

RÉSILIENCE
&
ENVIRONNEMENT

RAPHAËL MATHEVET
FRANÇOIS BOUSQUET

RÉSILIENCE
&
ENVIRONNEMENT

PENSER LES CHANGEMENTS
SOCIO-ÉCOLOGIQUES

BUCHET • CHASTEL

© Libella, Paris, 2014.
ISBN : 978-2-283-02736-3

SOMMAIRE

INTRODUCTION	9
I. PENSER LA RÉSILIENCE SOCIO-ÉCOLOGIQUE ET AGIR	13
II. PETITE HISTOIRE DES IDÉES SUR LA RÉSILIENCE	81
III. ET MAINTENANT ? INTENDANCE ET SOLIDARITÉS ÉCOLOGIQUES	99
IV. CONTROVERSE	141
CONCLUSION	153
Bibliographie	157

INTRODUCTION

La résilience est un concept envahissant. Des psychologues aux sociologues, des économistes aux politologues, des physiciens aux écologues, de plus en plus d'experts parlent de résilience. En France, le concept a émergé grâce à Boris Cyrulnik : dans le domaine de la psychologie, la résilience consiste à prendre acte de son traumatisme pour ne plus vivre dans la dépression. Mais, depuis longtemps, nos peintres et nos poètes nous sensibilisent à ce propos. Le Louvre regorge de tableaux illustrant à la perfection la notion de résilience lorsque des événements ou des chocs menacent l'existence d'un objet, d'un individu ou d'un groupe : *Le Naufrage de Don Juan*, qui inspira magnifiquement Eugène Delacroix, ou *Le Radeau de la Méduse*, épisode tragique de l'échouage d'une frégate, peint si dramatiquement par Géricault. De même, Jean de La Fontaine n'illustre-t-il pas déjà avec efficacité, dans sa fable « Le Chêne et le Roseau », les différentes manières de réagir aux variations de l'environnement ? Le chêne tient bon, ne modifie ni son état ni son mode de fonctionnement, mais lorsqu'un seuil de perturbation est franchi, il se déracine. Le roseau plie et ne rompt point, il s'adapte aux perturbations, ce qui lui permet de subsister.

Cette notion est aujourd'hui utilisée pour étudier aussi les interactions entre les sociétés et leur environnement dans un monde qui connaît de profonds changements. L'humanité a progressivement façonné son milieu au cours de son développement. Cependant, depuis une soixantaine d'années,

les activités humaines ont bouleversé les écosystèmes à une rapidité et à une échelle inédites. Grâce aux progrès de la médecine et à la prévention, la population humaine a augmenté. En retour, la demande croissante en nourriture et en ressources naturelles a conduit au développement des terres agricoles, de l'exploitation forestière, de la pêche, de l'extraction minière, entraînant de vastes modifications de l'occupation des sols, la perte de milieux naturels et de la diversité biologique. Les progrès des moyens de transport ont accru la mobilité des biens et des personnes, favorisant la dispersion, entre autres, des maladies, des plantes, des animaux, des nouvelles technologies et des modèles culturels. Cet accroissement de la mobilité à l'échelle de la planète s'est accompagné à la fois d'une plus grande connectivité des marchés économiques et d'une accélération des communications ; l'information n'a jamais circulé aussi vite et aussi loin, et cela grâce à Internet, qui relie les économies et les cultures du monde entier. De ce fait, les décisions locales peuvent avoir plus facilement qu'hier des conséquences internationales. Cette mondialisation modifie en profondeur la capacité de la planète à répondre aux besoins des êtres vivants. L'humanité, à des degrés divers selon les pays, a bénéficié de ces changements en raison de l'augmentation des revenus et des niveaux de vie autant que de l'espérance de vie, tout cela très souvent aux dépens du bon fonctionnement des écosystèmes.

À l'échelle globale, les changements sont interconnectés. Ils sont à la fois physiques, écologiques et sociaux. Le concept de système socio-écologique a été créé pour traduire le fait, d'une part, que les interactions sociales et écologiques sont liées et, d'autre part, qu'il est nécessaire de les aborder ensemble pour comprendre et éventuellement gérer le système qu'elles forment. Devant la diversité des comportements, la multiplicité des interactions, l'occurrence d'événements inattendus,

INTRODUCTION

nous avons progressivement admis la complexité des systèmes et reconnu que nous devons vivre en situation d'incertitude. Dans ce contexte, le concept de résilience des systèmes socio-écologiques connaît un grand succès, car nous recherchons actuellement une relation dynamique avec la nature qui permette à la fois de satisfaire nos besoins matériels et immatériels, mais aussi de résister aux chocs économiques ou environnementaux. L'enjeu est de maintenir une biosphère¹ résiliente et une planète humainement habitable.

La résilience d'un système socio-écologique est sa capacité à absorber les perturbations d'origine naturelle (un feu provoqué par la foudre, une sécheresse, etc.) ou humaine (une coupe forestière, la création d'un marché, une politique agricole, etc.) et à se réorganiser de façon à maintenir ses fonctions et sa structure ; en d'autres termes, c'est sa capacité à changer tout en gardant son identité. L'identité du système caractérise ses composantes, leur organisation et leurs interrelations ; sa dynamique peut le conduire dans différents états. Par exemple, une forêt peut se trouver dans un état où les grands arbres dominent, ou, après une coupe, dans un état de croissance caractérisé par la compétition entre de multiples espèces. Dès lors, penser la résilience d'un système revient à penser les transitions entre différents états plus ou moins désirables et recherchés par les humains. La résilience permet de réfléchir à la manière dont les systèmes socio-écologiques répondent aux perturbations, comment ils s'adaptent à la fréquence et à l'intensité de ces perturbations, et comment nous les transformons. D'autre part, comme il est difficile d'agir sans réfléchir, ce concept est aussi utilisé pour gérer les écosystèmes.

