2018).

L'appréciation de la valeur des SE nécessite généralement des informations sur les caractéristiques biophysiques, c'est-à-dire la situation géographique, l'approvisionnement réel et potentiel, l'état (qualité et quantité) et les tendances.

Il existe une gamme d'outils pour l'évaluation des services écosystémiques tels que **l'outil InVEST** (Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs – Valorisation intégrée des services écosystémiques et des arbitrages) **mis au point par le projet 'Natural Capital'** ou la **plate-forme ARIES** (Artificial Intelligence for Ecosystem Services Modelling – Intelligence Artificielle pour la modélisation des services écosystémiques). Ces outils aident à cartographier la fourniture de services écosystémiques et à modéliser leur évolution au fil du temps. Ils permettent aussi d'associer à une valeur économique aux SE, d'identifier des scénarios, et d'aider les décideurs à évaluer les compromis entre ces scénarios pour une prise de décision éclairée. Certaines de ces techniques d'évaluation sont résumées dans le tableau 2, ainsi que leurs caractéristiques (ex, la portée et la demande de données) et les besoins en ressources (ex, compétences, connaissances, temps, main-d'œuvre et coûts).

T A B L E A U 2

Vue d'ensemble des outils d'évaluation des services écosystémiques

Source : ELD 2015 (2)

Approche / outil	Description	Caractéristique				Besoins de capacités / ressources				
		Portée	Demande de données	Résolution	Intérêt de l'évaluation	Compétences informatiques	Connaissances techniques spéciales	Durée	Effectifs	Coût
Toolkit for Ecosystem Service at Sitebased Assessment (TESSA)	Série d'outils permettant de mesurer et suivre les services écosystémiques à l'échelle d'un site	Paysage	Faible-élevée	Faible-élevée	Faible-élevée	Inter-médiaires	Faible	Faible	Faible	Faible
Assessment Research Infrastructure for Ecosystem Services (ARIES)	Approche de modélisation pour quantifier les services environnementaux et les parties prenantes ayant une influence sur leur valeur, dans une zone géographique et selon les besoins et priorités définis par les utilisateurs	Paysage-Mondial	Faible-élevée	Faible-élevée	Faible	Inter-médiaires-élevées	Faible-élevée	Faible	Faible	Faible
Corporate Ecosystem Services Review (ESR)	Série de questions pour l'élaboration de stratégies de gestion des risques et opportunités découlant de la dépendance de l'entreprise aux ressources naturelles.	Paysage-Mondial	Faible	Faible	Faible	Élevés	Élevés	Faible	Faible	Élevé
Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST)	Plateforme informatique d'évaluation de la façon dont des scénarios distincts peuvent donner lieu à différents résultats en matière de services écosystémiques et de bien-être humain dans une zone géographique.	Paysage-Mondial	Faible-élevée	Faible-élevée	Élevé	Élevé	Élevé	Faible	Faible	Élevé
Multi-scale Integrated Models of Ecosystem Services (MIMES)	Une série de modèles permettant d'évaluer comment des scénarios de gestion distincts pourraient s'appliquer à différents services écosystémiques et résultats liés à l'homme et à l'être humain.	Paysage-Mondial	Faible-élevée	Faible-élevée	Élevé	Élevé	Élevé	Faible	Faible	Élevé
Natura 2000	Outil d'évaluation globale des avantages socio-économiques et de la valeur d'un site, et de détermination des valeurs plus monétaires des avantages individuels fournis par le site.	Paysage	Faible	Faible	Élevé	Inter-médiaires	Faible	Faible	Faible	Faible

05

Question de priorité : sélection de services écosystémiques pour l'évaluation

Les notions de dépendances et d'impacts sont couramment utilisées lors de l'évaluation et de la hiérarchisation des SE. Pour appliquer ces concepts, il est nécessaire d'identifier d'abord les principaux SE et activités qui sont menées dans la zone. La notion de **dépendance** renvoie au fait qu'une activité (économique ou sociale) dépend d'une quantité ou qualité données d'un service fourni. La notion **d'impact** qualifie l'incidence (positive ou négative) d'une activité sur un SE et si cela entraîne un changement dans la prestation d'un service donné.

