

LA RÉSILIENCE ÉCOLOGIQUE

La résilience écologique est la capacité d'un système vivant (écosystème, biome, population, biosphère) à retrouver les structures et les fonctions de son état de référence après une perturbation¹.

Une faible résilience peut conduire un système écologique, à changer profondément de structure et de fonctionnement après une perturbation. Cette faible résilience peut être une caractéristique intrinsèque du système écologique ou être favorisée par sa dégradation liée à des activités humaines².

De manière générale, la diversité, la complémentarité des organismes présents dans un milieu et la redondance des fonctions que certaines espèces assurent au sein de l'écosystème sont les gages d'une meilleure capacité de résilience².

Origine du concept

Des chercheurs aussi différents que James Lovelock, l'écologue canadien C.S. Holling ou américain David Tilman (**en**) ont montré le lien entre l'état de la biodiversité et la résilience des écosystèmes, le premier au travers de son « *hypothèse Gaïa* », le second dans un article qui a en 1973 promu ce concept, et le troisième dans ses travaux sur la biodiversité.

David Tilman avec l'Université St-Paul (Minnesota, États-Unis) a étudié l'effet de la biodiversité dans la prairie de cette région, à partir de 1982, en mesurant la productivité du milieu sur 207 parcelles plantées d'espèces locales contrôlées. Certaines parcelles étaient monospécifiques, ne contenant qu'une seule espèce végétale, les autres en contenant des quantités croissantes, avec différentes associations. En 1988, une grave sécheresse, la pire en 50 ans, a affecté la région, tuant toutes les récoltes et causant trois milliards de dollars de perte pour les agriculteurs. L'équipe de David Tilman a alors constaté que certaines parcelles avaient spectaculairement résisté et qu'il s'agissait toujours des parcelles présentant la plus grande biodiversité. La productivité de parcelles n'abritant qu'une ou deux espèces de plantes a été cette année-là six fois moindre que celles des parcelles en comportant 15 à 25, ce qui prouve l'importance des associations d'espèces adaptées à une zone biogéographique, les unes captant mieux l'azote de l'air, d'autres l'eau de profondeur, etc. La biodiversité est aussi une diversité fonctionnelle permettant aux communautés d'espèces, c'est-à-dire à l'écosystème, d'exploiter au mieux les ressources du lieu et du moment. Cette étude portait sur la diversité spécifique des espèces, mais il semble que la diversité génétique joue un rôle aussi important, notamment dans les populations naturellement quasi monospécifiques des milieux extrêmes (sub-polaires, sub-désertiques, salés, etc.). À plus large échelle, la diversité des milieux joue un rôle équivalent¹.

En 1996, le projet européen BIODDEPTH a associé, dans le même esprit, huit pays qui ont étudié la biodiversité de 480 parcelles. En 1999, les observations de David Tilman étaient confirmées : plus la diversité des espèces était importante, plus l'écosystème était productif et résilient face aux perturbations³.

Aujourd'hui, dans un contexte de dérèglement climatique, la résilience devient une clef essentielle pour permettre aux villes et territoires de s'adapter⁴.

Description

La résilience écologique désigne la capacité d'un système vivant à retrouver ou à conserver un état d'équilibre dynamique après une phase d'instabilité due à une perturbation extérieure ou interne¹. Par exemple, après un incendie, la résilience d'un écosystème forestier s'exprime à travers sa capacité à se reconstituer avec la banque de graines du sol, grâce aux semences et propagules apportées par l'air, l'eau ou des animaux ou encore à partir des rejets ou de la cicatrisation d'individus résistants au feu.

Cette notion est à distinguer des notions de *récupération* (capacité d'un système à retrouver la croissance ou toute autre caractéristique affectée négativement après une perturbation) et de *résistance* (capacité d'un système à rester fondamentalement inchangé lorsqu'il est soumis à une perturbation)⁶.