1. La biosphère recouvre l'ensemble des êtres vivants et les milieux où ils vivent, ainsi que les interdépendances dynamiques biogéologiques et écologiques.

RÉSILIENCE & ENVIRONNEMENT

Cet ouvrage présente le cadre conceptuel de la résilience des systèmes socio-écologiques tel qu'il a été développé ces quatre dernières décennies par une équipe internationale de chercheurs. Identifiant les enjeux, exposant les controverses, dénonçant les illusions, notre approche examine les théories et les concepts de cette école, leur histoire et leur évolution actuelle, les atouts et les limites de cette pensée de la complexité. À la fois source de critiques radicales, de confusions mais aussi d'optimisme, l'exploration de la résilience permet de parcourir le champ du possible, d'accroître notre capacité d'adaptation aux changements imprévisibles, de nous inciter à transformer des systèmes intenable et inacceptables. Qu'on l'aborde sous l'angle de la science ou de l'idéologie, la résilience peut nous aider à penser nos problèmes environnementaux et à agir. C'est pourquoi nous avons écrit ce livre.

CHAPITRE I

PENSER LA RÉSILIENCE SOCIO-ÉCOLOGIQUE ET AGIR

Aujourd'hui, la mondialisation se traduit par une augmentation des échanges, une croissance démographique, un déclin des ressources naturelles et une incertitude élevée quant aux conséquences des changements globaux comme le dérèglement climatique ou encore les changements d'usages des sols. Dans ce contexte, comment rendre les systèmes dont nous faisons partie plus résilients ?

LA MONDIALISATION ET SON LOT DE PERTURBATIONS

Les systèmes socio-écologiques changent et ces modifications peuvent altérer notre capacité à répondre à des crises et à des chocs.

Notre civilisation industrielle a engendré une crise écologique sans précédent, que nous connaissons tous finalement assez bien aujourd'hui. Et pourtant, nous restons optimistes, sourds et aveugles malgré la litanie continue des mauvaises nouvelles. Pour le moment, nous, pays occidentaux, nous délocalisons nos choix, nos pollutions, nos souffrances. Nous refusons de croire ce que la raison nous commanderait d'admettre sur la base des nombreuses démonstrations

scientifiques et techniques disponibles¹. Aussi, nous devons considérer que la catastrophe est inévitable pour pouvoir l'éviter, passer de la connaissance à la conviction, puis à la décision². Les catastrophes sont aussi des événements imprévisibles générant des irréversibilités qui déterminent la suite de nos actions, voire structurent les relations au sein de la biosphère. Les catastrophes annoncées constituent des points de rupture potentiels, susceptibles de bouleverser les agencements sociaux et écologiques.

Sans être exhaustif, on pressent bien les difficultés à venir. Ainsi, 2 milliards de personnes vivent sans accès à l'électricité et cuisinent principalement avec du bois. Alors que les populations rurales continuent de diminuer au profit des villes, 1 milliard de personnes vivent désormais dans les bidonvilles, soit 30 % de la population urbaine de la planète. Et ces bidonvilles devraient continuer d'absorber les flux migratoires : on attend un doublement de cette population d'ici les trente prochaines années. Comment améliorer la situation sanitaire et sociale ?

Aujourd'hui, 90 % de l'alimentation humaine provient seulement d'une quinzaine de plantes et d'une petite dizaine d'espèces animales. Près de 2 milliards d'hectares de sol ont été dégradés par les activités humaines et, au cours des quarante dernières années, environ 30 % des terres agricoles mondiales sont devenues improductives. Avec l'accroissement démographique (nous devrions être 9 milliards en 2030), la demande alimentaire augmente. La faim dans le monde continue d'emporter plus de 2,5 millions d'enfants chaque année et plus de 850 millions de personnes souffrent de malnutrition. Comment inverser durablement la tendance ?

1. Beck, [1986] 2003.

2. Dupuy, 2002.

Les pêcheries mondiales subissent un développement marqué : 75 % des stocks marins sont considérés comme surexploités ou en limite de production biologique. Certaines zones ont vu leurs stocks de poissons s'effondrer, même parmi des pêcheries considérées comme gérées rationnellement (voir la box 1, p. 55). Pour autant, la demande en farine de poissons sauvages continue de croître afin d'alimenter la pisciculture et les élevages de crevettes, préparant de nouveaux effondrements dans la chaîne alimentaire marine. Comment éviter la dégradation de nos océans ?

Les besoins en eau potable sont tels que la moitié de l'humanité vivra d'ici une dizaine d'années dans des bassins hydrologiques soumis à des problèmes d'approvisionnement importants et donc à des choix cornéliens d'allocation de la ressource en eau. Comment éviter la guerre de l'eau ?

