



LES CAHIERS DE BIODIV'2050 :  
**TRIBUNE**

**MICHEL LOREAU**

La biodiversité,  
facteur de stabilité  
et de productivité  
pour les écosystèmes

N°4 - Janvier 2015

## EDITO

Depuis 2012, la Mission Economie de la Biodiversité (MEB) de la Caisse des Dépôts explore les leviers permettant de concilier développement économique et biodiversité. Au service de l'intérêt général, cette mission de recherche à vocation à partager et mettre à disposition ses travaux auprès des acteurs concernés. C'est dans cette optique que nous publions la revue et les cahiers « Biodiv'2050 ».

Après « Comprendre » et « Initiatives » nous sommes heureux de lancer le premier numéro de « Tribune ». Ce cahier offre des points de vue de scientifiques sur les grands enjeux liés à la biodiversité. L'objectif est d'ouvrir de nouveaux champs de réflexion et de permettre aux acteurs de mieux comprendre la complexité de ce que recouvrent les notions de biodiversité et de services écosystémiques, afin de les traduire en solutions opérationnelles.

Nous avons le plaisir d'offrir cette première Tribune à Michel Loreau, Directeur de Recherches au CNRS et Directeur du Centre de Théorie et Modélisation de la Biodiversité de la Station d'Ecologie Expérimentale de Moulis (Ariège). Michel Loreau est l'un des plus grands spécialiste de la biodiversité et des services écosystémiques aux niveaux national et international. Il mène depuis plus de vingt ans des travaux remarquables et très influents sur les conséquences écologiques et sociétales de l'érosion de la biodiversité.

Alors que nos systèmes économiques dépendent en grande partie de la productivité des écosystèmes, et que le développement économique se traduit souvent par une perte de biodiversité, il nous montre ici la façon dont la stabilité et la productivité des écosystèmes dépendent précisément de leur biodiversité. Il souligne aussi l'importance de la prise en compte du très long terme dans les actions de renaturation, en montrant à quel point les écosystèmes sont longs à reconstituer l'ensemble de leurs fonctionnalités.

*Laurent Piermont*

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION : LAURENT PIERMONT  
RÉDACTEUR EN CHEF : PHILIPPE THIEVENT  
COORDINATION : EMMANUELLE GONZALEZ  
REDACTION : LAURENT BASILICO  
EDITION : MISSION ECONOMIE DE LA BIODIVERSITE  
CRÉATION GRAPHIQUE : JOSEPH ISIRDI - [www.lisajoseph.fr](http://www.lisajoseph.fr)  
CONTACT : [meb@cde-biodiversite.fr](mailto:meb@cde-biodiversite.fr)  
PHOTO COUVERTURE : © ANDREA ZANCHI PHOTOGRAPHY



## Michel Loreau

Directeur de recherches au CNRS et directeur du Centre de Théorie et Modélisation de la Biodiversité de la Station d'Ecologie Expérimentale du CNRS

**Docteur en biologie, Michel Loreau est actuellement directeur de recherches au CNRS et directeur du Centre de Théorie et Modélisation de la Biodiversité de la Station d'Ecologie Expérimentale du CNRS, à Moulis (France). Auteur de plus de 300 publications scientifiques et de nombreux articles dans des revues internationales de premier plan (*Nature, Science, PNAS, Ecology Letters*), il mène depuis plus de vingt ans des travaux remarquables sur les conséquences écologiques et sociétales de l'érosion de la biodiversité. Pour les Cahiers Biodiv'2050, il revient sur les liens étroits entre biodiversité et sociétés humaines, et livre sa vision d'écologue sur l'économie de la biodiversité, des services environnementaux à la compensation écologique.**

**« La perte de biodiversité entraîne une perte de stabilité. La stabilité représente la capacité d'un écosystème à maintenir un fonctionnement constant face aux perturbations »**

**Plus de 20 ans après la conférence de Rio, pouvez-vous définir de manière simple et contemporaine le terme de biodiversité ?**

C'est une notion assez abstraite, qui reste difficile à définir simplement. Telle qu'elle a été présentée à Rio, la biodiversité englobe l'ensemble de la variété des êtres vivants, à toutes les échelles : de la diversité au sein d'une même espèce (génétique, moléculaire ou phénotypique) à la diversité des espèces, jusqu'à celle des interactions et des écosystèmes (*voir l'encadré ci-contre, NdR*). Les progrès techniques accomplis depuis lors, par exemple en génomique, ont permis d'appréhender plus finement l'une ou l'autre composante de cette biodiversité, de développer de nouvelles approches, mais sur le fond le concept est inchangé.

