

La nature en équilibre

*PHILIPPE LAVAIVRE
Médiateur scientifique
au département
des sciences de la vie du
Palais de la découverte*

En biologie, équilibre est synonyme de stabilité. La stabilité du milieu intérieur, milieu qui baigne nos 10 000 milliards de cellules, est assurée chez un être humain par des mécanismes complexes de micropompes, des systèmes qui limitent la variation du pH (système tampon), des mécanismes de rétro-inhibition et bien d'autres... Il existe aussi à l'échelle des écosystèmes des mécanismes régulant la stabilité. En effet, les éléments vivants et non vivants interagissent étroitement entre eux dans un écosystème. Chaque espèce modifie en permanence son environnement, lequel influence en retour les espèces. À ces forces qui le travaillent de l'intérieur, viennent s'ajouter les contraintes venues de l'extérieur tels des migrations d'espèces ou des changements climatiques. L'écosystème n'est donc pas une entité figée même si, à l'échelle humaine, il nous paraît stable. Il évolue à un rythme qui lui est propre et aussi, dans un sens, le plus souvent prévisible. Il naît, se développe et disparaît après un temps plus ou moins long. Pourtant il peut traverser une phase où les transformations sont si lentes que l'on peut dire que l'écosystème est en équilibre. Nous allons observer les conditions d'apparition de cette période.



Photographie J. Dodémont.

Visuel non disponible
sur la version internet,
mais disponible sur
l'édition papier

Évolution des écosystèmes

Les communautés de lichens qui colonisent un milieu neuf, une coulée de lave par exemple, n'ont pas grand-chose de commun avec la forêt de hêtres qui s'y développera quelques siècles plus tard. Avec le temps, ces communautés vont changer, leurs structures deviendront de plus en plus complexes, la diversité spécifique augmentera... Le lent processus de remplacement d'une communauté par une autre est assez bien connu.

Les espèces pionnières, celles qui s'installent sur un milieu difficile, sont de petites tailles, très mobiles, à fécondité élevée et à faible durée de vie.

À ce stade, si l'écosystème est soumis à des perturbations, il a toutes les chances de récupérer un bon fonctionnement, c'est-à-dire de revenir à un état proche de celui antérieur à la perturbation.

FIGURE 1

Sol de la forêt amazonienne.

La forêt amazonienne est un exemple de recyclage très rapide des éléments minéraux. Le sol y joue surtout le rôle d'un support dans lequel les éléments minéraux (issus de la chute des feuilles de débris végétaux divers...) sont rapidement réutilisés par les plantes.

© CNRS Photothèque/H. Thery.

Petit à petit, les espèces pionnières sont remplacées par des espèces plus fortes, à plus longue durée de vie, de plus grande taille et à fécondité faible.

Chacun a pu remarquer les étapes de cette dynamique. Un champ ou une prairie à l'abandon ne tardent pas à être envahis de fougères, de genêts et de ronces... Peu à peu, les arbustes puis les arbres prennent le dessus. Sous notre climat atlantique, en situation favorable, près de mille années sont nécessaires pour passer d'un sol superficiel (roche nue) à une forêt de hêtres et de chênes.

Un écosystème artificiel

Il est possible de créer chez soi, sous forme d'une mini-serre, un écosystème stable.

Les plantes et les micro-organismes du sol en constitueront les seuls êtres vivants. La lumière solaire et la chaleur de la pièce seront les uniques sources d'énergies. Dans un tel dispositif, les plantes élaborent leur propre matière azotée par photosynthèse. L'azote est fourni par les décomposeurs du sol (bactéries) qui, en présence d'oxygène de l'air (produit par la photosynthèse des plantes), décomposent la matière organique, provenant des feuilles mortes, en nitrate utilisable par les racines, des plantes. Le CO_2 , engendré à la fois par la respiration des plantes et par celle des bactéries aérobies, est utilisé au cours de la photosynthèse. Quant à l'humidité de l'air, elle se condense sur les parois de verre, retourne à la terre et est absorbée par les racines des plantes. Un équilibre dynamique s'établit permettant de conserver ce système rudimentaire sans entretien plusieurs mois durant.