Malgré la mise en place de la convention internationale de Ramsar¹, les zones humides continuent de régresser alors qu'elles ont déjà payé un lourd tribut au développement des terres agricoles et des zones urbaines. Les eaux de surface et souterraines, les fleuves, les lacs et les océans subissent des apports inédits en azote et en phosphate du fait de nos rejets, sources de marées vertes en Bretagne comme sur le littoral chinois. Même les prélèvements en sable nécessaire pour fabriquer le béton utilisé dans le bâtiment² commencent à modifier en profondeur les transits sédimentaires des cours d'eau et des littoraux, entraînant une disparition rapide et généralisée des plages partout dans le monde. Quelle coopération internationale mettre en œuvre ?

1. Traité international adopté en 1971 pour la conservation et l'utilisation durable des zones humides d'importance internationale pour les oiseaux d'eau.

2. « Overexploitation of sand erodes hills of China », *China Daily*, 22 janvier 2013.

La perte de biodiversité au niveau mondial est présentée par les experts comme la sixième crise d'extinction, mais celle-ci est la seule à être d'origine humaine. Même les parcs nationaux et les autres aires protégées ne suffiront pas à assurer la conservation de la biodiversité. Pourtant, plus de vingt mille espèces sont utilisées en médecine traditionnelle et constituent la base des soins de plus de 2 milliards de personnes. La déforestation conduit à l'extinction de nombreuses espèces animales et végétales. Et même si l'Europe a vu ses surfaces forestières progresser au cours des dernières décennies, il ne reste plus dans le monde que 21 % de forêts non perturbées par les activités humaines, soit quelque 13 millions de kilomètres carrés. Comment réconcilier activités humaines et conservation de la nature ?

La pollution de l'air est transportée par les vents jusqu'en Arctique. Elle se dépose sur la toundra, la neige, la glace et les eaux, puis entre dans la chaîne alimentaire. La plupart des espèces animales du Grand Nord contiennent dans leur graisse des concentrations en polluants à des niveaux sans équivalents ailleurs. Le changement climatique prévu par les experts est en cours et évolue même plus rapidement qu'escompté. Les concentrations en dioxyde de carbone se sont éloignées des maximums historiques : elles ont dépassé les 400 g/t dans l'hémisphère Nord, en mai 2013. Cela faisait 2 millions d'années que ce seuil n'avait pas été franchi. Quelles en seront les conséquences ?

Conscients de ces enjeux, comment nous préparer aux changements qui viennent ? Une première attitude consiste à nous appuyer sur notre foi dans le progrès technologique et à continuer à penser qu'il nous permettra de poursuivre notre course en avant : c'est croire en nos capacités à restaurer un climat favorable, une productivité agricole satisfaisante et des paysages harmonieux et équilibrés. Pourtant

la pléthore d'incertitudes scientifiques devrait appeler à davantage d'humilité et à moins d'enthousiasme. Notre méconnaissance du fonctionnement écologique et social des ressources et des milieux ainsi que de leurs interactions avec les groupes sociaux est souvent une cause clé de la destruction de la biodiversité et des ressources naturelles. Nous n'avons jamais autant dépensé pour étudier les dynamiques des espèces exploitées. Nous savons très bien ce que nous détruisons chaque jour. Nous avons mis en œuvre des projets, des plans, des programmes de gestion dite « intégrée » ou « durable ». Et pourtant, cette connaissance ne suffit pas.

Une autre attitude consiste alors à construire de la résilience, c'est-à-dire à nous préparer à répondre aux perturbations à venir. Pour cela, nous devons poursuivre nos efforts de compréhension, modifier nos façons de concevoir le système socio-écologique dont nous faisons partie, à différentes échelles, selon différentes modalités de gouvernance et de gestion. Nous devons aussi changer la vision de nos rapports avec le reste du monde, les non-humains.

LES SYSTÈMES SOCIO-ÉCOLOGIQUES

Pour penser les interactions entre la sphère humaine et la sphère écologique, nous devons considérer le fonctionnement du monde comme un véritable système : les interactions sociales et écologiques sont liées et il faut les aborder ensemble pour comprendre le système qu'elles forment et éventuellement agir.

QU'EST-CE QU'UN SYSTÈME SOCIO-ÉCOLOGIQUE ?

Au milieu des années 1980, le chercheur français Henry Ollagnon¹, aujourd'hui professeur à AgroParisTech, souligne qu'il est extrêmement compliqué de comprendre l'action des hommes dans leur milieu et qu'il est nécessaire d'intégrer à la réflexion les interactions dynamiques entre ces acteurs et ce milieu (défini alors comme un écosystème). Quelques années plus tard, deux spécialistes de la gestion des ressources naturelles renouvelables, l'écologue canadien Fikret Berkes et l'économiste suédois Carl Folke², définissent le système socio-écologique comme un assemblage de systèmes complexes dans lesquels les hommes font partie de la nature. Ce concept se rapproche alors de la notion de « territoire » utilisée en géographie humaine. Assimiler le territoire, espace vécu et approprié, à un système complexe, dont les caractéristiques et la dynamique sont issues des interactions entre des acteurs et les composantes de leur espace géographique, permet de disposer d'un concept opératoire pour appréhender la résilience. Un système socio-écologique se compose d'éléments physiques naturels (sol, eau, roche, organismes vivants), des produits des activités humaines (nourriture, argent, bâtiment, téléviseur, pollution, église), ainsi que des formes d'interactions existant entre les hommes ou entre eux et leur environnement.