**Nous traversons aujourd'hui une crise profonde de la biodiversité, marquée à l'échelle mondiale par la disparition ou la raréfaction de nombreuses espèces vivantes. En quoi l'érosion de la biodiversité est-elle problématique pour les sociétés humaines ?**

Nous dépendons étroitement de la biodiversité, à bien des égards. D'abord, de manière évidente, elle nous fournit un grand nombre de produits d'usage direct : des denrées alimentaires, du bois, des textiles. Le domaine de la santé est un exemple assez parlant : plus de 25 000 espèces de plantes sont aujourd'hui utilisées de par le monde à des fins médicinales. Mais au-delà de ces services d'approvisionnement, le monde vivant nous apporte un ensemble de choses beaucoup moins quantifiables : des valeurs esthétiques, spirituelles ou morales, tout ce qui est aujourd'hui appelé *services culturels* de la biodiversité, et dont nous sommes à mon sens indissociables en tant qu'humains. Enfin, nous bénéficions de nombreux effets indirects, d'ordre écologique, liés à la biodiversité : la régulation du climat, la qualité de l'eau, la fertilité du sol ou encore la pollinisation. Tous ces mécanismes, aujourd'hui fragilisés, sont essentiels à notre survie et à notre bien-être.

**On entend de plus en plus parler de fonctionnement des écosystèmes. Que signifie exactement ce terme ?**

Les écosystèmes reposent sur un ensemble de processus internes, des flux de matières et d'énergie, des mécanismes de régulation, qui font que l'entité se maintient au cours du temps : en écologie, on parle du *fonctionnement* d'un écosystème et des divers processus comme des *fonctions* de l'écosystème. Ce terme de fonction de l'écosystème est toutefois ambigu, car il peut aisément être compris dans

**La biodiversité : un terme récent, une notion complexe**

Le terme de biodiversité, contraction de « diversité biologique », a été introduit par l'écologie scientifique au cours des années 1980 pour désigner l'ensemble de la variété du monde vivant. Cette notion complexe et multiple est généralement définie comme la résultante de trois niveaux de diversité, et des interactions entre ces trois niveaux : (1) la diversité au sein d'une même espèce animale ou végétale, ou diversité intraspécifique, qui désigne la variété des gènes ou des traits entre individus ou entre populations de cette espèce ; (2) la diversité spécifique, la plus visible, soit la diversité des espèces animales et végétales ; et (3) la diversité des écosystèmes, c'est-à-dire la variété des interactions des communautés vivantes entre elles et avec leur biotope. Le sommet de la Terre de Rio de Janeiro, en 1992, a donné une résonance mondiale à la notion de biodiversité, et affirmé la nécessité de sa préservation comme une condition essentielle du développement durable.

un autre sens, à savoir que les écosystèmes seraient là pour remplir une fonction pour l'homme. Les écosystèmes existent par eux-mêmes, ils n'ont pas été « créés » dans un but particulier – et tous leurs processus internes ne sont pas bénéfiques à l'humain. Il n'est de même pas pertinent à mon sens de considérer qu'un écosystème fonctionne plus ou moins bien : il n'y a pas de hiérarchie universelle de valeurs dans la nature. Il est également important de faire la distinction entre la notion de processus ou de fonction et celle de service écosystémique. Les fonctions d'un écosystème, ce sont les différentes interactions – biologiques, physiques et chimiques – qui sous-tendent sa constitution et ses relations avec son environnement. Parmi ces fonctions, certaines produisent un bénéfice pour les sociétés humaines : par exemple le stockage du carbone, la pollinisation, la fourniture de matières premières. Ces fonctions-ci fournissent un service écosystémique. Mais les fonctions dépendent étroitement les unes des autres : pour préserver certains services rendus par un écosystème, le plus sûr est de préserver l'ensemble de ses fonctions !

### **Cette notion de service écosystémique est-elle scientifiquement fondée ?**

Ce n'est pas à proprement parler un terme d'écologie mais d'économie. Il a une vraie utilité comme moyen de sensibiliser les décideurs politiques ou les acteurs locaux aux coûts des dommages portés à l'environnement. Mais je le trouve gênant au plan philosophique, car il porte l'idée d'une nature au service de l'homme. Il a d'ailleurs été discuté lors des derniers débats de l'IPBES, la plateforme intergouvernementale d'experts sur la biodiversité : un pays comme la Bolivie a notamment refusé d'y participer tant que cette conception prévalait.