Cette forêt est le plus haut degré de maturation de l'écosystème. Elle correspond à un état de stabilité ou d'équilibre de l'écosystème, celui qui s'est installé entre les espèces végétales, le sol et le climat du milieu. L'écosystème possède alors une grande capacité à rester égal à lui-même, à ne pas être perturbé en dépit des modifications des conditions de milieu. Il faut des bouleversements importants et répétés (pollution tous les deux ou trois ans par exemple) pour que sa résistance soit dépassée et conduise à des dommages irréversibles. On appelle *climax* cet état de l'écosystème. Le climax ne concerne pas forcément une forêt. Il peut s'agir aussi d'une pelouse

(étage alpin, steppe d'Europe centrale), d'une lande (limite de la taïga et de la toundra). À l'intérieur d'un climax, les réseaux trophiques c'est-à-dire les réseaux définissant « qui mange qui », deviennent très complexes et imbriqués les uns dans les autres avec des cycles biologiques longs. Le recyclage des éléments minéraux est très efficace. La biomasse produite est égale à la biomasse consommée, décomposée et minéralisée (fig. 1).

Mais ce stade mature peut régresser. Par exemple, notre forêt, sous l'effet d'une surpopulation de grands mammifères herbivores, peut s'éclaircir, évoluer vers une forêt de taillis de chênes. Si la perturbation continue, des charmes et des noisetiers remplaceront les chênes, puis des fourrés se développeront, finalement remplacés par une pelouse. Au fil du temps, l'érosion emportant les particules fines du sol, la roche mère apparaîtra et des plages de cailloutis s'étendront sur de grandes surfaces (fig. 2).

Si la perturbation cesse, le milieu va évoluer à nouveau vers un état stable, mais sans jamais revenir au milieu qui a été décimé. Ainsi la forêt primaire originelle dont il ne reste que des lambeaux (Amazonie, cuvette africaine, Indonésie) ne pourra jamais plus se reconstituer après sa disparition. Elle sera peut-être remplacée par une nouvelle forêt, mais une forêt plus fragile et moins diversifiée.

L'évolution d'un écosystème passe donc par une période stable, c'est-à-dire qui offre une relative résistance aux événements extérieurs. Les raisons de la stabilité d'un climax sont nombreuses et encore discutées. Mais une richesse spécifique élevée, c'est-à-dire une grande variété d'espèces, est une condition impérative pour assurer cette stabilité.

En effet, chacun sait qu'une monoculture est très fragile car vulnérable aux intempéries, aux parasites, aux concurrents... Livrée à elle-même, elle disparaîtra bien vite. Voilà pourquoi il faut intervenir sans cesse, par exemple en répandant des insecticides pour la maintenir. Aujourd'hui, cette fragilité des cul-

Visuel non disponible
sur la version internet,
mais disponible sur
l'édition papier

tures est accrue par l'homogénéisation génétique des variétés utilisées qui les expose aux virus, champignons, ravageurs... (les trois quarts environ de la diversité génétique agricole ont disparu au cours du siècle dernier).

Les éléments de stabilité

Biodiversité élevée ne signifie pas combinaison hasardeuse d'espèces. Elle doit s'accompagner de la complémentarité des espèces et de la présence d'espèces particulières. Si ces conditions sont réunies, l'écosystème sera très efficace pour exploiter l'environnement. Sa productivité s'en trouvera augmentée (se reporter à l'encadré *L'expérience Biodeph*) et permettra donc la mise en place d'un grand nombre de mécanismes amortissant les secousses, les changements de l'environnement. De plus, si une diversité élevée stabilise l'écosystème, ce dernier en retour permet une diversification biologique maximale car les niches écologiques sont exploitées au mieux.

FIGURE 2

Matorral à Larrea Tridentata, Mexique.

Ce paysage issu de régressions de formations forestières est très voisin de certaines garrigues méditerranéennes, elles aussi issues de la destruction d'une forêt primitive. © IRD.

Des espèces variées mais complémentaires

Il existe une biodiversité minimale qui dépend surtout de la complémentarité fonctionnelle des espèces. En effet, un certain nombre de fonctions doivent être assurées dans la communauté : par exemple, le type de photosynthèse (il existe deux types de fixation du CO₂, l'un favorisé par une forte concentration en dioxyde de carbone et l'autre limité par la teneur en CO₂ mais favorisé par un fort ensoleillement), la capacité à fixer l'azote du sol (graminées) et l'azote de l'air (plantes légumineuses).

Une large diversité d'espèces permet aussi une efficace répartition de l'exploitation des ressources le long des saisons. Les arbres, les

L'expérience Biodeph

L'expérience Biodeph conduite en 1998 a permis d'observer sur le terrain l'importance de la biodiversité pour la stabilité d'un écosystème. Elle a été menée dans huit sites européens, de la Grèce à la Suède, qui différaient donc largement par leurs sols et leurs climats. Il s'agissait d'ensemencer des parcelles de 4 m² avec des mélanges plus ou moins riches en variétés de graines choisies parmi trois grands groupes fonctionnels : les graminées, les légumineuses fixatrices d'azote et les herbacées non fixatrices d'azote. Au total, 480 parcelles ont été créées sur une terre préalablement débarrassée de toute végétation.