Analyser un tel système consiste alors à décrire ses limites et ses règles de fonctionnement, à quantifier certains de ses éléments (concentration de l'air en dioxyde de carbone, nombre d'habitants, endettement), à étudier les variables qui influencent les échanges entre les sous-systèmes ou les

1. Ollagnon, 1989.

2. Berkes & Folke, 1998.

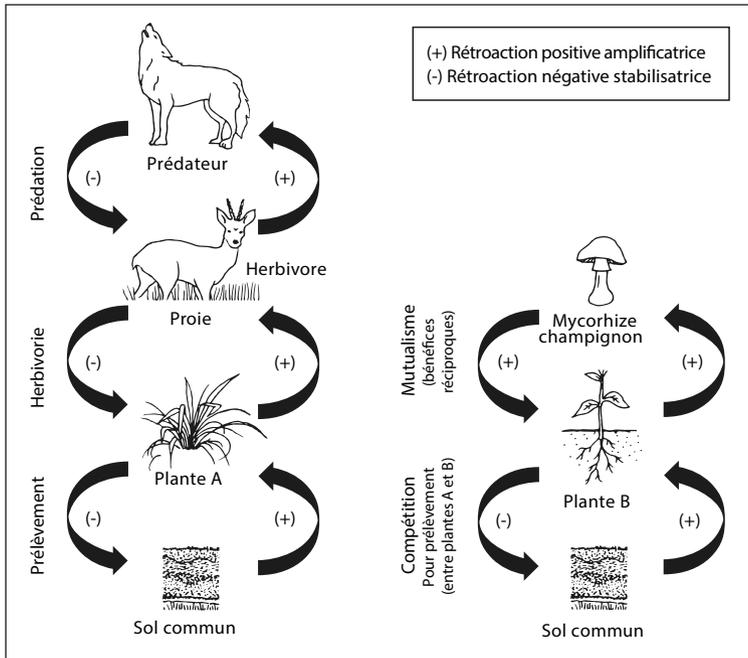
composantes, dans et hors de ce système. Sa taille, sa forme et ses limites dépendent du problème abordé et de l'objectif de l'étude. Ainsi, étudier les changements d'usage des sols d'un bassin-versant est nécessaire si l'on veut comprendre les variations de la qualité de l'eau à l'exutoire.

Les systèmes socio-écologiques sont généralement ouverts, c'est-à-dire qu'ils sont parcourus de flux d'information, de matériaux ou d'organismes. Les interactions entre les composantes du système peuvent être écologiques (production végétale, migration hivernale des oiseaux, etc.) ou socio-économiques (production, prélèvements, pollutions, formes d'appropriation et de partage de la nature et des ressources, etc.).

LES BOUCLES DE RÉTROACTIONS

Parmi les interactions qui déterminent la dynamique du système socio-écologique, il est essentiel de reconnaître les boucles de rétroactions positives ou négatives.

Les rétroactions dites positives amplifient les changements et tendent à déstabiliser le système (voir le schéma, p. suivante). Il en est ainsi de la chasse ou de la pêche par exemple : en l'absence de régulation, le déclin des ressources cynégétiques ou piscicoles entraîne une augmentation des prix qui maintient ou accroît la pression sur la ressource, laquelle se dégrade encore plus vite, accélérant le déclin initial. Les rétroactions dites négatives tendent, au contraire, à réduire les changements et à stabiliser la dynamique du système. L'exemple classique est la relation prédateur-proie (voir le schéma, p. suivante) : la prédation entraîne une diminution des proies, qui contraint en retour les populations de prédateurs, ce qui conduit à stabiliser les deux catégories de populations à des niveaux moyens ou à



Les rétroactions positives (amplificatrices) et négatives (stabilisatrices) dans les systèmes écologiques¹.

créer des cycles, l'abondance succédant à la rareté et inversement. Ainsi, de nombreux systèmes peuvent se caractériser par des états stables alternatifs. Au sein de l'écosystème, les interrelations entre espèces ou groupes d'espèces rendent les individus interdépendants de différentes manières. Par exemple, deux plantes (A et B) peuvent être en compétition pour récupérer les éléments nutritifs contenus dans le sol qui leur est commun. *A contrario*, lorsque les interactions sont bénéfiques à deux espèces

1. D'après Chapin III *et al.*, 2009.

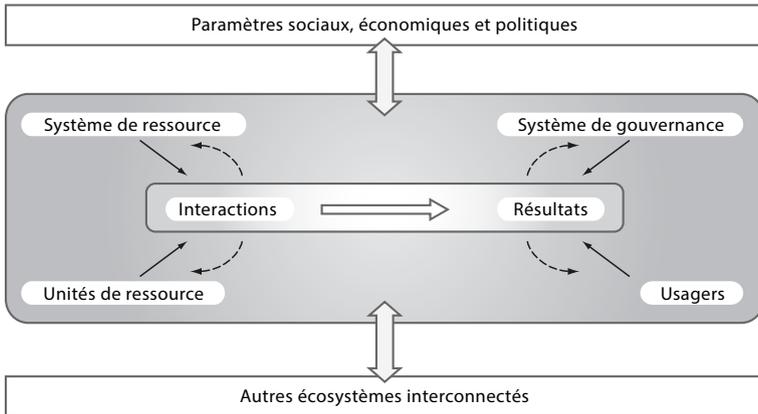
(rétroactions positives), il s'agit de mutualisme : c'est le cas de l'association (ou coopération) entre des champignons et des racines de plantes qui se transfèrent des substances. Si cette association bénéfique entre deux espèces devient obligatoire pour la survie de l'une d'entre elles, on parle alors de symbiose.