Dans l'exemple ci-dessous (Tableau 3), les exportations de bois dépendent de la présence d'arbres et dépendent également de la fertilité des sols. Les exportations de bois ont un impact sur la fourniture de bois, car les arbres sont coupés et retirés de l'écosystème. Bien que l'exportation de bois ne dépende pas de la régulation de l'eau, elle peut

avoir un impact important sur ce service. En effet, la dégradation de la végétation peut provoquer un changement dans les eaux de ruissellement et dans la rétention d'eau. Par conséquent, les activités peuvent dépendre et avoir des impacts différents sur les services écosystémiques (ValuES 2018).

En remplissant la matrice pour chaque activité et chaque service écosystémique identifié, on peut identifier :

- a) les services clés, et
- b) les activités qui ont une grande influence sur la fourniture de services écosystémiques (ou les activités qui dépendent fortement des services).

Dans le tableau 3, les activités de production de viande et de produits laitiers et l'extraction du bois ont le plus haut degré d'impact sur les services

T A B L E A U 3

Exemple d'une matrice sur la dépendance et l'impact pour divers services écosystémiques et activités humaines

Source : ValuES 2018

Ecosystem Services	Development of (economic) activities in an area										Sum.
	Meat and Dairy Production		Water Treatment Plant		Communal Tourism		Timber Export		Cotton Production		
	Dep*	Imp*	Dep	Imp	Dep	Imp	Dep	Imp	Dep	Imp	
Water Regulation	1*	2	2	0	1	1	0	2	2	1	12
Provision of Raw Materials	0	1	0	0	1	0	2	2	0	1	7
Recreation	0	1	0	1	2	1	0	1	0	1	7
Soil Fertility	2	2	0	0	1	1	1	1	2	2	12
Soil Flexation	2	1	1	0	1	1	0	2	2	1	11
Sum Impact & Dependencies	5	7	3	1	6	4	3	8	6	5	

* Dep = Dependence, Imp = Impact, 0 = no connection/relevancy, 1 = minor connection, 2 = major connection

écosystémiques clés identifiés. Ceux-ci seraient donc des cibles logiques pour de nouvelles politiques ou mesures pour mieux gérer un écosystème. De même, le service écosystémique de régulation de l'eau a eu la note la plus élevée après l'addition des scores de la dépendance et de l'impact. En tant que tel, ce service écosystémique pourrait être provisoirement considéré comme ayant une importance capitale pour la région.

Il faut garder à l'esprit qu'il s'agit d'une approche qualitative, et qu'en tant que tel, les résultats doivent être traités avec précaution. Il est important de se rappeler que l'objectif de la sélection et de la priorisation n'est pas d'évaluer l'état et les conditions d'un écosystème (qui est réalisée à l'étape suivante), mais plutôt d'identifier les services écosystémiques et de classer par ordre d'importance selon les dépendances et les impacts des activités humaines sur ces services écosystémiques (Values 2018).

Ci-dessous des exemples d'autres critères permettant de classer les services écosystémiques par priorités :

- Changement biophysique et niveaux de dégradation ;
- Fiabilité de l'approvisionnement ;
- Nombre de bénéficiaires ;
- Difficulté de substitution ;
- Facilité de mesure fiable ;
- Pertinence pour les décideurs ; et
- Préoccupations générales.

Les exemples ci-dessus indiquent une méthode possible de classification et de hiérarchisation des écosystèmes. Il existe cependant de nombreuses autres approches. Pour plus d'informations veuillez consulter le site Web de ValuES.

En résumé, durant l'étape de sélection les principaux SE sont identifiés et évalués en lien avec les activités de développement, économiques, sociales et culturelles. La priorisation permet ensuite de classer les SE par ordre de priorité en fonction des impacts et dépendances entre les activités et les SE. Pour la priorisation d'autres critères peuvent également être appliqués. Cette pré-sélection permet donc de focaliser l'étude sur les activités et services clés lors de l'étape suivante (ValuES 2018).

Le tableau 4 présente les services écosystémiques généralement pris en compte dans le cadre des études ELD. Cette classification pourrait être modifiée en modifiant le contexte d'étude. Par exemple, le service de séquestration du carbone, elle peut être également classé comme service de régulation ou comme service de soutien. Certains services appa-

raissent à plusieurs reprises, mais dans des contextes différents (par exemple la production agricole et les pâturages), et peuvent avoir des impacts différents. Au cours des étapes de quantification et d'évaluation des SE, il est important d'identifier clairement les SE devant être pris en compte pour l'analyse coûts-avantages afin d'éviter le double comptage.