### **Est-il tout de même possible d'optimiser les fonctions d'un écosystème de manière artificielle ? Ne peut-on pas imaginer des écosystèmes optimisés par l'homme et pour l'homme, pour différents usages ?**

On peut bien entendu le faire, du moins jusqu'à un certain point. C'est d'ailleurs tout le projet de l'agriculture intensive, qui consiste à optimiser une fonction particulière de l'écosystème – la production d'un végétal donné – en ignorant toutes les autres. On sait aujourd'hui que cette approche marche bien pour quelques générations, mais qu'elle n'est pas durable au regard des problèmes qu'elle pose, notamment pour la fertilité des sols. Plus largement,

toutes les approches relevant de l'ingénierie écologique devraient se poser au préalable la question de l'ensemble des fonctions nécessaires à la persistance à long terme d'un écosystème.

### **Vous avez mené, avec d'autres, de nombreuses recherches sur les conséquences de l'érosion de la biodiversité. Certains résultats montrent notamment qu'une perte de biodiversité entraîne une perte de productivité végétale. Comment expliquez-vous ce constat ?**

Divers travaux ont été menés aux Etats-Unis et en Europe pour étudier cet effet, en comparant la production végétale dans des prairies expérimentales (*voir l'encadré page suivante, NdR*) associant un nombre variable d'espèces de plantes. Tous ont mis en évidence un effet hautement significatif entre la diversité spécifique – le nombre d'espèces cultivées – et la biomasse totale produite, qui est une donnée facilement mesurable (*voir figure 1 page 5, NdR*). D'autres expériences ont permis de généraliser ces résultats à une large gamme d'écosystèmes. Le principal mécanisme à l'œuvre ici est celui de la *complémentarité fonctionnelle* entre les espèces : pour dire les choses simplement, chaque espèce utilise les ressources de manière légèrement différente, et donc, plus il y a d'espèces présentes, mieux elles exploitent collectivement les ressources dont elles disposent.

### **N'y a-t-il pas là une contradiction avec le modèle agricole actuel ?**

En effet, ce type de résultats a pu choquer certains agronomes. Le modèle agricole moderne est basé sur la sélection extrême des variétés les plus productives et l'uniformisation des cultures, autrement dit la réduction de la biodiversité, avec des résultats incontestables. Mais le paradoxe n'est qu'apparent : le système agricole intensif s'intéresse à la production d'un produit végétal unique, stimulée par l'ajout de nutriments et d'intrants chimiques, tandis que nos expériences mesuraient la production végétale totale, dans des systèmes laissés à eux-mêmes. Cela dit, si l'on considère par exemple la production de fourrage pour le bétail, nos résultats montrent bien que la monoculture n'est pas la solution optimale.



## **Des prairies expérimentales pour comprendre la biodiversité**

Le recours aux prairies expérimentales s'est imposé depuis deux décennies comme un outil central pour les sciences environnementales. Tirant parti de la relative facilité de manipulation des plantes (par rapport à d'autres groupes écologiques), ces approches reposent sur l'étude comparée, en conditions semi dirigées, du comportement de différents assemblages végétaux. La première grande expérience de ce type a été lancée en 1994 à Cedar Creek (Minnesota, USA) : ce complexe expérimental de 7 ha compte 342 parcelles cultivées à ciel ouvert. Sur le même principe, le programme BIODEPTH a été conduit en Europe, de 1996 à 1999, sur un réseau de sites expérimentaux offrant différentes conditions climatiques et environnementales. Moins coûteuses et plus facilement répétables que les approches de laboratoire, ces plateformes permettent la collecte d'un grand nombre de données précieuses pour la recherche en écologie – et notamment pour la modélisation et la compréhension des liens entre la biodiversité des systèmes et leur productivité ou leur stabilité.