La structure et la dynamique du système socio-écologique se modifient continuellement pour répondre aux changements de facteurs externes et internes. La trajectoire dynamique du système résulte donc à la fois des conditions présentes et des perturbations passées : les choix d'aujourd'hui découlent de ceux d'hier et conditionnent ceux de demain.

Nous faisons partie de systèmes sociaux qui sont intimement liés aux systèmes écologiques dans lesquels ils sont ancrés : nous sommes parties prenantes de systèmes socio-écologiques. Peu importe nos lieux de vie, des mégapoles chinoises aux villages isolés des Cévennes, nous dépendons des écosystèmes pour exister. Les changements – quelle que soit leur nature – ont des effets sur chacune des dimensions écologiques et sociales qu'il n'est pas possible de comprendre de façon isolée. La disponibilité des ressources naturelles influence grandement la prospérité de la société, directement ou grâce aux technologies qui permettent de mieux les utiliser¹. L'évolution du système et celle des sociétés humaines peuvent avoir les mêmes moteurs, telles la quête de richesses matérielles et immatérielles (qui repose souvent sur la maximisation de la production et de l'usage des ressources) et la volonté de maintenir ou de contrôler le pouvoir en place (afin de minimiser le risque de changement politique interne).

1. Lenski, 2005.

RÉSILIENCE & ENVIRONNEMENT



*Le cadre d'analyse de la durabilité des systèmes socio-écologiques*¹.
Les flèches en trait plein représentent l'influence du contexte sur les interactions, les flèches incurvées, en pointillé, indiquent que les résultats transforment le contexte.

Elinor Ostrom², prix Nobel d'économie en 2009 et chercheuse en sciences politiques à l'université de l'Indiana aux États-Unis, a proposé un cadre d'analyse des systèmes socio-écologiques qui cherche à orienter l'action vers la durabilité³ et qui repose sur l'étude des systèmes de ressources gérés en commun (les *common-pool resources*) (voir le schéma ci-dessus). Ces ressources relèvent d'une appropriation, d'une exploitation et d'un usage collectifs, pour lesquels il est difficile d'exclure des acteurs, l'action de l'un ayant une influence sur celle des autres. Il peut s'agir de cours d'eau, de pâturages, de forêts, de zones humides,

1. D'après Ostrom, 2009.

2. *Ibid.*

3. Le développement durable est celui qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins.

d'océans, etc. Ce cadre d'analyse décompose le système socio-écologique en quatre dimensions internes – le système de ressource (localisation, taille, etc.), les unités de ressource (taux de remplacement, nombre d'unités, etc.), le système de gouvernance (organisations et règles) et les usagers (nombre, connaissances, technologies, etc.) – et deux dimensions externes – le contexte économique et sociopolitique ainsi que les écosystèmes connectés voisins ou non. Ces différents éléments façonnent le cadre dans lequel interagissent les acteurs (processus de délibération, conflits, etc.), et les résultats de ces interactions vont en retour transformer le système de ressource, les unités de ressource, le système de gouvernance et les usagers.

LA COMPLEXITÉ DU SYSTÈME SOCIO-ÉCOLOGIQUE

La multiplicité des relations et des boucles de rétroactions rend particulièrement complexe le système socio-écologique, à tel point que prévoir avec précision son comportement est impossible¹. Le système socio-écologique est un système adaptatif complexe.

Parmi les métaphores souvent employées pour décrire la complexité, on peut retenir celle de la mosaïque : l'agencement délicat de tesselles élémentaires crée un ensemble complexe dont le tout est bien plus que la somme de ses parties. Si l'on veut être encore plus précis, on peut imaginer que les tesselles élémentaires bougent, se transforment au contact de leurs voisines et que de nouvelles images émergent au gré de ces interactions. Un système sera considéré comme complexe si le résultat des interactions entre les éléments qui le composent ne peut pas être connu ou

1. Gunderson & Holling, 2001.

déduit à l'avance. Par exemple, une fourmilière constitue un système complexe dans la mesure où la colonie de fourmis s'organise ou réalise des œuvres (comme la fourmilière à dôme de brindilles) que l'on ne peut comprendre en additionnant simplement les comportements individuels des insectes.

De même, étudier un système naturel plus ou moins modifié par les activités humaines, comme la baie du Mont-Saint-Michel, demande de caractériser ses dimensions fonctionnelle (ce que fait le système, ses finalités), structurale (quels éléments le composent, comment ses entités sont agencées) et dynamique (comment ses composantes interagissent, ce que devient le système). Parfois, le changement d'un élément se traduit par une reconfiguration complète du système. C'est pour cette raison que des efforts entrepris pour gérer les ressources naturelles, qui se fondaient sur la connaissance de certaines composantes du système et de leur comportement à court terme, ont pu conduire à des recommandations de gestion peu fructueuses à long terme (voir la box 1, p. 55). Les systèmes complexes adaptatifs ne changent pas de façon prédictible, linéaire et croissante. Ils peuvent même avoir différents régimes de stabilité ou vivre des états stables alternatifs pour lesquels leurs fonctions, leurs structures et les boucles de rétroactions seront différentes. Des perturbations, comme des feux de forêt, des inondations ou des changements de prix sur le marché international des céréales, peuvent entraîner le franchissement d'un seuil, faisant basculer le système dans un régime de stabilité différent, moins désirable : un océan sans poisson malgré l'arrêt ou la forte régulation de la pêche, une marée verte sur un littoral ou dans un lac malgré l'arrêt ou la réduction des apports en nutriments, etc.