Les conditions nécessaires pour garantir la résilience varient selon les espèces, les populations et les paysages ou biomes considérés. De manière générale c'est la richesse de la biodiversité et les capacités d'évolution, qui passent notamment par le maintien de la diversité génétique, qui garantissent une bonne résilience⁷. Pour les forêts par exemple⁸, ce sont les grandes forêts tropicales qui selon les modèles les plus récents et les plus complexes, se montrent plus résilientes au réchauffement climatique, en termes de conservation de leur biomasse face aux sécheresses. Toutefois, la capacité de résilience de tout système a des limites et le modèle HadCM3 du Met Office's Hadley Centre prédit une perte de biomasse dans les forêts tropicales d'ici 2100⁹. On peut difficilement évaluer la résilience écologique à l'échelle globale ou planétaire mais, aux échelles locales, on peut mesurer la résilience de systèmes locaux à la suite de perturbations (inondation, sécheresse, incendie, pulvérisation de biocide...) dans la nature, en laboratoire, ou dans un écotron¹⁰.

Effet de seuil

L'effet de seuil, en écologie, est directement lié au concept de résilience. Un écosystème en bon état, et donc résilient, aura la capacité de supporter un nombre parfois très important d'agressions extérieures : événement climatique ou tellurique (volcan, séisme), incendie, invasion biologique, pollution, exploitation... Plus son état de fonctionnement est bon, meilleure est sa résilience et plus grande sera sa capacité à encaisser des pressions. De plus, ces différents impacts n'auront parfois pas d'effet visible sur le milieu, ils n'altèrent pas nécessairement les services produits. Puis, un événement supplémentaire, parfois mineur, fait atteindre le seuil de rupture et vient détruire l'équilibre qui existait. L'écosystème est alors transformé, souvent de manière irréversible. Un autre équilibre se crée ensuite, avec ses seuils de ruptures propres, difficilement décelables. Cet effet de seuil est une caractéristique constante du fonctionnement des espèces, des populations et des écosystèmes^{11,12}.

Approche mathématique de la résilience d'un écosystème

La théorie de la viabilité¹³, développée en 1991 par le mathématicien français Jean-Pierre Aubin, est bien adaptée au problème de la résilience. En effet, cette théorie fournit un cadre mathématique pour agir afin de conserver la viabilité d'un système. Par exemple, dans le cas d'un lac soumis à des rejets de nitrates, l'objectif sera de maintenir le taux de phosphore inférieur au seuil qui trouble l'eau et asphyxie les poissons, mais aussi de permettre aux agriculteurs d'utiliser suffisamment de nitrates pour leur assurer une productivité correcte. La théorie de la viabilité permet de formaliser ces problèmes typiques du développement

durable, où la question n'est pas de maximiser un critère, mais de gérer un compromis. De plus la théorie ne fournit pas une solution unique, mais un ensemble de variantes possibles, ce qui donne une grande flexibilité à son application. Elle a suscité de nombreuses recherches sur le développement durable et la gestion des ressources renouvelables : eutrophisation¹⁴ des lacs, préservation de la forêt à Madagascar¹⁵, occupation des sols dans la savane africaine....

Interventions pour favoriser la résilience

Génie écologique

Le génie écologique et la gestion restauratoire permettent d'accélérer les processus naturels de résilience⁵ en s'inspirant des processus naturels plutôt qu'en essayant de mettre en place de substituts. À l'issue d'une action de génie écologique, un des grands enjeux est d'aboutir à un écosystème lui-même résilient¹⁶. Les interventions peuvent viser :

- la gestion des milieux : méthodes d'intervention (ou de non-intervention) et pratiques favorisant la biodiversité comme la gestion différenciée, l'agroécologie, l'éco-pâturage ;
- la restauration de milieux ou de fonctions écosystémiques : par exemple, restauration en forêt méditerranéenne d'une zone forestière mixte, c'est-à-dire composée d'un mélange feuillus-résineux, la diversité des espèces rendant en effet la forêt plus résiliente¹⁷ aux incendies, attaques de rongeurs, augmentations de températures...
- la création de milieux : zones humides, prairies sèches, landes, steppes, strate herbacée¹⁸... ; intégration de l'activité économique dans l'écosystème.