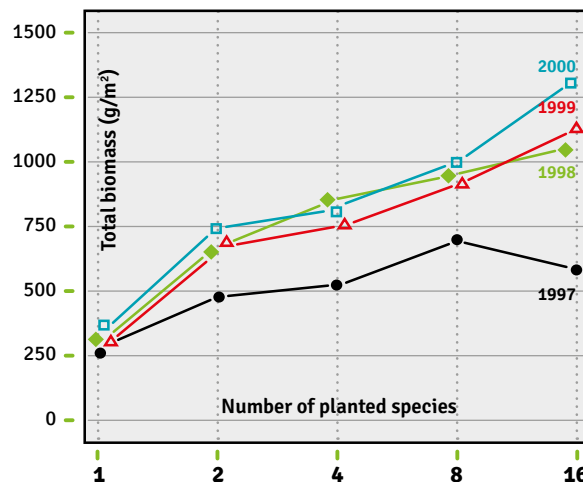
**Pour en savoir plus :**  
**[www.cedarcreek.umn.edu](http://www.cedarcreek.umn.edu)**

**D'autres travaux mettent en évidence le fait que la perte de biodiversité entraîne une perte de stabilité et de résilience pour les écosystèmes. Que recouvrent ces termes ? Comment peuvent-ils parler aux décideurs ?**

Des résultats encore récents, obtenus expérimentalement *in situ* ou en laboratoire, ont en effet montré qu'une plus grande richesse spécifique s'accompagne d'une moindre variabilité de la production ou de la biomasse – autrement dit, une plus grande stabilité. Inversement, la perte de biodiversité entraîne une perte de stabilité. La stabilité, dans ce cas, représente la capacité d'un système à maintenir un fonctionnement constant face à des perturbations. La *résilience*, c'est-à-dire la capacité du système à revenir rapidement à son état initial après une perturbation, est une composante de cette stabilité. La *résistance*, c'est-à-dire la capacité du système à ne pas subir les effets d'une perturbation, en est une autre : par exemple, la résistance aux pathogènes. À ce sujet, un article paru dans *Nature* (2000) développe le cas des cultures de riz en Chine : alors que les monocultures modernes, basées sur la variété la plus productive, étaient menacées par une maladie nécessitant l'usage de fongicides<sup>(1)</sup>, les chercheurs ont montré que les impacts du pathogène sont bien moins importants lorsqu'on cultive simultanément une seconde variété, comme le faisaient les cultures traditionnelles. On obtenait ainsi une productivité presque égale, mais sans avoir à recourir au fongicide – dans ce cas, il s'agissait d'un effet de la diversité *génétique*. Ces idées sont assez simples et frappantes, elles pourraient être transmises au monde économique en utilisant par exemple la métaphore de la biodiversité comme assurance des écosystèmes ou des systèmes de production dans le temps (voir l'encadré page 6, Ndr).

**Plus largement, comment pourrions-nous selon vous concilier développement économique et préservation de la biodiversité ?**

Tout dépend de ce que l'on appelle développement économique. Il apparaît aujourd'hui de plus en plus clairement que notre modèle de développement n'est pas durable. Basé uniquement sur des augmentations quantitatives – du PIB, de la production, de la consommation –, il nous entraîne sur une trajectoire très dangereuse. On estime que l'humanité utilise aujourd'hui le quart de toute la production primaire de la Terre, ce qui est considérable. Et



**Figure 1 :**  
Effet du nombre de plantes cultivées sur la production de biomasse totale de l'expérience de Cedar Creek.

(Source : Tilman et al., 2001)

l'impact de l'homme sur la biosphère ne cesse de croître. Il reste possible d'inverser cette tendance, à condition d'adopter un mode de développement plus qualitatif, davantage axé sur le bien-être humain. Toute la question est de savoir si nous en aurons le temps car les politiques actuelles sont très en retard en la matière. Nous sommes à une période charnière. Il y a urgence à réduire notre niveau d'utilisation des ressources et de l'espace, notre niveau de mobilité, notre croissance démographique. Ce qui ne signifie pas une qualité de vie inférieure !

**Dans cette évolution, la biodiversité pourrait-elle être vecteur d'innovation et d'emploi ?**

Je le pense, tout-à-fait. Mais une fois encore, tout dépend de nos motivations à produire. S'il s'agit juste de chiffre d'affaires, nous retombons dans l'engrenage actuel. S'il s'agit d'œuvrer à la qualité de vie, à la récréation du lien entre l'homme et la nature, alors la biodiversité est une source d'innovation constante. Ainsi, les trois quarts des nouveaux médicaments contre le cancer ou les maladies infectieuses proviennent de produits naturels. De même, des sociétés pharmaceutiques ont récemment passé des accords avec le Costa-Rica, où elles financent l'effort d'échantillonnage de la biodiversité. Autre exemple : les techniques de biocontrôle, basées sur la réduction des populations de ravageurs ou d'espèces invasives par la réintroduction et le maintien dans l'écosystème de leurs prédateurs, offrent dans de nombreux cas une alternative efficace et durable à l'emploi de pesticides – et constituent un véritable gisement d'innovation et d'activité, en lien avec la biodiversité.

