

Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes

Nicolas Mouquet¹, Isabelle Gounand¹ et Dominique Gravel²

1. Université Montpellier 2, CNRS, Institut des Sciences de l'Évolution, CC 065, Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier Cedex 05, France.

2. Département de biologie, chimie et géographie, Université du Québec à Rimouski, 300 Allée des Ursulines, Rimouski, Québec, Canada. G5L 3A1.

Regard [R3](#), édité par Anne Teyssède

Mots clés : Ecosystèmes, fonctionnement, biodiversité, espèces, niche écologique, productivité, complémentarité, interactions.

Le maintien du fonctionnement des écosystèmes et des services qu'ils rendent à l'humanité fait partie des arguments principaux en faveur de la protection de la biodiversité (Figure 1). Le terme « fonctionnement » réfère aux propriétés et/ou processus biologiques et physiques au sein des écosystèmes, comme par exemple le recyclage ou la production de biomasse. Les « services » représentent tous les bénéfices que les populations humaines obtiennent des écosystèmes, notamment la production de nourriture, la régulation du ruissellement, la pollinisation, *etc.*

Transcendant les questions éthiques associées à l'impact de l'homme sur la nature, notre société a trouvé dans cette notion de « service » une rationalisation quasi économique du concept de diversité biologique. Au delà des limites et des dérives d'une simple approche comptable de la diversité (et qui seront discutées dans un autre regard), il y a un vrai raisonnement liant diversité et fonctionnement des écosystèmes. Raisonnement souvent méconnu voir inconnu de ceux-là même qui en défendent l'importance pour notre société ! Ce regard donc, pour, indépendamment du débat sur l'économie de la biodiversité, mieux expliquer les mécanismes biologiques qui lient la diversité des espèces (ou diversité spécifique) au fonctionnement des écosystèmes.

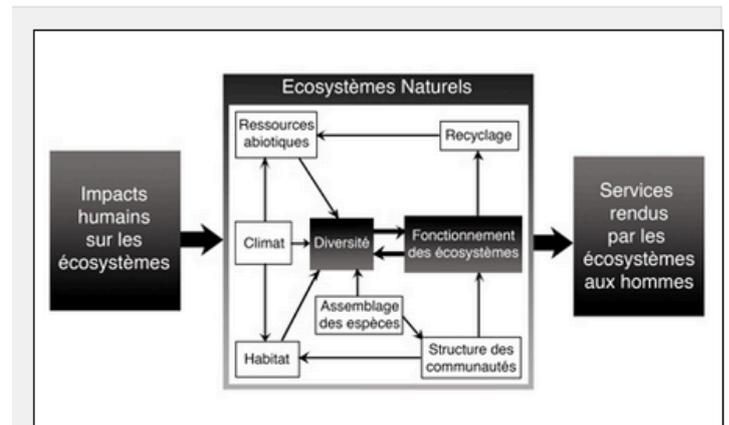


Figure 1. Fonctionnement des écosystèmes et interaction avec les sociétés humaines. Le fonctionnement des écosystèmes naturels est affecté par l'action de l'homme, qui impacte notamment la diversité des communautés. Ceci de façon directe (extinctions par surexploitation ou perte d'habitat par exemple); mais aussi indirecte, en agissant sur les facteurs écologiques qui la détermine, aussi bien les facteurs physiques (climat, pollutions, etc.) que biologiques (introduction de nouvelles espèces, pêche commerciale, etc.). Le fonctionnement de l'écosystème affecte en retour toute une gamme de 'services' bénéfiques aux humains.

Figure adaptée de Chapin et al. 2000. *Nature* 405, 234-242.

Deux décennies de recherche accompagnés d'une synthèse entre plusieurs sous-disciplines de l'écologie, essentiellement l'écologie des communautés et celle des écosystèmes[1], ont permis d'explorer ces mécanismes (cf. Figure 2 ci-dessous).

