HAL open science

Résilience, irréversibilités et incertitudes

Emilie Gaillard, Nathalie Hervé-Fournereau, Jean-Pierre Amigues, Philippe Billet, Wolfgang Cramer, Gilles Pinay

To cite this version:

Emilie Gaillard, Nathalie Hervé-Fournereau, Jean-Pierre Amigues, Philippe Billet, Wolfgang Cramer, et al.. Résilience, irréversibilités et incertitudes. Workshop Interdisciplinaire Biodiversité, Ecologie, Economie et Droit, Mission pour l'interdisciplinarité CNRS, Apr 2013, Oléron, France. pp.23-33. halshs-01115166

HAL Id: halshs-01115166

https://shs.hal.science/halshs-01115166v1

Submitted on 14 Sep 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

Résilience, irréversibilités et incertitudes

Nathalie Hervé-Fournereau (coordinatrice), Jean-Pierre Amigues, Philippe Billet, Wolfgang Cramer, Emilie Gaillard, Gilles Pinay

1 Introduction

Confrontés à l'incapacité de la communauté internationale d'enrayer le déclin de la biodiversité lors de la conférence de Nagoya en 2010, les pouvoirs publics reconnaissent l'urgence d'une vision plus dynamique de la gestion des écosystèmes. La stratégie française sur la biodiversité promeut ce renouvellement conceptuel reflétant l'évolution des connaissances scientifiques. L'importance de « maintenir, voire de renforcer la résilience et la fonctionnalité des écosystèmes afin de préserver les processus évolutifs nécessaires à leur adaptation et au maintien de la biodiversité »[4] est soulignée. Le projet de loi sur la biodiversité propose d'intégrer les processus biologiques et la géodiversité parmi les constituants du patrimoine commun de la Nation[5]. Elle suggère d'inclure, parmi les objectifs d'intérêt général de protection et de gestion de ce patrimoine, la « connaissance, la préservation de la capacité à évoluer et la sauvegarde des services qu'ils fournissent »[6]. Si le terme de résilience n'apparaît pas explicitement, la capacité d'évolution des écosystèmes est mise en avant comme essentielle à leur fonctionnement. Sans revenir sur la généalogie du concept de résilience devenu transdisciplinaire, il caractérise, en écologie, la capacité d'un écosystème à recouvrer ses fonctions et sa dynamique existant avant une perturbation qu'elle soit d'origine naturelle ou anthropique. Transposée dans la sphère politique, la Commission européenne

4 - Stratégie pour la biodiversité 2011-2020 (Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, 2011).
5 - Article 2 du projet de loi sur la biodiversité, mai 2014, qui ne définit pas ces termes.
6 - Article 2 du projet de loi sur la biodiversité, mai 2014.

la définit comme la « capacité d'une personne physique, d'un ménage, d'une communauté, d'un pays ou d'une région à résister, à s'adapter et à récupérer rapidement à la suite de crises ou de chocs »[7].

A l'instar des services écosystémiques[8], le concept de résilience interpelle *crescendo* la communauté scientifique[9] et s'infiltre dans de nombreux discours politiques et des stratégies d'actions relatives au changement climatique, aux catastrophes, à l'aide au développement et à la sécurité alimentaire. De là, faut-il considérer la résilience comme le fil d'Ariane d'un changement de paradigme dans le domaine de la biodiversité ? La tentation est grande de se limiter à un simple changement de vocabulaire sans en expliciter clairement les implications. Le rapport du groupe de l'ONU sur la viabilité mondiale, *Pour l'avenir des hommes : choisir la résilience !* [10], démontre la force d'attractivité de tels concepts parés d'une forte positivité. Si la résilience est hissée au rang d'objectif prioritaire au service d'un « avenir durable », il importe d'approfondir les connaissances scientifiques concernant les capacités de réponse des écosystèmes et des sociétés aux changements globaux. En l'occurrence, les recherches actuelles révèlent plusieurs zones d'ombres et verrous scientifiques qui contrarient *in fine* la compréhension du fonctionnement des écosystèmes et de leurs interactions avec les systèmes sociaux. La rencontre d'Oléron a offert l'opportunité de contribuer à une réflexion prospective en confrontant les concepts et les méthodes mobilisés en écologie, en droit et en économie pour étudier la résilience de ces systèmes dynamiques complexes ancrés dans des contextes d'incertitude et d'irréversibilité. A l'aune des débats sur l'utilité, le bon usage du concept de résilience et l'horizon des recherches sur ce sujet, trois problématiques ont été privilégiées. Dans un premier temps, le défi de l'évaluation des points de basculement des systèmes écologiques et sociaux est interrogé. Il est ensuite question de la détermination aléatoire des temps de réponse des systèmes écologiques et sociaux. Enfin, la troisième partie porte sur la recherche des capacités d'adaptation des systèmes socio-écologiques, entre nécessité et sérendipité.