(1) produit phytosanitaire destiné à l'élimination d'un champignon pathogène

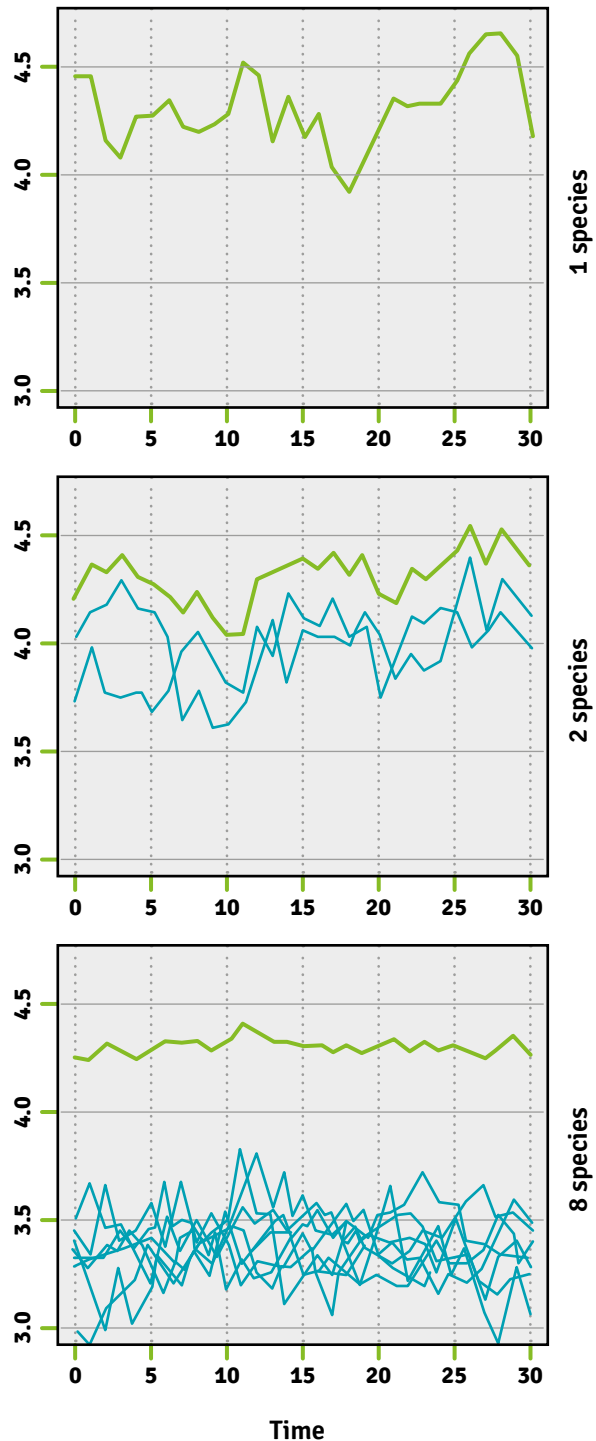
## La biodiversité comme assurance des écosystèmes

Lorsqu'un écosystème (ou un système agricole) est soumis à des variations environnementales ou climatiques, sa productivité est d'autant plus stable que le nombre d'espèces végétales présentes est élevé. Cette propriété, suggérée par des données empiriques dès 1996 (Tilman), a été rapportée par de nombreuses études expérimentales. Depuis, l'analyse des effets de la diversité spécifique sur la stabilité des communautés végétales et les propriétés des écosystèmes a fait l'objet de plusieurs travaux théoriques novateurs. En particulier, un modèle dynamique stochastique<sup>(2)</sup> a été proposé (Yachi & Loreau, 1999) pour décrire les réponses des populations aux fluctuations environnementales (voir figure 2). Ce modèle a abouti à la formulation de l'« hypothèse d'assurance » pour décrire le rôle de la diversité des espèces comme facteur de stabilité des écosystèmes face aux perturbations. Cette stabilisation s'explique principalement par le fait que des espèces différentes répondent de façons différentes et asynchrones aux variations de leur environnement. Cette désynchronisation se traduit par une « compensation fonctionnelle » entre espèces, au sein d'un système : lorsqu'une espèce voit son abondance ou sa productivité décroître fortement en réponse à un changement de conditions, une autre verra son abondance ou sa productivité décroître moins fortement ou même s'accroître. En conséquence, l'abondance ou la productivité du système pris dans son ensemble fluctueront moins que celles de chaque espèce qui le composent. Et plus il y a d'espèces dans la communauté, plus sa productivité globale est stable !