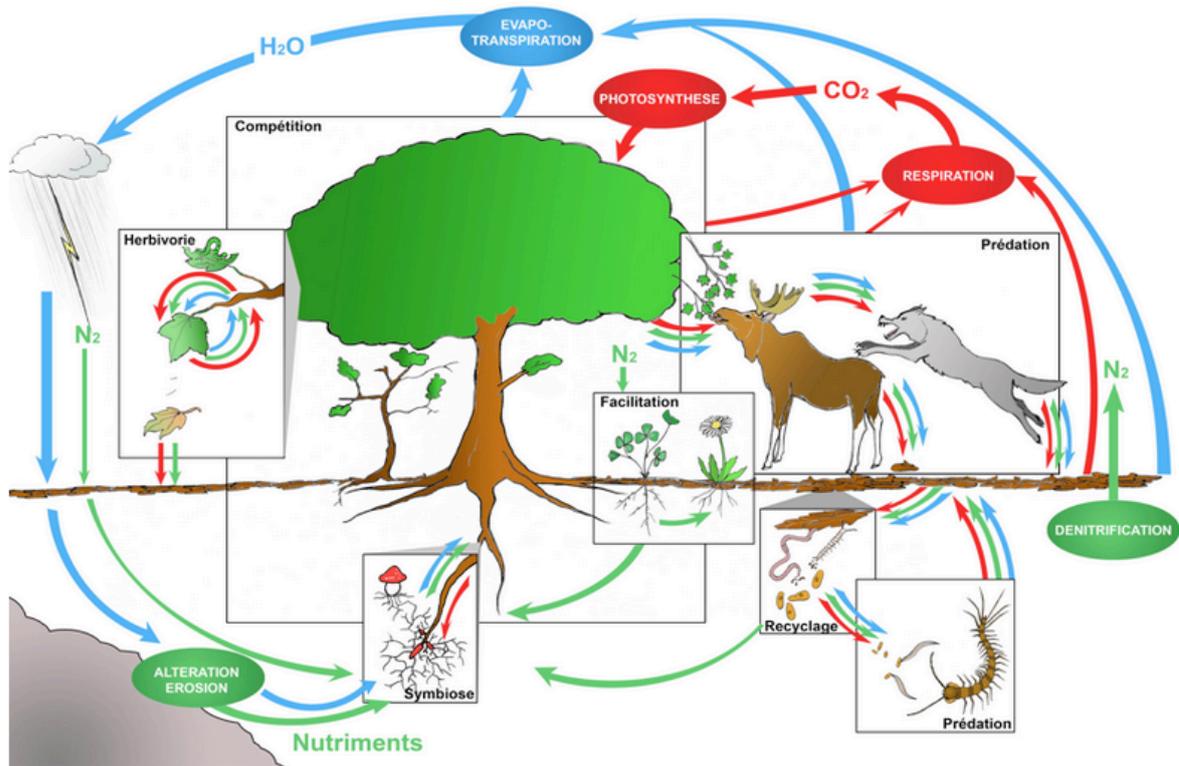


Figure 2 : Représentation schématique des interactions et flux dans les écosystèmes. Les écosystèmes abritent des communautés d'espèces qui interagissent entre elles de différentes façons. On représente ici les principaux types d'interactions soit négatives (prédation, parasitisme, herbivorie, compétition), soit positives (facilitation, symbiose). Les écologues des communautés s'intéressent aux interactions entre organismes (boîtes : effets de la compétition/prédation, mécanismes de coexistence des espèces, etc.) et supposent que les propriétés des écosystèmes découlent de ces interactions. Les écologues des écosystèmes intègrent d'une façon plus globale les flux de matière et d'énergie dans les écosystèmes (flèches entre les boîtes : stockage du carbone dans les forêts, recyclage de l'azote, etc.) et considèrent quant à eux que c'est les caractéristiques physico/chimique de l'environnement qui structure les écosystèmes et régulent leur fonctionnement. Les communautés d'espèces constituent donc un nœud de couplage des différents cycles biogéochimiques. Les écologues ont aussi étudié comment la diversité influençait la stabilité des communautés écologiques. Des études théoriques ont ainsi montré que la diversité des espèces pouvait jouer le rôle d'une « assurance » face aux perturbations environnementales (par exemples les aléas climatiques ou la fragmentation des habitats). On compare cet effet à celui de la diversité des investissements en finances et au vieil adage qui suggère de ne pas mettre tous ses œufs dans le même panier ! Ces résultats sont fondamentaux car ils soulignent un effet de la biodiversité qui ne pouvait pas être détecté dans les approches classiques qui se plaçaient à un endroit et un moment donnés. Peu