UNE NÉCESSAIRE INTERDISCIPLINARITÉ

Pour explorer les différentes facettes de la résilience des systèmes socio-écologiques, il est nécessaire de disposer de plusieurs entrées, de plusieurs regards disciplinaires, afin de mieux prendre en compte les rétroactions qui découlent de choix d'aménagement ou de pratiques de gestion des milieux naturels. Mais si les appels à l'interdisciplinarité pour traiter des problèmes environnementaux ne cessent de se multiplier, celle-ci est encore peu généralisée. Au-delà des interactions entre disciplines scientifiques, il est important d'intégrer des savoirs de différentes natures et pas simplement de les juxtaposer ou de les additionner. En effet, dans des systèmes complexes, aucune discipline ne prime : l'analyse des systèmes complexes se trouve à la croisée des arts et des lettres, des sciences naturelles et des sciences de l'homme et de la société ; elle privilégie aussi bien des perspectives fonctionnelles (l'eau, le sol, la biodiversité, etc.), les intérêts des parties prenantes que des systèmes de valeurs.

Comprendre les dynamiques des systèmes socio-écologiques demande de s'appuyer à la fois sur l'expérience, l'expertise et l'analyse¹. Promouvoir l'implication des acteurs locaux et soutenir l'apprentissage collectif sont aussi des points fondamentaux dans la gestion de la résilience. Cela accroît la robustesse des décisions sur le terrain et permet aux acteurs de prendre en charge les opportunités liées aux changements futurs.

1. Funtowicz & Ravetz, 1993.

PENSER LA RÉSILIENCE

La résilience est la capacité d'un système à absorber les chocs, à subir des changements tout en préservant ses fonctions, sa structure et ses boucles de rétroactions. Un système socio-écologique peut être très résilient dans un état indésirable. C'est, par exemple, le cas d'un lac trop riche en nutriments et envahi par les algues à chaque belle saison, des terres souillées par une pollution nucléaire ou encore de terres agricoles salinisées dans certains contextes géomorphologiques. Les efforts pour modifier la situation peuvent être colossaux avant d'entrevoir un changement durable comme le montrent certaines opérations de restauration écologique ou de dépollution d'anciens sites miniers. C'est la raison pour laquelle les études sur la résilience s'intéressent aujourd'hui tout autant aux effets de seuil qu'aux trajectoires de transformation et de retour à l'état initial.

ATTENTION À LA MARCHE

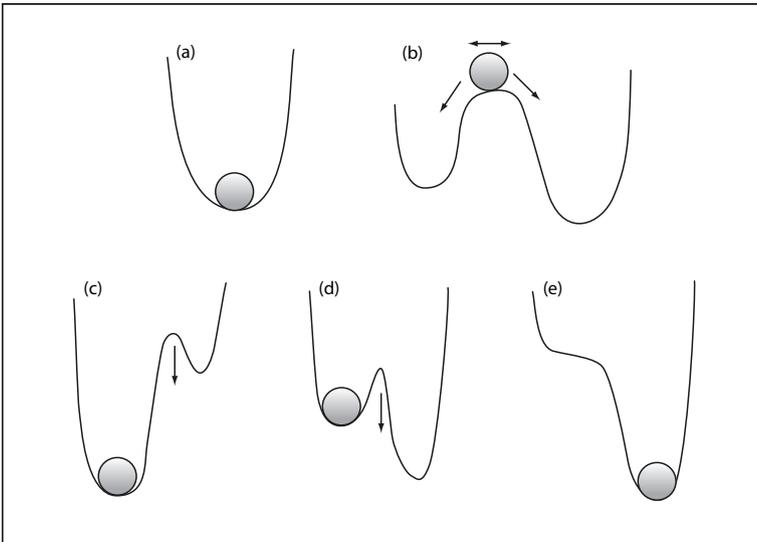
Penser la résilience, c'est d'abord comprendre les conditions dans lesquelles un système franchit un seuil et évolue vers un autre domaine d'attractivité, selon un régime de stabilité différent.

La métaphore de la balle et du paysage bosselé

Pour penser les effets de seuil, on utilise souvent la métaphore de la balle et du bassin (voir le schéma ci-contre). On peut considérer l'ensemble des états d'un système comme un paysage fait de creux (que l'on appelle aussi des bassins d'attraction) et de bosses. La balle décrit l'état du système. Deux choses peuvent changer. D'une part, la balle peut subir des perturbations, des chocs qui vont la faire rouler : si elle

est au fond d'un bassin, une petite perturbation la fera bouger, mais elle reviendra rapidement à son état précédent (a) ; si elle est au sommet d'une bosse, la même perturbation la fera rouler au loin (b) ; si elle est proche d'un seuil entre deux bassins, la perturbation la fera passer d'un état à l'autre (b).

D'autre part, le paysage peut changer. En effet les bosses peuvent s'éroder (c), les creux peuvent se combler (d). Il s'agit en général de processus lents, mais qui vont modifier la résilience du système. Par exemple, si l'on suppose un système dans un état stable au fond d'un bassin profond, une perturbation donnée ne lui permettra pas de franchir le seuil vers le bassin voisin. En revanche, si le seuil entre les deux bassins s'érode et que le bassin dans lequel le système se trouve se comble progressivement, la même perturbation entraînera la balle (le système) de l'autre côté du seuil (e).