(2) Terme mathématique, synonyme d'aléatoire ou non déterministe

**Figure 2 :** La diversité, facteur de stabilité pour la production des écosystèmes. Modélisation de la réponse de la biomasse végétale aux fluctuations environnementales, pour une, deux ou huit espèces présentes (pour des espèces ayant des réponses non synchrones aux fluctuations). La biomasse totale est représentée en trait gras ; la biomasse des différentes espèces est représentée en trait fin.

Source : From Populations to Ecosystems, Michel Loreau, 2010.



**« À mes yeux, c'est sur les services écologiques – maintien des réseaux d'interaction entre espèces, régulation du climat, qualité de l'eau - qu'il est important d'axer la réflexion sur les PSE aujourd'hui. »**

**Face au manque de moyens financiers auxquels sont confrontés les États, le paiement pour services environnementaux<sup>(3)</sup> (PSE, voir encadré) est l'un des instruments économiques dont nous disposons pour œuvrer au maintien et à la restauration de la biodiversité. Selon vous, quels seraient les services pour lesquels l'action est la plus nécessaire (approvisionnement, régulation, services culturels) ?**

Les services d'approvisionnement sont déjà régis pour partie par des marchés économiques ; l'important dans ce domaine est de développer des politiques qui permettent d'assurer le maintien de la diversité des gènes, des espèces et des produits impliqués dans ces services. Les services dits culturels, soit les valeurs esthétiques, morales ou spirituelles que nous retirons du vivant, sont très importants à prendre en compte dans les politiques publiques, mais ils sont difficiles à quantifier économiquement. L'approche des PSE n'est donc pas nécessairement la plus appropriée pour ce qui les concerne. À mes yeux c'est sur les services à proprement parler écologiques – maintien des réseaux d'interactions entre espèces, régulation du climat, qualité de l'eau, fertilité des sols, pollinisation – qu'il est important d'axer la réflexion sur les PSE aujourd'hui. Précisément parce que ces services sont encore bien peu quantifiés et pris en compte : il y a là un gros effort de recherche et de réflexion à fournir. Ceci dit, il ne faut pas écarter l'idée qu'à l'issue de cette recherche et de cette réflexion, une autre approche que celle des PSE ne s'avère plus appropriée.

**Aujourd'hui, les PSE portent généralement sur un service environnemental spécifique. Serait-il préférable de rémunérer des acteurs pour préserver plutôt des bouquets de services ?**

Cela me semble indispensable. Un service isolé n'a pas de sens, il faut prendre en compte les interactions entre services. Par exemple, si l'on considère uniquement la fonction de stockage de carbone, on pourrait très bien détruire les forêts tropicales actuelles et les remplacer, à surface équivalente, par des plantations d'eucalyptus, ce qui serait catastrophique pour la biodiversité. Pour autant, il est très difficile d'identifier l'ensemble des services à préserver pour un projet donné. Il faudra sans doute commencer par travailler sur quelques services bien identifiés, quitte à améliorer notre connaissance du système au cours du temps.

**À quelles échelles spatiales et temporelles est-il pertinent d'agir pour prendre en compte ces interactions entre services ?**

C'est une question fondamentale. Les grandes échelles sont bien sûr les plus importantes au plan écologique ; à long terme, le problème est posé à l'échelle du globe. Mais il faut bien commencer quelque part. En pratique, la solution passera par une vision multi-échelle, avec une articulation entre l'action locale, régionale et globale. Il faut aussi réfléchir à la question de l'équité dans la distribution des coûts et des bénéfices liés aux services environnementaux : c'est un problème majeur, trop sous-estimé – il n'y a qu'à voir, à l'échelle internationale, l'opposition actuelle entre le Sud et le Nord sur la répartition des efforts à entreprendre dans la lutte contre le changement climatique.

(3) CDC Biodiversité préconise pour sa part l'emploi de la terminologie « paiement pour préservation des services écosystémiques » (PPSE).