T A B L E A U 4

Services écosystémiques typiques pris en compte dans le cadre des études ELD

Catégorie	Services écosystémiques	Impact biophysique
Approvisionnement	Augmentation de la production agricole	Augmentation du rendement
	Disponibilité accrue des produits forestiers (produits non ligneux, bois de chauffe, plantes médicinales)	Fruits, bois, bois de chauffe produits
	Augmentation de la biomasse comestible sur les parcours	Augmentation de fourrage naturel disponible
	Disponibilité des plantes médicinales (sur les pâturages)	Amélioration de la nutrition animale et la réduction des maladies animales
	Augmentation de la production des produits d'élevage	Augmentation de la production de viande (ou laine, etc.)
	Augmentation de la production de miel en fonction de la disponibilité accrue des plantes mellifères	Augmentation de la production de miel
Régulation	Fixation d'azote	Augmentation du rendement des cultures
	Conservation de l'humidité du sol	Augmentation du rendement des cultures
	Stabilisation des sédiments et réduction de l'érosion des sols	Impact positif sur l'azote et le phosphore, sur les phénomènes d'érosion et / ou la sédimentation en aval
	Augmentation de l'infiltration et réduction du ruissellement	Augmentation de l'infiltration dans les aquifères peu profonds et recharge des nappes phréatiques
	Augmentation de l'infiltration et de l'humidité du sol sur les pâturages	Extension des zones de pâturage prolongation des périodes de pâturage, amélioration des débits et de la valeur paysagère
	Infiltration et recharge de la nappe superficielle	Augmentation des eaux souterraines disponibles
	Baisse de la sédimentation en aval des réservoirs	Capacité de stockage du réservoir renforcée
Soutien	Séquestration du carbone, atténuation des effets du changements climatiques	CO ₂ – séquestré
Culturel	Loisirs, éco-tourisme, inspiration spirituelle	Augmentation de la biodiversité par la conservation de la nature
	Tourisme axé sur la faune – la chasse aux trophées	
	Amélioration de la santé humaine	—

Lectures complémentaires

Vidéos

Les services écosystémiques en bref (OPERAs project 2015) :

<https://www.youtube.com/watch?v=Y2KdM9zoF8E>

Littérature

Services écosystémiques

Rapport de synthèse du TEEB sur la contribution économique des services écosystémiques et la biodiversité au bien-être humain

<http://www.teebweb.org/our-publications/teeb-study-reports/synthesis-report/>

Intégrer les services écosystémiques dans la planification du développement : Manuel pour les formateurs ; ValuES (2019). Kosmus, M., Renner, I., Ullrich, S., von Bertrab, A., GIZ Bonn et Eschborn, Janvier 2019

http://www.aboutvalues.net/data/trainings/1_ies-manualtrainer.pdf

Évaluation des services écosystémiques

Cartographie et évaluation des écosystèmes et de leurs services (CEES 2018)

https://ec.europa.eu/environment/nature/knowledge/ecosystem_assessment/pdf/5th%20MAES%20report.pdf

Guide de sélection des modèles de services écosystémiques pour la prise de décision : Enseignement tirés de l'Afrique Sub-Saharienne

<https://www.espa.ac.uk/publications/guide-selecting-ecosystem-service-models-decision-making-lessons-sub-saharan-africa>

Principes de l'évaluation des impacts des politiques sur les services écosystémiques : Éléments, méthodes, outils et conseils : Manuel pour les formateurs

ValuES (2018) (1). Kosmus, M., von Bertrab, A., Contreras, M. F., Berghöfer, A., de Groot, A., Heidbrink, K., Eberhard, A. and Willner, S., GIZ Bonn and Eschborn, 2018

http://www.aboutvalues.net/data/trainings/3_manual_principlesesav_low.pdf

Principes de l'évaluation des impacts des politiques sur les services écosystémiques : Éléments, méthodes, outils et conseils : Exercices

ValuES (2018) (2). Kosmus, M., von Bertrab, A., Contreras, M. F., Berghöfer, A., de Groot, A., Heidbrink, K., Eberhard, A. and Willner, S., GIZ Bonn and Eschborn, 2018

http://www.aboutvalues.net/data/trainings/4_exercises_principles_of_esav_2018.pdf

Carbone du sol / gestion des sols / agriculture durable

Directives volontaires pour la gestion durable des terres

Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, FAO 2017.