7 - Communication de la Commission sur l'approche de l'UE sur la résilience : tirer les leçons des crises de sécurité alimentaire (COM 586, 2012).
8 - Plusieurs dispositifs du CNRS soutiennent les réflexions interdisciplinaires sur ce concept comme le Réseau thématique pluridisciplinaire BIODISCÉE (2012-2015) ou les Projets exploratoires premier soutien *Economie et droit de la biodiversité* (2012).
9 - A l'image des réseaux de chercheurs, tel celui de la *ResilienceAlliance*.
10 - Rapport du groupe sur la viabilité mondiale, Assemblée générale de l'ONU du 1er mars 2012 (A/66/700).

2 Le défi de l'évaluation des points de basculement des systèmes écologiques et sociaux

Le débat actuel sur les changements globaux se focalise de plus en plus sur deux aspects importants du système socio-écologique global : les rétroactions entre l'activité humaine et la nature[11] et les risques de rupture du système autour de *tipping points*, ou points de rupture (Lenton *et al.*, 2008), faisant entrer le système dans un nouvel état quasi-stable, sans possibilité de retour aux conditions antérieures. Le récent programme-cadre de recherche Horizon 2020 de l'Union européenne insiste justement sur le caractère vital d'anticiper ces changements potentiellement irréversibles et invite à « mieux comprendre les interactions complexes entre les ressources naturelles et les systèmes écologiques et sociaux et notamment les points de basculement environnementaux »[12]. Le concept de résilience questionne ainsi plusieurs aspects structurels et fonctionnels des écosystèmes qui sont encore très mal connus, à savoir l'appréhension de l'unicité des systèmes et la connaissance de leurs dynamiques.

L'appréhension de l'unicité des systèmes écologiques et la connaissance de leurs dynamiques

Les écosystèmes sont des systèmes complexes qui résultent d'interactions constantes entre ses constituants biotiques et abiotiques. Chaque écosystème est un système unique ayant sa dynamique propre résultant de son contexte géologique, pédologique et climatique ainsi que des contraintes environnementale naturelles (climatiques) et/ou anthropiques passées et présentes qu'il subit. Cette unicité propre à chaque écosystème au niveau local, ne les empêche pas d'obéir à des règles de fonctionnement communes (cycles de la matière, processus biogéochimiques notamment) avec des écosystèmes partageant les mêmes caractéristiques générales (géologie, climat, sol, végétation, faune). Si ces règles communes de fonctionnement sont maintenant relativement bien connues pour chaque grand type d'écosystèmes, l'unicité de chaque entité écosystémique reste un défi quand il s'agit de prédire son évolution avec ou sans contraintes, ou d'évaluer ses capacités intrinsèques à produire des ressources, recycler ou réguler des flux de matières ou d'énergie (services écosystémiques). Ainsi, l'unicité des écosystèmes offre une large place à la variabilité, peu prédictible. Cette unicité et la variabilité des capacités fonctionnelles qui en résultent questionnent, par exemple, le fondement du « mécanisme » de compensation écologique.

La notion de « conditions climaciques » a longtemps prévalu dans la communauté des écologues. Cette notion postulait que les écosystèmes tendent naturellement vers une condition d'équilibre. Elle a donné lieu, par exemple, à la réalisation de cartes de végétation à l'échelle de la France. Cette notion est maintenant rejetée et il est largement admis que les écosystèmes sont en constante évolution. Cependant, bon nombre d'actions de protection et/ou de restauration sont encore menées de nos jours pour tenter de maintenir en l'état tel ou tel type d'écosystème, d'habitat, voire d'espèces emblématiques ou communautés d'espèces. Ces actions relèvent plus d'une démarche de type « zoo » ou « jardinage », nécessitant souvent de lourds investissements en infrastructures, pour parvenir à maintenir un *statu quo*. La compréhension de la dynamique des écosystèmes passe par des suivis sur le long terme, à ce jour peu nombreux, compte tenu de leur coût et de la diversité des systèmes à étudier. De plus, même quand ces suivis existent, ils ne sont effectifs que depuis relativement peu de temps. Par exemple, les plus longues chroniques de qualité des eaux de surface n'ont guère plus de cent ans (sur la Tamise) et les relevés botaniques systématiques ou les évaluations de biodiversité