**« Les communautés de plantes mettent trente ans au minimum à converger vers l'état de référence, en matière de compensation, le problème des échelles de temps considérées est central. »**

**Autre instrument économique basé sur le principe pollueur-payeur, la compensation écologique des impacts résiduels des projets d'aménagement est désormais entérinée en France. Quel regard portez-vous sur la séquence Eviter-Réduire-Compenser et plus précisément sur les opérations de compensation écologique ?**

La séquence ERC répond à une démarche de bon sens. Le principe me paraît valable sur le fond. L'idée de compensation reste cependant discutable – et discutée. Tout le problème est que, comme nous le savons aujourd'hui, il n'y a jamais de compensation parfaite. Par exemple, dans un écosystème donné, combien d'espèces jouent un rôle important du point de vue fonctionnel ? En analysant nos données sur les prairies expérimentales, nous nous sommes aperçus que pour préserver une fonction unique, quelques espèces suffisaient (typiquement, quatre ou cinq si l'on parle de la production

primaire). Mais plus l'on considère de fonctions, et d'interactions entre ces fonctions, plus il faut d'espèces. À l'arrivée, à partir des expériences que nous avons menées, il s'avère que 85 % des 147 espèces étudiées jouent un rôle significatif, à un moment ou à un autre, dans les différentes fonctions de l'écosystème. Donc, il n'existe pas de compensation parfaite entre espèces. C'est une leçon très intéressante pour la compensation : elle nous montre que, d'un point de vue scientifique, on ne peut pas considérer que la destruction d'un écosystème à un endroit va être parfaitement compensée par un autre écosystème recréé ailleurs, que ce soit en termes de fonctions ou en termes de biodiversité – les deux étant étroitement liées. Pour autant, s'il n'y a pas de compensation parfaite, cela ne signifie pas que l'on doit arriver à une situation où nous ne pourrions plus rien faire. C'est en ce sens que le principe ERC me paraît valable : il consiste à essayer de faire le maximum pour limiter l'impact destructeur des activités humaines.

**Pour la compensation, la loi consacre la nécessité d'équivalence écologique entre l'impact du projet et les gains de biodiversité issus des mesures compensatoires. L'équivalence écologique est-elle un concept scientifique ?**

Non, ce n'est pas un concept scientifique – précisément parce que, comme nous venons de l'évoquer, la compensation parfaite n'existe pas. Je crois qu'il faut être clair sur ce point. Le choix des indicateurs utilisés pour dimensionner la compensation n'en est pas moins essentiel pour réaliser une compensation efficace – même partielle – pour les fonctions ou les espèces que l'on souhaite préserver en priorité.

### Les PSE en quelques mots

Le principe des paiements pour services environnementaux réside dans la rémunération contractuelle d'acteurs par d'autres acteurs en vue de restaurer ou maintenir un ou plusieurs services écosystémiques préalablement identifiés. La première catégorie rassemble des acteurs en position d'agir sur la qualité ou la quantité de plusieurs services écosystémiques : propriétaires fonciers, gestionnaires d'espaces naturels, agriculteurs et forestiers. La deuxième catégorie rassemble des acteurs dont l'activité dépend directement des services écosystémiques : collectivités, entreprises ou organismes d'État garants de l'intérêt général.

**La compensation en France s'applique aujourd'hui aux espèces et espaces protégés, aux boisements, aux zones humides et aux cours d'eau. Le choix de ces composantes parmi toutes celles de la biodiversité vous paraît-elle justifié par des raisons scientifiques ?**

C'est une façon de prioriser les efforts qui me semble justifiée. Si certaines espèces sont protégées, c'est parce qu'elles sont les plus menacées. Mais les choses ne sont pas figées – à l'image de la liste rouge des espèces, régulièrement révisée. De même pour les habitats, le dispositif pourrait être amené à évoluer. Si les zones humides et les cours d'eau, milieux essentiels pour la biodiversité, restent très fragiles, les zones boisées me semblent recevoir moins de pressions qu'il y a quelques décennies. D'autres milieux, comme les prairies naturelles tempérées, sont sans doute plus menacées qu'on ne le pense : ces milieux, très diversifiés, présentent l'un des plus faibles ratios de surfaces protégées par rapport à leur surface totale. Enfin, il y a un déficit de protection évident pour les milieux marins, pourtant objet de pressions énormes et aujourd'hui très dégradés. Les aires marines protégées des eaux territoriales représentent des surfaces minimales, tandis que les eaux internationales sont laissées sans aucune protection. La France a fait récemment un effort significatif en instaurant une immense aire protégée – 1,3 million de kilomètres carrés – autour de la Nouvelle-Calédonie : il est plus que temps que ce type d'initiatives se multiplie.