Corridors écologiques

Quand l'intégrité écologique d'un milieu est dégradée, des connectivités écologiques fonctionnelles (et donc pas seulement apparentes) semblent être une condition de la résilience et de la stabilité à long terme de l'écosystème¹⁹. C'est d'ailleurs l'un des enjeux de la Trame verte et bleue en France d'assurer des connexions fonctionnelles aux différentes échelles du territoire (local, régional, national, supranational) qui favorisent le déplacement des espèces dans un contexte de changement climatique et offrent ainsi à la biodiversité des possibilités de résistance et de résilience²⁰.

Observation de phénomènes de résilience écologique

Exemple de Tchernobyl

Dans la zone interdite à la suite de la catastrophe nucléaire de Tchernobyl, des loups et les ours sont spontanément revenus. De nombreuses autres espèces, d'oiseaux notamment, recolonisent la zone depuis que l'agriculture et la chasse y ont disparu. Cette zone peut donc être considérée comme une démonstration de la capacité de résilience de la nature qui, à la suite d'une perturbation importante²¹, est capable de réparer elle-même assez rapidement ses fonctionnalités écologiques²².

Pour autant, l'idée largement répandue que Tchernobyl est devenu un réservoir de biodiversité est à nuancer. Anders Pape Moller, de l'université Pierre-et-Marie-Curie de Paris, étudie la biodiversité sur ce site contaminé depuis plus de 10 ans et a prouvé que la biodiversité décroît, parfois fortement, dans les zones fortement radioactives^{23,24,25,26,27}. Ainsi, certaines populations d'oiseaux sont inférieures de moitié dans ces zones, de même, que pour une partie des espèces d'insectes, pour lesquelles les populations sont inférieures

à 90 % par rapport au reste de l'Ukraine²⁸. Cette zone pourrait donc plutôt être un piège écologique.

Notes et références

- ↑ Revenir plus haut en :a b et c (en) C. S. Holling, « Resilience and Stability of Ecological Systems », *Annual Review of Ecology and Systematics*, 8 janvier 2013 (lire en ligne [archive])
- ↑ Revenir plus haut en :a et b Thomas Cordonnier, « Perturbations, diversité et permanence des structures dans les écosystèmes forestiers. », *Life Sciences*, 11 janvier 2005 (lire en ligne [archive])
- ↑ Résumé/communiqué des conclusions de Biodepth [archive]
- ↑ CGDD (2015) <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ED123.pdf> [archive] Villes et territoires résilients ; SOES, Études & documents ; N° 123 MAI 2015, publié dans le cadre de la COP21.
- ↑ Revenir plus haut en :a et b « Biodiversité : donner un coup de pouce à la nature » [archive], sur *Irstea*, 2016 (consulté le 7 septembre 2018)
- ↑ (en) Grimm, V. & Wissel, C., « Babel, or the ecological stability discussions: an inventory and analysis of terminology and a guide for avoiding confusion », *Oecologia*, 1997, p. 323–334 (lire en ligne [archive])
- ↑ « La biodiversité est essentielle aux investissements dans les forêts et le carbone » [archive], sur *cbd.int*, 2010 (consulté le 27 avril 2018)
- ↑ Koskela, J., Buck, A. and Teissier du Cros, E., editors. 2007. Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe. Bioersivity International, Rome, Italy. 111 pp
- ↑ Quentin Mauguit (2013), *Réchauffement : les forêts tropicales plus résistantes qu'il y paraît* [archive]
- ↑ A. Steinman, P. J. Mulholland, A. V. Palumbo, T. F. Flum & D. L. Deangelis, « Resilience of lotic ecosystems to a light-elimination disturbance », *Ecology*, vol. 72, 1299–1313, 1991 (Résumé [archive]).
- ↑ Pierre Dupraz, « Programmes agri-environnementaux en présence d'effets de seuil. », *Cahiers d'Economie et de Sociologie Rurales*, INRA Editions, 17 septembre 2015 (lire en ligne [archive])
- ↑ Sylvie VANPEENE-BRUHIER, « Évaluation des risques environnementaux pour la gestion durable des espaces : synthèse des concepts de l'écologie du paysage. », *Irstea*, 8 octobre 2003, p. 13 (lire en ligne [archive])
- ↑ « Deux minutes pour comprendre la théorie de la viabilité » [archive], sur *Inra*, février 2018 (consulté le 25 juillet 2018)
- ↑ C. Rougé, J.D. Mathias, G. Deffuant, « Extending the viability theory framework of resilience to uncertain dynamics, and application to lake eutrophication », *Ecological Indicators*, vol. 29, 2013, p. 420 - 433 (lire en ligne [archive])
- ↑ Razanaka S., et al. (2015). Résilience et viabilité, deux concepts clés pour la conservation et le développement. In : *Transitions agraires au sud de Madagascar : résilience et viabilité, deux facettes de la conservation : actes du séminaire de synthèse du projet FPPSM*. Antananarivo : IRD, 323-336.(ISBN 978-2-7099-1891-6)