d'études ont essayé de mesurer in situ cette relation entre diversité biologique et stabilité du fonctionnement des écosystèmes mais les quelques données disponibles (notamment les expériences effectuées sur les prairies dans le Minnesota (Figure 3b) suggèrent un fort effet tampon de la diversité face à une perturbation environnementale (ici la sécheresse).

De cette synthèse, on sait maintenant que les facteurs abiotiques (physico-chimiques) et les interactions biologiques déterminent la diversité en espèces que peut contenir une communauté, et que la composition de cette communauté affecte en retour le

fonctionnement de l'écosystème. La vaste quantité d'expériences réalisées depuis le début des années 1990 a permis aux chercheurs de confirmer un effet généralement positif de la diversité des espèces sur le fonctionnement des écosystèmes.

Trois mécanismes ont été proposés pour expliquer cette relation positive. D'abord, l'*effet d'échantillonnage* qui est purement « statistique ». Les écosystèmes riches en espèces seraient plus productifs, c'est-à-dire que leur biomasse augmente rapidement, simplement parce qu'ils ont plus de chance d'abriter une espèce très productive. Ensuite, la *complémentarité* des espèces qui est le résultat d'un agencement favorable des traits écologiques présents au sein des communautés.

Dans ce cas, en augmentant la diversité, on augmente le nombre fonctions réalisées par les espèces, car plus de niches écologiques[2] sont utilisées au sein de l'écosystème et les ressources sont mieux exploitées. Par exemple deux espèces de plantes équipées l'une de racines de surface, l'autre de racines profondes, utiliseront mieux qu'une seule les ressources d'un sol, accroissant la productivité locale, car elles ont des traits écologiques complémentaires.