**Outre les espèces et espaces protégés, les fonctions des écosystèmes semblent également tout-à-fait importantes à intégrer dans la compensation. Les méthodes scientifiques actuelles d'évaluation de ces fonctions permettent-elles d'évaluer l'impact de projets sur ces fonctions ?**

Je ne suis pas sûr que l'on dispose aujourd'hui de connaissances assez solides pour construire un cadre légal contraignant en la matière. Il faudrait travailler en priorité sur certains services assez bien connus et quantifiés, comme la pollinisation, ou le biocontrôle – le contrôle des populations de ravageurs par des prédateurs. Mais pour des choses plus complexes, comme le recyclage des nutriments, cela me semble difficile en l'état.

**Quelles modifications dans les procédures et obligations de la compensation écologique vous sembleraient de nature à améliorer la cohérence des mesures mises en œuvre ?**

La question est vaste et je ne suis pas expert sur le sujet. Un point auquel il faut être très attentif est pour moi celui du suivi dans le temps de l'efficacité des opérations. J'ai en tête une série d'articles récents dans un domaine connexe, celui des politiques de restauration des zones humides. Une équipe a ré-analysé des données historiques, sur des durées de 20 à 100 ans. Ils se sont aperçus qu'il faut très longtemps pour retrouver des fonctions écologiques – quel que soit l'indicateur choisi – comparables à l'écosystème de départ. C'est vrai en particulier pour certaines fonctions biogéochimiques, comme le recyclage des nutriments. Les communautés de plantes mettent trente ans au minimum pour converger vers l'état de référence, et dans certains cas, au bout de cent ans, on n'avait pas encore retrouvé l'état d'origine. Cela montre bien qu'en matière de compensation, le problème des échelles de temps considérées est central. Au plan réglementaire, il faut organiser le suivi de l'efficacité des actions à long terme et s'assurer que les efforts sont maintenus aussi longtemps que nécessaire.

**Selon vous, comment pourrait-on prendre en compte l'impact du changement climatique dans les mesures compensatoires ?**

C'est un point très important. Le changement climatique va bouleverser les paysages, les habitats, et conduire notamment à des modifications dans les aires de répartition des espèces, qui devront s'adapter à de nouvelles conditions, suivre leur niche écologique, ou disparaître. En France, la mise en œuvre de la Trame verte et bleue vise entre autres à restaurer les continuités écologiques qui permettront ces mouvements. De même, les mesures de compensation doivent autant que possible anticiper ces évolutions à venir. Mais cela reste un véritable défi. Au plan scientifique, nous avons encore assez peu de certitudes sur les capacités de déplacement ou d'adaptation des différentes espèces. De même, les nombreux modèles bioclimatiques existants, bien que de plus en plus perfectionnés, restent très imparfaits et leurs projections sont entachées de grandes incertitudes. L'autre grande difficulté réside dans notre capacité à concilier le temps – court – de la gestion et celui – long – du changement climatique. Une fois encore, c'est dans le long terme qu'il faut penser la compensation écologique.



## **La station d'écologie expérimentale du CNRS à Moulis**

À la station d'écologie expérimentale de Moulis (Ariège), créée en janvier 2007 par le CNRS, une cinquantaine de chercheurs, techniciens, administratifs et doctorants s'emploient à affiner les modèles théoriques qui décrivent le fonctionnement des écosystèmes, et cherchent à en tirer des prévisions quant aux conséquences des altérations environnementales majeures dues à la modification des habitats et aux changements climatiques. Ils s'appuient pour ce faire sur un Métatron qui rassemble 48 unités de 100 m<sup>2</sup> chacune, permettant l'étude en environnement semi-contrôlé (humidité, température, ensoleillement) de divers assemblages faunistiques ou floristiques. Cet équipement unique au monde, complété par un réseau intégré de serres, de volières, de grottes expérimentales, est doté de moyens d'analyse et de modélisation de pointe. Depuis 2012, la station d'écologie expérimentale de Moulis accueille également le Centre de Théorie et Modélisation de la Biodiversité, que dirige Michel Loreau.

**Pour en savoir plus :**  
[www.ecoex-moulis.cnrs.fr](http://www.ecoex-moulis.cnrs.fr)  
[www.cbtm-moulis.com](http://www.cbtm-moulis.com)