16. ↑ Freddy Rey, Frédéric Gosselin et Antoine Doré, *Ingénierie écologique Action par et/ou pour le vivant*, Paris, Editions Quae, 2014, 165 p.(ISBN 978-2-7592-2135-6, lire en ligne [archive])
17. ↑ (en) J. Gavinet et al., « Introducing resprouters to enhance Mediterranean forest resilience: importance of functional traits to select species according to a gradient of pine density », *Journal of Applied Ecology*, 2016, p. 14 (lire en ligne [archive])
18. ↑ Liste [archive] d'exemples de strates herbacées restaurées au Royaume-Uni, illustrés de photographies
19. ↑ R. Armstrong, « *The effects of connectivity on community stability* », *American naturalist*, vol. 120, 391–402, 1982.
20. ↑ Sordello R., « Le changement climatique et les réseaux écologiques. Point sur la connaissance et pistes de développement. », *Rapport MNHN-SPN*, 2014, p. 178 (lire en ligne [archive])
21. ↑ (en) Henrik von Wehrden, « Consequences of nuclear accidents for biodiversity and ecosystem services », *Conservation Letters*, 28 décembre 2011(lire en ligne [archive])
22. ↑ (en) Robert J. Baker, Ronald K. Chesser, « The Chernobyl nuclear disaster and subsequent creation of a wildlife preserve », *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2000, vol. 19, n°5, p. 1231-1232 (lire en ligne [archive])
23. ↑ (en) Anders Pape Møller, « Efficiency of bio-indicators for low-level radiation under field conditions », *Elsevier*, mars 2011 (lire en ligne [archive])
24. ↑ (en) A. P. Møller, « Cumulative effects of radioactivity from Fukushima on the abundance and biodiversity of birds », *Journal of Ornithology*, 17 mars 2015 (lire en ligne [archive])
25. ↑ (en) A. P. Møller, T. A. Mousseau, « Conservation consequences of Chernobyl and other nuclear accidents », *Biological Conservation*, décembre 2011 (lire en ligne [archive])
26. ↑ (en) A. P. MØLLER, T. A. MOUSSEAU, « Determinants of interspecific variation in population declines of birds after exposure to radiation at Chernobyl », *Journal of applied ecology*, 23 juillet 2007 (lire en ligne [archive])
27. ↑ (en) A.P Møller, T.A Mousseau, « Species richness and abundance of forest birds in relation to radiation at Chernobyl », *The Royal society publishing*, 22 octobre 2007 (lire en ligne [archive])
28. ↑ <http://www.journaldelenvironnement.net/article/tchernobyl-destructeur-de-biodiversite,18478> [archive]