La métaphore de la balle et du paysage bosselé.

Les effets de seuil

Pour illustrer concrètement cette métaphore, on peut prendre l'exemple d'un lac confronté à un apport de phosphore¹.

Le phosphore est l'un des minéraux les plus fréquents dans l'environnement, mais en quantité plutôt faible. C'est un élément essentiel dans la composition des lessives et des engrais minéraux abondamment utilisés en agriculture, même si l'évolution des pratiques culturales depuis ces trente dernières années en a réduit fortement l'usage. Aussi, lors d'un événement pluvieux, les eaux de ruissellement se chargent en phosphore et rejoignent le lac, ce qui provoque la prolifération des algues. Si l'on va plus avant dans le processus, on constate que la quantité de phosphore dans les eaux du lac dépend de sa concentration dans les eaux de ruissellement, mais aussi de sa concentration dans les sédiments situés au fond du lac. Si ces derniers sont pauvres en phosphore, ils peuvent absorber le phosphore présent dans les eaux du lac qui, si elles sont riches en oxygène, empêchent tout relargage. Les algues régressent alors et le lac retrouve sa transparence. Dans une perspective de résilience du système, quand les sédiments sont peu concentrés en phosphore, les eaux tendent à voir leur quantité de phosphore se réduire et les ruissellements chargés en nutriments ne changent pas l'état du système. Celui-ci connaît une crise d'eutrophisation, c'est-à-dire une augmentation importante de la production d'algues et d'espèces aquatiques, souvent accompagnée d'un accroissement de la turbidité, mais il retourne à son état d'équilibre initial.

1. Carpenter *et al.*, 1999.

Si l'on revient à la métaphore de la balle (voir p. 26), la balle représente l'état du lac défini par la quantité de phosphore dans ses eaux, et l'état d'équilibre (le fond du bassin) est un lac aux eaux claires contenant peu d'algues (a). La taille du bassin équivaut à la quantité de phosphore que peut recevoir le lac sans perdre sa transparence. Une augmentation des apports en nutriments modifie la position de la balle dans le bassin, mais sans changer l'état du lac. Le lac en tant qu'écosystème peut gérer une certaine quantité de phosphore et maintenir ses fonctions élémentaires. Or, au fil du temps, le phosphore continue de s'accumuler dans les sédiments, entraînant l'apparition d'un nouvel état d'équilibre (c puis d). Le lac peut changer d'état s'il franchit un seuil : après de nombreuses années de stockage du phosphore dans les sédiments, une petite pluie amène une quantité supplémentaire de phosphore, même minime. Les algues se développent, puis dépérissent et se décomposent au fond du lac, privant les sédiments d'oxygène. Cela conduit à une libération massive du phosphore accumulé dans les sédiments vers les eaux du lac, à une concentration telle que, même sans apport de phosphore par les eaux de ruissellement, les algues se développent (e). Dans ce nouvel état d'équilibre, les eaux du lac croupissent, les poissons dépérissent. Le système devient de plus en plus sensible à la pollution (son bassin d'attraction initial s'est réduit avec l'augmentation de la concentration de phosphore dans les sédiments et, au final, un faible apport supplémentaire a suffi pour le faire basculer vers un nouvel état d'équilibre). Réduire la pollution des eaux de ruissellement ne permettra pas de restaurer véritablement le lac, il faudra extraire les sédiments, oxygéner les fonds, et cela à grands frais.

Quels enseignements tirer de cette métaphore et de cet exemple (voir aussi les box 2 à 5, p. 58-65) ? Tout d'abord, lorsqu'un seuil est franchi, il peut être très difficile de revenir en arrière. Ainsi, si de nombreux systèmes dans le monde sont grandement perturbés par la pollution, rares sont ceux qui ont pu retrouver leurs fonctionnalités passées, malgré de nombreux efforts.

Le second enseignement est d'ordre théorique. Piloter un système socio-écologique, le rendre résilient demande de comprendre quels sont les seuils possibles, mais aussi les variables clés. Malgré la complexité du système, ces dernières sont souvent peu nombreuses et évoluent lentement, comme nous venons de le voir avec l'exemple du phosphore. La capacité des acteurs à éviter le point de basculement réside dans leur aptitude à anticiper et à s'adapter. Ainsi, avant que la capacité autoépuratrice du lac ne soit dépassée, il serait possible de mettre en place des actions spécifiques : utiliser rationnellement les engrais sur les terres environnantes, aménager des haies et des bandes enherbées pour retenir les nutriments lors des pluies, développer des forêts sur les berges, collecter les eaux usées et éliminer le phosphore provenant des habitations (*via* des stations d'épuration ou de lagunages ou *via* son interdiction dans la composition des lessives), etc. C'est ce qui a été fait avec succès pour le lac Léman ou le lac d'Annecy dans les Alpes.

Les effets de seuil sont donc plutôt faciles à identifier lorsqu'ils ont été franchis. En revanche, les anticiper ou rester à distance des points de basculement semble plus compliqué. Évidemment, le risque de franchir un seuil qui ferait basculer le système dans un autre bassin d'attraction est grand si on ne connaît pas l'existence même de ces seuils.