Les résultats ont montré un effet important de la diversité végétale sur la production de biomasse, indépendant du type de prairie et de la position géographique. La productivité des prairies baisse de 80 g/m² chaque fois que le nombre d'espèces semées diminue de moitié. Et la suppression d'un seul groupe fonctionnel engendre une diminution de productivité d'environ 100 g/m² en moyenne. Cette diminution de biodiversité met à mal l'ensemble de l'écosystème : elle entraîne une réduction de la quantité d'énergie disponible pour le reste de la chaîne alimentaire. La résistance et la santé des plantes régressent. Elles poussent moins bien, résistent mal aux maladies, fixent moins les nutriments du sol et ne filtrent pas bien les eaux. Les insectes diminuent en nombre et en espèces. Les populations des autres invertébrés changent. La chimie des sols et le recyclage des éléments minéraux sont également modifiés.

arbustes, les herbes des forêts ne mobilisent pas les éléments minéraux du sol au même moment et ne les restituent pas à la même époque (chute et décomposition plus ou moins rapide des feuilles, des bois morts...). Ce relais augmente la rétention des nutriments de l'écosystème. De même, la présence de plantes captant des nutriments à faible profondeur et d'autres captant les nutriments plus bas dans le sol assure une stabilité à la communauté.

Dans un écosystème riche, chacune de ces fonctions a toutes les chances d'être assurée par plusieurs espèces. Cette redondance fonctionnelle offre deux avantages.

D'une part, la disparition d'une espèce n'entraîne pas la disparition de la fonction qu'elle exerçait au sein de l'écosystème.

D'autre part, dans un contexte différent, les deux espèces redondantes peuvent avoir un rôle différent puisque les espèces ne répondent pas de la même manière aux fluctuations de l'environnement. En cas de perturbation, les diverses fonctions de l'écosystème sont donc *a priori* assurées au même niveau par des combinaisons d'espèces qui diffèrent, au moins en terme d'abondance.

Mais attention, la disparition de chaque espèce affaiblit l'écosystème de façon insidieuse et souvent imperceptible jusqu'au moment où celles qui subsistent sont en nombre insuffisant pour assurer la cohésion et le fonctionnement des écosystèmes.

Ingénieur et clef de vôte

Certaines espèces sont plus importantes que d'autres pour la stabilité d'une communauté.

C'est le cas des espèces dites ingénieurs qui contrôlent directement ou indirectement les disponibilités des ressources pour les autres. Les coraux qui, du fait de leur structure physique, créent des habitats pour d'autres espèces, en sont l'exemple type. C'est également le cas d'un arbre qui crée de l'ombre favorable à l'établissement d'une nouvelle

Visuel non disponible
sur la version internet,
mais disponible sur
l'édition papier

FIGURE 3

Feu de savane en Afrique centrale.
Dans les forêts tropicales (forêts de savane, forêts de mousson et forêts de pins tropicales où, à chaque saison sèche, éclatent des incendies), les espèces forestières présentent des capacités adaptatives comme l'épaississement de l'écorce, l'aptitude à cicatriser les brûlures, la capacité de repousser et, pour les graines, de survivre.
© CNRS Photothèque/D. Serca.

plante, des vers de terre qui creusent, mélangent le sol et modifient ainsi sa composition organique et minérale, ou bien des rats kangourous qui, en creusant les terriers, déplacent une grande quantité de terre et facilitent ainsi la décomposition de la litière et qui, en enfouissant des graines, favorisent l'établissement de nombreuses plantes annuelles.

Une autre catégorie d'espèces, dites « clefs de voûte », jouent aussi un rôle primordial. Leur disparition déclenche des effets difficilement prévisibles et peu en rapport avec leurs faibles effectifs.