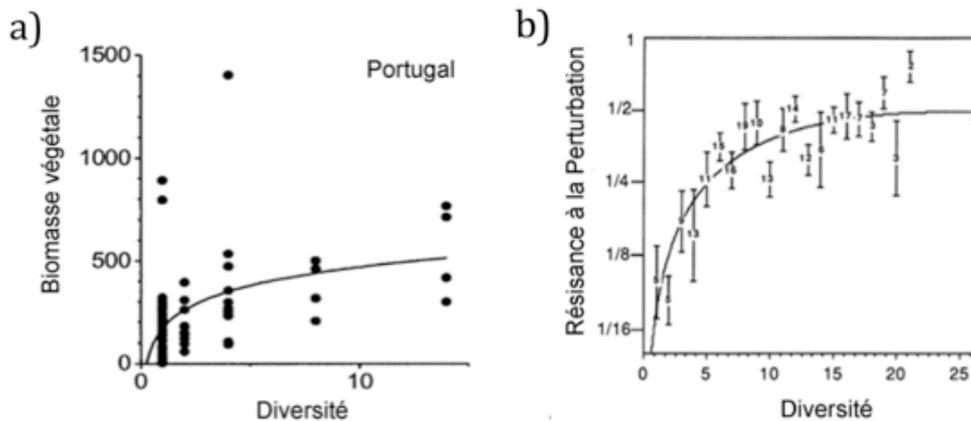


Figure 3 : Relation entre la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes. a) Résultats empiriques démontrant une relation positive entre la diversité et la production de biomasse. Les résultats proviennent de l'expérience Biodepth (pour le site du Portugal) qui a manipulé expérimentalement la diversité des plantes dans des prairies situées sur plusieurs sites dans toute l'Europe. (Source : Hector, A., et al. 1999 Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. *Science* 286, 1123-1126.). b) Résultats empiriques démontrant une relation positive entre la diversité et la stabilité de la production de biomasse après une perturbation. Ces résultats proviennent d'une expérience où l'on compare la résistance à une perturbation (sécheresse) de parcelles présentant différents niveaux de diversité (Source : Tilman, D. 1996. Biodiversity: Population versus ecosystem stability. *Ecology* 77, 350-363.

Enfin, la *facilitation* est définie comme une interaction positive entre deux espèces. Par exemple, en les abritant du rayonnement direct du soleil, les ronciers créent en plein milieu d'une prairie un habitat favorable pour des espèces végétales telles que certains arums qui ne fréquentent que des milieux sombres et humides. Ces espèces « favorisés » permettant à leur tour de mieux utiliser les ressources disponibles localement et donc augmentant la productivité.

Ces différents mécanismes peuvent s'exprimer localement mais aussi sur des échelles spatiales et temporelles plus larges, depuis l'assemblage des espèces de bactéries et de champignons du morceau de fromage au

fond du frigo, jusqu'aux forêts tropicales et aux océans. La plupart des nombreuses expériences qui ont testé ces hypothèses ont par contre utilisé des communautés végétales, surtout pour des raisons pratiques. Deux d'entre elles ont particulièrement marqué la communauté scientifique : l'expérience paneuropéenne Biodepth et celles menées à Cedar Creek au Minnesota. Ces expériences ont montré un effet positif de la diversité sur l'accumulation de biomasse dans les communautés (cf. Figure 3).

Si le rôle de la diversité horizontale (au sein d'un même niveau trophique) sur le fonctionnement des écosystèmes semble prédictible, il en va tout autrement du rôle de la

diversité au sein de plusieurs niveaux trophiques (diversité verticale). Un point de départ pour comprendre les interactions entre un prédateur et sa proie est ce que les écologues appellent l'effet « top-down ». Cette expression réfère au contrôle de l'abondance d'une proie par son prédateur.

Dans les réseaux trophiques plus diversifiés, l'effet top-down entraîne une cascade d'effets trophiques. Si un herbivore va réduire la biomasse de plantes dans un écosystème, il sera lui-même contraint par la présence d'un carnivore. Cette cascade se répercutera du prédateur jusqu'au bas de la chaîne, de sorte que le carnivore « libère » la plante de son herbivore et par conséquent augmente sa productivité.

Dans certains cas également, la présence des consommateurs supérieurs peut accélérer le recyclage des nutriments et par conséquent la productivité des écosystèmes. Ainsi, la structure et la diversité des réseaux trophiques auraient un effet majeur sur la productivité. Sachant que les grands prédateurs sont souvent les organismes les plus exploités et les plus sensibles aux activités humaines, on comprend bien les conséquences que cela peut entraîner sur le fonctionnement des écosystèmes !"

En définitive les écologues ont élucidé d'une part les facteurs écologiques qui modulaient la biodiversité et d'autre part comment la diversité modulait à son tour la biomasse produite. Il reste encore à intégrer ces connaissances pour mieux comprendre si la diversité peut favoriser... la diversité ! A ce sujet, les premiers écologues des écosystèmes ont proposé dans les années 60 l'idée que des processus de rétroaction positive contribuaient à l'organisation des écosystèmes. Par exemple la théorie Gaïa lancée par le britannique Lovelock a durant une nombreuse année alimentée la controverse.

Selon cette hypothèse, la Terre serait analogue à un système physiologique dynamique qui maintient l'environnement de la planète dans des conditions favorables au développement de la vie. L'ensemble des organismes vivants seraient les composantes d'un vaste organisme, comme le sont les cellules d'un corps humain, assurant la

régulation de l'environnement pour maximiser son fonctionnement.