11 - Par exemple, les émissions de gaz à effet de serre résultant de la destruction des forêts tropicales accentuent le réchauffement et provoquent la perte de forêts ailleurs.
12 - Décision du Conseil européen du 3 décembre 2013 (2013/743/UE) établissant le programme spécifique d'exécution du programme-cadre pour la recherche et l'innovation (2014-2020), Journal officiel de l'Union européenne (JOUE) L 347 du 20 décembre 2013, p. 965.

animale ne remontent pas plus loin dans le passé. Elles fournissent néanmoins un regard utile pour apprécier les tendances au-delà du « bruit de fond » généré par les variations naturelles des variables mesurées. L'obtention de chroniques plus longues (plusieurs centaines à plusieurs milliers d'années) nécessite l'utilisation d'archives telles que les carottes de sédiments, de sols ou de glace, les analyses dendrologiques, les charbons de bois, les pollens ou les tests de diatomées par exemple. L'information recueillie ne renseigne que partiellement sur la dynamique passée des systèmes et pose comme postulat de départ que les espèces passées ont vécu sous les mêmes conditions environnementales que les espèces actuelles, ce qui peut être sujet à caution si les espèces passées étudiées n'existent plus aujourd'hui. Par ailleurs, ces dynamiques passées ne nous informent pas, ou très peu, sur les dynamiques à venir.

Enfin, une complexité majeure dans la compréhension des conditions écologiques futures vient de la possibilité pour certains systèmes de subir des bifurcations. A titre d'exemple, citons l'analyse des changements environnementaux en Arctique. La réduction des enneigements intéresse non seulement le changement de l'écosystème terrestre, tel que la dégradation du permafrost ou la plus haute fréquence des incendies pendant le printemps, mais aussi les rétroactions climatiques dues à la réduction de l'albédo pendant la période hivernale. Cette rétroaction change davantage les conditions de vie des plantes et des animaux et modifie potentiellement la migration des nutriments de la mer à la terre à travers l'action des oiseaux marins. A cette hauteur de la cascade de changements biologiques, les méthodes courantes permettent seulement d'établir un certain niveau de risque de perdre des éléments essentiels de l'écosystème avec des conséquences sur les activités humaines comme la pêche ou le tourisme. Les temps et la gravité du basculement peuvent être estimés approximativement. Cependant, il est indispensable de mieux comprendre ces phénomènes non-linéaires. L'intérêt public et politique pour ces questions est fort comme le témoignent l'activité et la communication des interfaces entre science et politique telles que l'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) et l'*Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (IPBES). Il est souvent avancé que les systèmes sociaux diffèrent profondément des systèmes écologiques parce que composés d'humains conscients et donc à même de les gérer et de les piloter. Sans s'appesantir excessivement sur cette prétendue capacité supérieure des êtres humains à contrôler son environnement social, il convient de souligner l'importance de l'information dans la régulation d'un système et de s'interroger sur les méthodes économiques aptes à appréhender ces multiples phénomènes dynamiques complexes. A cet égard, avoir une compréhension écologique de ces processus critiques devient un enjeu sociétal majeur.

L'appréhension économique des événements extrêmes et la bioéconomie

Deux méthodes d'approche des événements dits « extrêmes » se distinguent.

La première méthode considère des chroniques d'événements soumises à des perturbations exogènes. La chronique des débits d'une rivière en constitue un bon exemple. L'idée est alors d'isoler les *extrema* de la chronique (inondations ou sécheresses) et d'estimer la distribution de probabilité des points extrêmes.