Les superprédateurs sont la plupart du temps des espèces clefs de voûte car ils permettent la cohabitation de différentes espèces dont ils maintiennent les effectifs à des niveaux raisonnables en interdisant toute compétition. Si la dernière forêt primaire d'Europe en Pologne compte 95 espèces d'oiseaux nicheurs (trois à quatre fois plus qu'une forêt française), c'est qu'elle abrite plus de 30 espèces de prédateurs lesquels détruisent pourtant 60 à 83 % des nichées. Et l'expérience menée en 1974, sur la côte nord-ouest du pacifique des États-Unis, consistant à retirer l'étoile de mer *Pisaster Ochraceus* dans une communauté où elle était la superprédatrice, s'est traduite par la dispari-

tion de sept espèces sur quinze. Mais les animaux clefs de voûtes peuvent avoir un tout autre type d'activité comme des pollinisateurs (cas des insectes et, dans les forêts tropicales, certaines espèces d'oiseaux et de chauves-souris qui, se nourrissant du nectar des fleurs, disséminent le pollen) dont le rôle est primordial pour la bonne marche de l'écosystème.

Leur interaction

Si les liens entre les populations sont forts, un changement quantitatif qui survient dans une de ces populations se répercute sur toutes les espèces qui lui sont liées et finit par déstabiliser le système. Par exemple, une petite population d'herbivores de prairie stimule la production primaire des plantes car ils réduisent la hauteur du tapis végétal, ce qui facilite la pénétration de la lumière et active la photosynthèse. Mais, si la population d'herbivores est trop nombreuse, elle détruit les plantes.

À l'inverse, si les liens qui forment le réseau trophique sont faibles, c'est-à-dire si aucune espèce ne dépend exagérément d'une autre dont il se nourrit, alors aucune espèce ne peut souffrir trop durement d'une modification dans l'effectif d'un prédateur ou d'une proie.

Les perturbations

Dans certaines conditions, les perturbations comme les tempêtes, les crues, les feux sont vitales pour la survie de l'écosystème et peuvent donc être considérées comme des facteurs de stabilité. En l'absence de ces phénomènes naturels, la compétition entre les espèces peut en effet devenir prépondérante et permettre à l'une d'elles de prendre le dessus.

Les crues sont indispensables au maintien des cours d'eau car elles permettent un rajeunissement des végétations riveraines, un remaniement des fonds qui évite leur envasement, ainsi qu'une régulation de la dynamique des populations.

Les feux empêchent le vieillissement des espèces naturellement résistantes et freinent leur remplacement par celles présentes dans des milieux non perturbés (fig. 3).

Mais si les incendies sont constants ou s'ils ont lieu à la mauvaise saison, cet équilibre peut être rompu. Après les feux extrêmement graves qui ont éclaté en Russie en 1998, plus de deux millions d'hectares de forêts ont perdu leurs principales fonctions écologiques pour une période de 50 à 100 ans.

Au contraire, les forêts tempérées des États-Unis et d'Australie, où le feu a été délibérément supprimé, connaissent des incendies ravageurs provoqués par l'accumulation anormale de combustible.

Conclusion

Il est certain que les écosystèmes agricoles – pauvres par nature et en perpétuel déséquilibre avec leur milieu – fournissent des produits utilisés par l'Homme.

Mais les écosystèmes stables, c'est-à-dire parvenus au stade climax, assurent des services d'une importance tout aussi vitale : maintien de la qualité de l'atmosphère, régulation du climat, contrôle de la qualité de l'eau et du cycle hydrologique (influant ainsi sur les inondations et les sécheresses), formation et maintien de la fertilité des sols, décomposition des matières, pollinisation, contrôle par-

tiel de la pollution des nappes d'eau par le nitrate puisque la quantité de nitrate (NO_3^-) présente dans le sol profond décroît au fur et à mesure que le nombre d'espèces de graminées augmente étant donné que ces dernières l'assimilent. La biodiversité, garante de la pérennité des écosystèmes, se révèle donc être une assurance contre les fluctuations environnementales. Bouleverser cette biodiversité et donc « l'équilibre de la nature » c'est aussi compromettre la survie de l'espèce humaine.

Étudier les mécanismes subtils qui président au fonctionnement d'un écosystème, à son évolution, à sa régression est donc plus que jamais à l'ordre du jour. Ces connaissances permettront d'évaluer les conditions de leur exploitation sans qu'il en soit bouleversé. L'Homme doit apprendre à trouver un nouvel équilibre avec la nature et se souvenir que si 95 % de toutes les espèces se sont éteintes il y a 251 millions d'années, en un peu plus de quatre millions d'années, il aura fallu quelque 100 millions d'années pour que la biodiversité retrouve son niveau antérieur.

P. L.



Philippe Lavaivre est licencié en biologie des organismes et médiateur scientifique dans le département des sciences de la vie du Palais de la découverte. À ce titre, il écrit notamment dans la revue *Découverte*.