<http://www.fao.org/3/a-bl813e.pdf>

L'initiative „4 pour 1000“

<https://www.4p1000.org/governance>

UNCCD : Note Scientifique et politique 01 « Le rôle central du carbone du sol », Novembre 2015

https://knowledge.unccd.int/sites/default/files/2018-09/2015_PolicyBrief_SPI_ENG_0_0.pdf

Contribution de la gestion durable des terres à la réussite de l'adaptation au changement climatique et de l'atténuation de ses effets sur les terres. Rapport sur l'interface science-politique.

Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (UNCCD), Bonn, Germany

https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/2017-09/UNCCD_Report_SLM_web_v2.pdf

La production agricole en tant que moteur majeur du système terrestre dépassant les frontières planétaires (Campbell et al. 2017)

https://www.researchgate.net/publication/320356605_Agriculture_production_as_a_major_driver_of_the_Earth_system_exceeding_planetary_boundaries

Conditions globales pour l'agriculture dans l'ère de l'“Anthropocène”

<http://regardssurlaterre.com/en/global-conditions-future-agriculture-anthropocene>

La durabilité dans l'agriculture mondiale tirée par l'agriculture biologique

(Eyhorn et al. Nature Sustainability)

<https://static1.squarespace.com/>

static/5aa6a1a19d5abb87c61a1225/t/5cb87bbd24a694fbfcb60eae/1555594176681/NATSUSTAIN+Policy+Comment_OnlinePDF.pdf

L'expansion de la culture d'algues peut inverser les principales transgressions des frontières planétaires :

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844017308514>

Références

- Bennett, E.M., Peterson, G.D., and Gordon, L.J. 2009. "Understanding relationships among multiple ecosystem services". *Ecology Letters* 12: 1394–1404.
- Campbell, B.M., Beare, D.J., Bennett, E.M., Hall-Spencer, J.M., Ingram, J.S.I., Jaramillo, F., Ortiz, R., Ramankutty, N., Sayer, J.A., and Shindell, D. 2017. "Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries." *Ecology and Society* 22 (4):8.
- Coates, D., Pert, P.L., Barron, J., Muthuri, C., Nguyen-Khoa, S., Boelee, E., and Jarvis, D.I. 2013. *Water-related ecosystem services and food security. In Boelee, Eline. (Ed.). Managing water and agroecosystems for food security.* Wallingford, UK: CABI. pp.29-41.
- CICES. 2019. "Structure of CICES" and "Applications of CICES". Last assessed 2019. <https://cices.eu/cices-structure/> and <https://cices.eu/applications-of-cices/>
- ELD Initiative. 2015 (1). *The value of land: Prosperous lands and positive rewards through sustainable land management.* Available from <https://www.eld-initiative.org/>
- ELD Initiative. 2015 (2). *ELD Initiative User Guide: A 6+1 step approach to assess the economics of land management.* GIZ: Bonn, Germany. Available from <https://www.eld-initiative.org/>
- Emerton, L., Contreras Del Valle, M. F., Tröger, U., and Bonine, K. 2018. *Training course on Economic Valuation of Ecosystem Services – Principles, Approaches & Applications.* VALUES Project. GIZ.
- Falkenmark, M. and Folke, C. 2003: "Theme issue: Freshwater and welfare fragility: Syndromes, vulnerabilities and challenges." *Royal Society's Philosophical Transactions B Biology*, 358, p.1440.
- Erisman, J.W., Bleeker, A., Galloway, J., Sutton, M.S. 2007. "Reduced nitrogen in ecology and the environment." *Environmental Pollution*. 150: 40-149.
- Etter, H. 2013. *Change of a local social ecological system in South Africa. Participatory land-use management as a toolkit for resilience-building.* M.Sc. Thesis, Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität, Bonn.
- FAO and ITPS. 2015. *Status of the World's Soil Resources*, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- FAO. 2017 (1). *Soil Organic Carbon: the hidden potential.* Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- FAO. 2017 (2). *Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management.* Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- Fisher, B., Turner, R.K., and Mauling, P. 2009. "Defining and classifying ecosystem services for decision making." *Ecological Economics* 68: 643-653.
- Fisher, B. and Turner, R.K. (2008). Ecosystem Services: classification for valuation. *Biological Conservation* 141: 1167–1169.
- Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K. 2005. "Global Consequences of Land Use." *Science* 309: 570-574.
- GAEZ. 2019. "Global Agro-Ecological Zones." Last assessed 2019. <http://www.fao.org/nr/gaez/en/>
- GBIF. 2012. von Linstow, H., Hirsch, T. *A short introduction to the Global Biodiversity Information Facility (GBIF).* Presentation in connection with the EPBRS workshop 16-18 January 2012 on "The thematic content of the first IPBES work programme".