La seconde méthode provient de la mécanique statistique et s'applique à des systèmes dynamiques soumis à des perturbateurs endogènes. Elle aboutit à la notion de criticité auto-organisée, facteur de bifurcations, de sauts de comportement, d'émergence ou de disparition de niveaux d'organisation du système. Les champs d'application sont très variés tant dans les sciences de la matière, les sciences de la terre et du climat, les sciences de la vie que dans les sciences sociales. Dans ce dernier domaine, la criticité auto-organisée a été appliquée à l'étude de phénomènes aussi divers que la dynamique des krachs boursiers et les paniques financières, les comportements collectifs face à l'incertitude ou au danger ou les bases neurologiques de l'opinion ou des croyances.

La bioéconomie et l'économie des ressources naturelles sont aussi des domaines d'étude

caractérisés par de multiples phénomènes dynamiques complexes. Ici, les domaines sous-jacents sont des processus biologiques ou physico-chimiques seulement partiellement contrôlés par les spécialistes. Outre leurs dimensions aléatoires ou incertaines propres, ces processus peuvent présenter des effets de seuil, des irréversibilités ou des points de retournement de régime (*tipping points*). Les contrôles applicables peuvent eux-mêmes être soumis à des effets retards significatifs (contrôle du transfert de contaminants de l'eau vers les nappes par exemple). Il en résulte un vaste ensemble de problèmes économiques

FOCUS II-1

De l'évaluation de la résilience à la responsabilité environnementale

Les évaluations et responsabilités environnementales constituent deux mécanismes juridiques contribuant à dépasser la perturbation induite par l'activité humaine et à restaurer la dynamique initiale de l'écosystème, permettant de retrouver un équilibre ou une capacité d'équilibre, sans qu'il s'agisse nécessairement d'un retour à l'état initial.

La directive de codification 2011/92/UE[13] concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement, confirmée sur ce point par la directive 2014/52/UE [14], intègre la résilience dans ses préoccupations. Elle prévoit que « les incidences d'un projet sur l'environnement devraient être évaluées pour tenir compte des préoccupations visant (…) à veiller au maintien des diversités des espèces et à conserver la capacité de reproduction de l'écosystème en tant que ressource fondamentale de la vie »[15]. Cet objectif auquel participent les mesures imposées au maître d'ouvrage est garanti par l'obligation d'exposer les effets attendus des mesures correctrices à l'égard des impacts du projet sur les éléments protégés et, surtout, le suivi de celles-ci, contrainte à laquelle est astreint ce maître d'ouvrage au titre des prescriptions accompagnant les autorisations dont il bénéficie[16]. Le maître d'ouvrage n'est cependant tenu d'aucune obligation d'informer l'autorité administrative d'éventuels effets non prévus ou du défaut d'efficacité des mesures adoptées, si tant est que ces effets soient mesurables sur le court terme ou, en tout cas, dans le long terme où une surveillance des impacts est effectivement pratiquée, laquelle n'est jamais alignée en pratique sur la durée d'exploitation de l'ouvrage ou de l'installation en cause.

La loi du 1er août 2008 sur la responsabilité environnementale transposant la directive 2004/35/CE[17] favorise la résilience en imposant une réparation en nature, à l'exclusion de tout autre mode[18], l'objectif premier étant le retour à l'état initial (réparation primaire), c'est-à-dire « l'état des ressources naturelles et des services écologiques au moment du dommage, qui aurait existé si le dommage environnemental n'était pas survenu ». A défaut, le responsable peut se voir imposer par le préfet des mesures de réparation dites « complémentaires », en vue de fournir un niveau de ressources naturelles ou de services comparable à celui qui aurait été fourni sur le site s'il avait été rétabli dans son état initial, nonobstant la prescription de mesures « compensatoires » destinées à compenser les pertes intermédiaires, de ressources naturelles ou de services, intervenues entre la survenance du dommage et le retour à l'état initial. Elles peuvent toutefois être mises en œuvre sur un autre site, dont le choix « doit tenir compte des intérêts des populations concernées par le dommage ». Il faut cependant se garder de prendre au pied de la lettre l'objectif de « régénération naturelle » dans le cas particulier du sol, étant seulement imposée dans une perspective minimaliste « l'élimination de tout risque grave d'incidence négative sur la santé humaine ». Les fonctions écologiques du sol ne constituent ici qu'une mesure de l'atteinte. Dans tous les cas, la principale difficulté reste de garantir juridiquement le suivi des mesures adoptées jusqu'au retour à la « normale », pour ne pas que des perturbations additionnelles viennent contrarier le processus de restauration engagé, sauf à éviter de nouvelles autorisations dont les effets seraient délétères à son égard, correctif que peut permettre l'analyse des effets cumulés des projets et ouvrages en place.