ATTENTION AUX TRAJECTOIRES

Il est important d'étudier non seulement les conditions de passage d'un état du système socio-écologique à un autre, mais aussi la trajectoire du système dans son ensemble, qu'elle soit passée, possible ou probable, souhaitable ou non. C'est ce que permet le modèle de trajectoire, appelé cycle adaptatif.

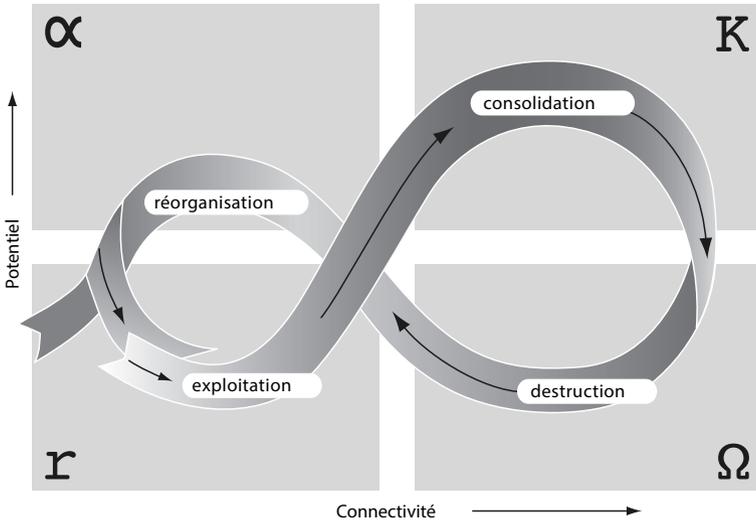
Les quatre phases du cycle adaptatif

Ce modèle¹ est composé de quatre phases de développement (voir le schéma, p. suivante) :

La première phase (r) est une période de croissance rapide. Elle se trouve au début de la trajectoire et correspond pour les humains et les non-humains à une période d'exploitation de nouvelles opportunités et des ressources disponibles. Les composantes du système sont faiblement connectées et son état interne peu régulé. C'est le cas, par exemple, des espèces pionnières comme le bouleau en milieu forestier, ou des entreprises innovantes comme Apple ou Google en économie.

La deuxième phase (K), atteinte progressivement, est une période de conservation, de capitalisation, d'accumulation de matière et d'énergie, de consolidation des acquis. Au fil du temps, le système devient de plus en plus dépendant d'une structure donnée et de ses processus associés. S'il reste très stable face à des perturbations très différentes, mais dont le nombre se réduit progressivement, il est davantage vulnérable aux perturbations imprévues. Dans le domaine écologique, ce capital correspond aux nutriments qui se fixent dans la biomasse. Celle-ci s'accumule au point de devenir en partie difficile à mobiliser (par exemple, le bois) ; dans le

1. Holling, 1986.



Le cycle adaptatif¹.

domaine économique et social, ce sont par exemple les ressources financières, les connaissances, les réseaux de relations qui se fixent et se rigidifient. Les connections entre les acteurs évoluent, certains acteurs changent, mais le système se stabilise progressivement. Les stratégies auparavant opportunistes et adaptées à une grande variabilité de situations diminuent au profit de stratégies de spécialistes qui permettent de profiter efficacement des ressources. Les économies d'échelle permettent de dégager de grands profits, avec la croissance des multinationales, ou des gains de productivité, avec les progrès techniques et le savoir-faire, au point qu'il devient difficile de mobiliser une partie du capital économique pour changer le système ou sa trajectoire, car la quête de hauts rendements prime sur tout le

1. D'après Gunderson & Holling, 2001.

reste. La croissance ralentit avec l'accroissement des connexions, le système devient de plus en plus rigide, les gains d'efficacité génèrent une perte de flexibilité.

La troisième phase (Ω) apparaît brutalement. C'est une période de destruction de l'état précédent au cours de laquelle toutes les connexions se brisent. C'est aussi à ce moment-là que de l'énergie, du potentiel sont soudain libérés et mis à disposition. Tel un black-out électrique, le système s'écroule, toutes les ressources qui étaient inter-reliées sont soudain libérées avec une rupture des connexions et une fragilisation des modalités de régulation. La structure se délite rapidement. En écologie, on peut donner les exemples d'un feu de forêt, d'une sécheresse ou encore d'une épidémie, qui génèrent une destruction du système et une libération rapide de la biomasse et des nutriments accumulés au fil des années. En économie, c'est le cas d'un accident nucléaire ou d'un krach boursier, qui conduisent à des effets en chaîne, détruisent du capital, mais créent aussi de nouvelles opportunités à partir du capital ainsi libéré. La « destruction créative », pour reprendre le concept de Marx puis de Schumpeter, peut alors permettre une réorganisation.

La dernière phase (α) est une période de réorganisation qui prend naissance dans le chaos de la précédente. En situation d'incertitude importante, les opportunités sont nombreuses et permettent une phase de renouveau, qui initie une nouvelle phase de croissance, un nouveau bassin d'attraction. Cependant, les risques de sombrer dans des situations socialement et écologiquement peu enviables (dictatures, misère, famine, etc.) existent.

Sur le plan théorique, le système passe successivement par ces quatre phases. Dans la réalité, des combinaisons et des agencements différents sont possibles, même s'il faut forcément passer par la phase d'exploitation (r) pour