- Global Carbon Project. 2001-2019. "Global Carbon Project, Summary Highlights". *Highlights*. <https://www.globalcarbonproject.org/carbon-budget/18/highlights.htm>
- Global Carbon Project. 2018. *Supplemental data of Global Carbon Budget 2018 (Version 1.0)* [Data set]. Global Carbon Project. <https://doi.org/10.18160/gcp-2018>
- Gordon, L. J., Finlayson, C. M. and Falkenmark, M. (2010). "Managing water in agriculture for food production and other ecosystem services." *Agricultural Water Management*, 97(4), 512–519.
- Hurni, K., Zeleke, G., Kassie, M., Tegegne, B., Kassawmar, T., Teferi, E., Moges, A., Tadesse, D., Ahmed, M., Degu, Y. 2015. *ELD Ethiopia Case Study. Soil degradation and sustainable land management in the rainfed agricultural areas of Ethiopia: An assessment of the economic implications*. Report for the Economics of Land Degradation Initiative. Available at: www.eld-initiative.org.
- LoGiudice, K., Ostfeld, R. S., Schmidt, K. A. and Keesing, F. 2003. "The ecology of infectious disease: Effects of host diversity and community composition on Lyme disease risk" *PNAS* 100 (2) 567-571.
- Maes, J., Teller, A., Erhard, M., Grizzetti, B., Barredo J.I., Paracchini M.L., Condé, S., Somma, F., Orgiazzi, A., Jones, A. 2018. *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: An analytical framework for ecosystem condition*. Publications office of the European Union, Luxembourg.
- Millennium Ecosystem Assessment (MA). 2005 (1). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC.: Island Press.
- Millennium Ecosystem Assessment (MA). 2005 (2). Vörösmarty, C. J., Lévêque, C., Revenga, C., Bos, R., Caudill, C., Chilton, J., Douglas, E. M., Meybeck, M., Prager, D. *Ecosystems and Human Well-being*. Chapter 7 "Fresh Water". Washington, DC.: Island Press.
- Millennium Ecosystem Assessment (MA). 2005 (3). Lavelle, P., Dugdale, R., Scholes, R., Berhe, A.A., Carpenter, E., Codispoti, L., Izac, A.-M., Lemoalle, J., Luizao, F., Scholes, M. *Ecosystems and Human Well-being*. Chapter 12 "Nutrient Cycling". Washington, DC.: Island Press.
- Morales, C., Dascal, G., Aranibar, Z. 2015. *Estudio de los costos de la desertificación y degradación de las tierras en el departamento de Piura (Perú)*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Retrieved on [01/06/2015] from http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/35900/S2013903_es.pdf?sequence=1
- NOAA. 2019. "Water cycle". Last assessed February 2019. <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/freshwater-education-resources/water-cycle>
- Noel, S., and Soussan, J. 2010. *Economics of land degradation: Supporting evidence-based decision making. Towards a comprehensive methodological approach for assessing the costs of land degradation and the value of sustainable land management at national and global level*. Rome, Italy: GM of the UNCCD.
- Ricketts, T.H., Daily, G.C., Ehrlich, P.R., and Michener, C.D. 2004. "Economic value of tropical forest to coffee production." *PNAS* 101 (34): 12579–12582.
- Rockström, J., Steffen, W. Noone, K. Persson, Å. Chapin, F.S. Lambin, E. F. Lenton, T.M. Scheffer, M. Folke, C. Schellnhuber, H.J. 2009a. "A safe operating space for humanity." *Nature* 461(7263):472-475.

- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F.S., Lambin, E. F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber. 2009b. "Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity." *Ecology and Society* 14(2): 32.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs, R., Carpenter, S.R., de Vries, W., de Wit, C.A. 2015. "Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet." *Science* 347(6223):1259855.
- TEEB. 2010. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB*.
- Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., and Polasky, S. 2002. "Agricultural sustainability and intensive production practices." *Nature* 418 (2002).
- ValuES. 2018. Kosmus, M., von Bertrab, A., Contreras, M.F., Berghöfer, A., de Groot, A., Heidbrink, K., Eberhard, A. and Willner, S. *Principles of Ecosystem Services Assessments for Policy Impacts: Elements, Methods, Tools and Tips: Manual for trainers*. GIZ Bonn and Eschborn.
- ValuES Website. "Counting on Nature's Benefits." ValuES: Methods for integrating ecosystem services into policy, planning and practice. Available at <http://www.aboutvalues.net/>
- Van Jaarsveld, A.S., Biggs, R., Scholes, R.J., Bohensky, E., Reyers, B., Lynam, T., Musvoto, C. and Fabricius, C. 2005. "Measuring conditions and trends in ecosystem services at multiple scales: The Southern African Millennium Ecosystem Assessment (SAfMA) experience." *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 360: 425-441.
- Wikipedia. 2019. "Outline". *Nutrient Cycle*. Last edited July 23, 2019. https://en.wikipedia.org/wiki/Nutrient_cycle#/media/File:Nutrient_cycle.svg

Table des figures

Figure 1	L'approvisionnement de services écosystémiques à partir du capital naturel : les liens entre les services écosystémiques et le bien-être humain	7
Figure 2	Les quatre catégories de services écosystémiques avec des exemples	9
Figure 3	La structure à cinq niveaux du CICES dans le cas de la production de céréales	10
Figure 4	Le cycle global de l'eau : les principaux flux d'eau	12
Figure 5	Cadre conceptuel illustrant le cycle de l'eau et les services écosystémiques dans le contexte d'un paysage simplifié	14
Figure 6	Le cycle de l'eau dans un agroécosystème	14
Figure 7	Le cycle des nutriments dans un écosystème terrestre	15
Figure 8	L'état des neuf limites planétaires notamment les flux biogéochimiques de phosphore et d'azote	16
Figure 9	Les éléments clefs du cycle de l'azote	17
Figure 10	Le COS dans le cycle global du carbone	18
Figure 11	Le cycle global du carbone	19
Figure 12	Dynamique spatiale dans les écosystèmes	20
Figure 13	Interaction entre les services écosystémiques	21
Figure 14	Comparaison des services écosystémiques fournis par un écosystème agricole et par un écosystème naturel	22
Figure 15	Comparaison des services écosystémiques fournis par un écosystème naturel, un système de culture intensif et un système de culture avec restauration des services écosystémiques	22

Table des tableaux

Tableau 1	Rivalité et exclusivité des biens et services	24
Tableau 2	Vue d'ensemble des outils d'évaluation des services écosystémiques	29
Tableau 3	Exemple d'une matrice sur la dépendance et l'impact pour divers services écosystémiques et activités humaines	30
Tableau 4	Services écosystémiques typiques pris en compte dans le cadre des études ELD	32

Liste des encadrés

Encadré 1	Cartographie de la dégradation des terres due à l'érosion des sols en Ethiopie	25
Encadré 2	L'évaluation de la dégradation des sols par SIG au Pérou : l'étude de cas de Piura	26
Encadré 3	Bases de données utilisées dans l'évaluation des caractéristiques géographiques et la définition des zones agroécologiques	27



Pour plus d'informations ou pour un éventuel retour veuillez contacter :

ELD Secretariat
 Mark Schauer
 c/o Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
 Friedrich-Ebert-Allee 36
 53113 Bonn
 Germany
 E info@eld-initiative.org
 I www.eld-initiative.org

Ce document a été publié grâce au soutien de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH au nom du Ministère Fédéral Allemand de la Coopération Économique et du Développement (BMZ)

Photographie : première et dernière de couverture © GIZ
 Conception : kippconcept GmbH, Bonn
 Bonn, Septembre 2019
 © 2019

www.eld-initiative.org
 #ELDsolutions