13 - Directive du Parlement européen et du Conseil du 13 décembre 2011, JOUE L 26 du 28 janvier 2012, p.1.
14 - Directive du 16 avril 2014, JOUE L 124 du 25 avril 2014, p.1.
15 - Considérant n° 11 de la directive 2014/52/UE.
16 - Code de l'environnement, art. R. 122-4.
17 - JOUE L 143 du 30 avril 2004, p. 56.
18 - Code de l'environnement, art. L. 162-9.

que l'analyse aborde selon deux perspectives : une approche en termes de théorie de la décision, où l'enjeu est de parvenir à gérer au mieux un système naturel avec des commandes limitées, et une perspective d'organisation, où la problématique de contrôle du système se combine avec celle de la coordination de collectifs d'acteurs usagers des ressources naturelles.

Dans la perspective de la décision, l'analyse mobilise les outils de la théorie du contrôle, déterministe ou stochastique. Les applications en sont multiples en gestion des ressources naturelles, en épidémiologie, en économie forestière, halieutique ou agricole. Plus récemment, ces outils ont été appliqués à la protection de la biodiversité, protection conçue comme un problème d'économie des collections, ainsi qu'à l'économie du changement climatique. La gestion optimale de systèmes dynamiques complexes est également abordée selon cette perspective. Il s'agit de systèmes à effets retards, à transition de phase, à bifurcation déterministe ou aléatoire, et plus rarement de systèmes combinatoires. La recherche économique s'est surtout attachée à préciser la nature des commandes optimales. Elle s'est aussi intéressée à l'unicité des stratégies de contrôle optimal des processus naturels en fonction de l'étendue et de la précision des contrôles applicables au système, notamment dans le domaine de la recherche opérationnelle.

3 La détermination aléatoire des temps de réponse des systèmes écologiques et sociaux

L'intérêt du concept de résilience réside dans sa structure conceptuelle dynamique qui prend en compte plusieurs échelles de temps dans toute leur complexité.

La détermination et la prédiction des temps de réaction et de réponses des écosystèmes aux perturbations demeurent des défis de taille.

La détermination difficile des temps de réponse des écosystèmes aux perturbations

La complexité des interactions biotiques et abiotiques au sein des écosystèmes, la capacité évolutive des organismes sous contraintes et les redondances fonctionnelles existant au sein des communautés d'organismes constituant les écosystèmes contribuent à la résistance des écosystèmes aux perturbations. Les indicateurs précoces de perte de résistance des écosystèmes sont généralement peu ou pas connus, rendant difficile l'évaluation de leur temps de réponse aux perturbations. De plus, l'unicité des écosystèmes complique encore la prédiction des temps de réponses aux perturbations puisque chaque système a subi des contraintes passées différentes tant en qualité (type de contrainte), qu'en amplitude et en fréquence. De fait, l'état considéré souvent comme initial (état de référence cité par la loi sur l'eau, par exemple), c'est-à-dire avant perturbation, n'est qu'un état transitoire résultant des adaptations aux contraintes passées. Ainsi, deux écosystèmes voisins, d'un point de vue structurel et fonctionnel, peuvent avoir eu des histoires très différentes (usages,

cocktail de pollutions…) et, de ce fait, pourront réagir à une même perturbation de manière très différente. Il en résulte que la réponse d'un écosystème à une perturbation donnée n'est pratiquement jamais immédiatement perceptible, soit parce que l'on manque d'indicateurs précoces, soit parce qu'elle peut être masquée par le jeu complexe des interactions biotiques et abiotiques qui lui confère une résistance temporaire. Ce jeu des actions/réactions engendre finalement le plus souvent des « effets surprises » ; la dynamique de l'écosystème ayant atteint un *tipping point*, ou point de non-retour, le système évolue alors vers un nouvel état qui ne permet pas de retour à l'état précédent, annulant éventuellement sa capacité de résilience.

De nombreux travaux sont actuellement engagés dans différents domaines sur l'analyse de ces *tipping points* et de la prédiction de leurs signes avant-coureurs (indicateurs précoces), mais cela requiert des séries temporelles à haute fréquence de ces indicateurs, séries qui font le plus souvent défaut. Ces effets surprises et la multiplicité des perturbations non quantifiées dont les effets cumulés, synergistes ou antagonistes sont peu ou pas connus, rendent assez vaine toute tentative de relier une action (perturbation) à une réaction de l'écosystème (changement de l'état, de la dynamique ou des fonctionnalités).