Bibliographie

- G. DEFFUENT et N. GILBERT *Viability and Resilience of Complex Systems, Concepts, Methods and Case Studies from Ecology and Society [archive]*, Springer, 2011, (ISBN 978-3-642-20422-7)
- S. MARTIN, *La résilience dans les modèles de systèmes écologiques et sociaux [archive]*, Thèse de doctorat de mathématiques appliquées, de l'école normale supérieure de Cachan, 2005

- P. SCHUSTER, K. SIGMUND & R. WOLFF « *Dynamical systems under constant organization 3 : Cooperative and competitive behavior of hypercycles* », Journal of Differential Equations, vol. 32, 357–368, 1979
- G. BUTLER, H. FREEDMAN & P. WALTMAN, « *Persistence in dynamical systems* », Journal of Differential Equations, vol. 63, 255–263, 1986
- H. FREEDMAN & P. WALTMAN, « *Persistence in models of three interacting predator-prey populations* », Mathematical Biosciences, vol. 68, 213–231, 1984.
- F. JORDAN, I. SCHEURING & I. MOLNÁR, « *Persistence and flow reliability in simple food webs* », Ecological Modelling, vol. 161, 117–124, 2003.
- V. A. A. JANSEN & K. SIGMUND, « *Shaken not stirred : on permanence in ecological communities* », Theoretical Population Biology, vol. 54, no 3, 195–201, 1998.
- R. MAY, « *Thresholds and breakpoints in ecosystems with a multiplicity of stable states* », Nature, vol. 269, 471–477, 1977.
- C. WISSEL, « *A universal law of the characteristic return time near thresholds* », Oecologia, vol. 65, 101–107, 1984.
- C. HOLLING, *The Resilience of Terrestrial Ecosystems : Local Surprise and Global Change*, W. CLARK & R. MUND (dir.), chap. Sustainable development of the biosphere, Cambridge University Press, UK, 1986.
- R. MAY, *Stability and Complexity in Model Ecosystems*, Princeton University, Princeton (NJ), 1973.
- D. TILMAN, « *Biodiversity : population versus ecosystem stability* », Ecology, vol. 77, 350–363, 1996.
- P. EHRLICH & A. EHRLICH, *Extinction : the Causes and Consequences of the Disappearance of Species*, Random House, New York, 1981.
- B. WALKER, « *Biological diversity and ecological redundancy* », Conservation Biology, vol. 6, 18–23, 1992.
- J. BEDDINGTON, C. FREE & J. LAWTON, « *Concepts of stability and resilience in predator-prey models* », Journal of Animal Ecology, vol. 45, 791–816, 1976.
- J. BENGTTSSON, « *Disturbance and resilience in soil animal communities* », European Journal of Soil Biology, vol. 38, 119–125, 2002.
- N. BONNEUIL & K. MULLERS, « *Viable populations in a prey-predator system* », Journal of Mathematical Biology, vol. 35, 261–293, 1997.
- M. A. JANSSEN & S. R. CARPENTER, « *Managing the resilience of lakes : a multiagent modeling approach* », Conservation Ecology, vol. 3, no 2, 15, 1999.
- A. IVES, « *Measuring resilience in stochastic systems* », Ecological Monographs, vol. 65, no 2, 217–233, 1995.
- C. LIN XU & Z. ZHEN LI, « *Stochastic ecosystem resilience and productivity : seeking a relationship* », Ecological modelling, vol. 156, 143–152, 2002.
- M. A. JANSSEN & S. R. CARPENTER, « *Managing the resilience of lakes : a multiagent modeling approach* », Conservation Ecology, vol. 3, no 2, 15, 1999.
- A. IVES, « *Measuring resilience in stochastic systems* », Ecological Monographs, vol. 65, no 2, 217–233, 1995.
- C. LIN XU & Z. ZHEN LI, « *Stochastic ecosystem resilience and productivity : seeking a relationship* », Ecological modelling, vol. 156, 143–152, 2002.
- J. BENGTTSSON, « *Disturbance and resilience in soil animal communities* », European Journal of Soil Biology, vol. 38, 119–125, 2002.