Un exemple souvent cité pour illustrer la théorie Gaïa est la stabilisation de la composition de l'atmosphère, laquelle contrôle à la fois le climat, la production primaire (dépendante du gaz carbonique) et la production secondaire (dépendante de l'oxygène). Cette théorie pêche sans doute par ses hypothèses trop fortes, et par un certain anthropocentrisme de sa notion centrale d'harmonie. Néanmoins, on peut considérer des effets de rétroaction aux échelles des écosystèmes à la lumière des mécanismes reliant diversité biologique et fonctionnement des écosystèmes, que nous avons détaillés dans ce regard.

Dans le contexte actuel des changements globaux, l'influence de l'homme sur les cycles écologiques pourrait court-circuiter cette autorégulation et faire basculer la dynamique d'un grand nombre d'écosystèmes vers des états moins fonctionnels et/ou moins stables et donc moins favorables à notre espèce. Cette idée fait actuellement son chemin, à l'aube d'une théorie intégrée de la biodiversité à l'interface entre l'écologie des communautés et des écosystèmes.

[1] *L'écologie des communautés* se réfère aux interactions entre les espèces au sein des systèmes écologiques. Elle met l'accent sur l'assemblage des communautés et place la diversité biologique au centre de la compréhension du fonctionnement des systèmes écologiques (le contenu des boîtes dans la figure 2). Le concept à la base de la discipline est la théorie de la niche écologique [3], qui explique la composition des communautés à partir de la complémentarité des espèces et des contraintes environnementales. *L'écologie des écosystèmes* intègre les propriétés physico-chimiques des systèmes écologiques et se réfère aux liens entre les organismes et l'environnement physique dans lequel ils interagissent. Elle met l'accent sur la caractérisation des flux d'énergie et de matière au travers des organismes et dans l'environnement pour comprendre les

propriétés générales des systèmes écologiques (les flèches entre les boîtes dans la figure 2). Cette discipline propose une vision globale de l'organisation des écosystèmes en considérant souvent l'environnement physique comme l'un des principaux moteurs de la diversité biologique.

[2] Une niche écologique d'une espèce est la position qu'occupe cette espèce dans un écosystème donné en fonction des ressources qu'elle exploite et de ses relations avec les autres espèces.

[3] Les écosystèmes sont aussi de complexes assemblages d'espèces qui interagissent entre elles par la prédation, la compétition, la facilitation, *etc.* On décrit souvent cette complexité avec l'analogie d'un réseau : chaque espèce est un point (nœud) du réseau, et les liens de consommation entre les espèces sont les lignes qui unissent les nœuds. Très souvent on simplifie cette complexité en considérant des compartiments du réseau: les producteurs, les herbivores, les détritivores *etc.* La diversité horizontale réfère à la diversité au sein d'un compartiment, la diversité verticale réfère à la diversité de compartiments (on réfère parfois au nombre de niveaux trophiques).

Pour en savoir plus :

En français :

Le rôle de la diversité dans le fonctionnement des écosystèmes. Gravel D., Gounand I. et Mouquet N. (2010). *Ciencia & Ambiente* 39. [Télécharger le pdf ici](#).

Écologie et biodiversité : Des populations aux socioécosystèmes. Couvet D. et Teysnière A. (2010). Editions Belin, Paris.

En anglais :

Biodiversity, Ecosystem Functioning and Ecosystem Services. Naeem S., Bunker D., Hector A., Loreau M. et Perrings C. (2009). Oxford University Press.

Regard [R3](#) publié par la Société Française d'Écologie ([SFE](#)) le 8 octobre 2010, suivi d'un débat en ligne :

<https://www.sfecologie.org/regard/regards-3-mouquet/>

Regards et débats sur la biodiversité : <https://www.sfecologie.org/regards/>