Nombre de ces processus adaptatifs et temps de réponse des écosystèmes ne coïncident pas avec ceux des systèmes sociaux dont la détermination constitue également un véritable challenge à appréhender par le juriste et l'économiste. La rencontre de ces temporalités est incontestablement, aujourd'hui, un enjeu fondamental.

Le droit à l'épreuve de la rencontre des temporalités des systèmes écologiques et sociaux

Du point de vue théorique, la résilience écologique procède d'une démarche intellectuelle d'intégration dynamique et systémique du temps qui passe. Elle permet d'appréhender de manière évolutive la prévention et la gestion des risques écologiques. Ces dernières démarches peuvent ainsi intégrer dans leurs schémas d'anticipation, diverses échelles de temporalité y compris celle du très long terme. La résilience impose de prendre en considération le long terme, que le droit appréhende sous deux formes au moins, la réversibilité et la durabilité. Or, une telle inclinaison est loin d'être une évidence pour les juristes qui, jusqu'alors, restaient isolés de toute démarche de protection juridique directe des générations futures[19]. A l'aube d'une sixième extinction des espèces, une telle démarche n'est plus impossible à penser, elle est déjà devenue une obligation spécifique à notre génération. En outre, le concept de résilience écologique fournit un éclairage systémique et complexe qui permet d'enrichir la démarche d'évaluation et de caractérisation du dommage écologique. Là où le concept d'irréversibilité a suscité un sursaut de notre responsabilité quant au risque de fermeture des horizons d'avenir, celui de résilience réintroduit le principe même de « cycle » inhérent à tout système. Cette vision intégrative des processus écologiques induit, par voie de conséquence, des perceptions systémiques en cascade. En plaçant la focale sur le concept de résilience écologique, il devient possible de réintégrer le temps long et de composer avec lui de manière dynamique. Il permet de jeter un pont avec l'avenir en insistant sur la nécessité de le préserver. La théorie de l'équité transgénérationnelle peut fournir une assise philosophique intéressante (Brown-Weiss, 1993). En effet, l'enjeu fondamental concerne bien le souci de l'avenir, l'idéal de tenir l'avenir en respect et non pas, de repousser toujours davantage nos limites de tolérance aux risques et aux pollutions écologiques.

D'un point de vue pragmatique, le recours à l'idée de résilience écologique peut entraîner des conséquences diamétralement opposées. Pour les tenants d'une quête toujours plus poussée à la rentabilité financière en minimisant les conséquences écologiques des activités humaines,

19 - Il est permis de dégager de la définition même du droit l'existence d'un cadre temporel dans lequel se pense, s'inscrit et s'élabore le droit. Ce postulat temporel a été magistralement exprimé à l'article 28 de la Déclaration des droits de l'homme et du citoyen de 1793 : « un peuple a toujours le droit de revoir, de réformer et de changer sa Constitution. Une génération ne peut assujettir à ses lois les générations futures ». Certes, cette Déclaration n'est jamais entrée en vigueur ; elle exprime néanmoins on ne peut plus clairement l'approche épistémologique des juristes concernant les générations futures : ces dernières ont vocation à rester hors du droit. Tout « droit de l'avenir » est nécessairement illégitime et contre-nature (Gaillard, 2011).

la résilience écologique pourrait être une aubaine conceptuelle pour minimiser d'autant plus les externalités environnementales négatives. La logique serait alors celle du « toujours plus de profits puisque l'environnement le supportera à échéance temporelle plus vaste » (exemple des déchets nucléaires). Là, nous semble-t-il, n'est pas la substance conceptuelle ni le défi pratique du concept de résilience écologique. Ce dernier jette un pont de solidarité à travers les frontières, qu'elles soient spatiales ou temporelles pour mettre au jour le principe d'unité dans la diversité du vivant qui n'a de sens que s'il est perçu à travers la pensée complexe. La gradation s'invite à l'intérieur des concepts, notions et principes juridiques qui permettent d'accompagner tout processus de résilience écologique. La problématique de ces temporalités et la recherche aléatoire de concordance des temps des systèmes écologiques et sociaux soulève la question des anticipations et des mécanismes économiques susceptibles de gouverner l'état des systèmes dans le présent et le futur.

Quels mécanismes économiques gouvernent l'état du système dans le présent et le futur ?

Cette question est le point de départ d'un programme de recherche important sur les anticipations. La finalité est double : donner du temps aux agents augmente leurs chances de converger vers un équilibre et leur offre l'accès à un flux d'information supplémentaire aux seules données économiques du présent. L'existence d'un futur signifie en effet la possibilité pour les acteurs économiques de se projeter dans ce futur et de former des anticipations sur les mouvements possibles de l'économie. A un processus de tâtonnements myopes vers une situation coordonnée se substitue un processus d'apprentissage par essais-erreurs fondé sur la construction de « théories » subjectives des acteurs sur les mécanismes économiques gouvernant l'état du système dans le présent et le futur. La congruence interpersonnelle de ces théories définit ce qu'on appelle un système d'anticipations rationnelles.

Par construction, des anticipations rationnelles exploitent au mieux l'information publique disponible dans l'économie et permettent une coordination au moins stochastique des décisions. Des théories comme celle des marchés financiers efficients dérivent largement de cette idée. Il apparait alors que ce mode de raisonnement présente des limites.

Lorsque certains agents bénéficient d'une meilleure information que d'autres, les agents non informés doivent anticiper rationnellement cet état de fait. Face au marché, ils doivent adapter leur comportement à la possibilité que des agents informés influencent à leur profit le résultat des échanges. C'est le problème des initiés, agents bénéficiant d'asymétries d'information en leur faveur. L'efficience de la coordination, au sens de la capacité d'un système de marchés à susciter le maximum de gains à l'échange pour le plus grand nombre peut en être sérieusement affectée. Si les anticipations sont un puissant moyen de résoudre des problèmes de coordination, particulièrement en univers aléatoire, elles ont cependant leurs limites. Le système de prix peut être absorbant au sens informationnel, les prix ne transmettant pas d'information sur la valeur des sous-jacents mais uniquement sur l'état des croyances. C'est le point de départ de la théorie des prophéties auto-réalisatrices. Lorsque la valeur des sous-jacents est sujette à des chocs exogènes, comme dans le cas des matières premières agricoles, l'arbitrage par les spéculateurs peut amplifier les fluctuations des cours et non les atténuer. Le fonctionnement des marchés pourrait aussi engendrer des phénomènes de propagation par vagues pouvant évoluer vers des dynamiques d'hystérésis ou de chaos.

La question des équilibres et des déséquilibres est aussi abordée par la macroéconomie. Dans la vision microéconomique standard, les prix sont des signaux informationnels, à ce titre plus mobiles que les flux de transactions de biens physiques. Les approches post-keynésiennes voient davantage les prix comme institués (via des mécanismes contractuels collectifs par exemple) et donc moins facilement ajustables que les volumes échangés. C'est le point de départ des théories du « déséquilibre », plus exactement des équilibres à prix fixes. Dans ces théories, l'offre et la demande ne parviennent pas à se rencontrer avec pour conséquences le chômage (déséquilibre du marché du travail) ou la surproduction (déséquilibre du marché des

biens). Les déséquilibres deviennent alors l'état « normal » d'une économie, la justification des politiques économiques résidant précisément dans leur capacité à les réduire. La macroéconomie dynamique offre d'autres exemples de cette problématique du déséquilibre. La combinaison d'anticipations adaptatives et d'inerties liées à la présence de biens et actifs durables (le « capital ») suscite la formation de cycles conjoncturels d'activité des secteurs industriels, point de départ des théories des cycles réels. La macroéconomie monétaire développe des analyses parallèles pour expliquer les fluctuations et les crises des monnaies.

4 A la recherche des capacités d'adaptation des systèmes socio-écologiques : entre nécessité et sérendipité

Le concept de résilience invite à s'interroger sur les réponses des systèmes écologiques et sociaux leur permettant de revenir à leur trajectoire sans altérer leurs processus fondamentaux, leurs fonctions et structures essentielles. Ces questionnements sont nécessaires face aux injonctions pressantes des autorités publiques en faveur du maintien, du renforcement et du rétablissement de la résilience de ces systèmes. Ces impératifs politico-juridiques justifient l'importance de recherches interdisciplinaires propices à la découverte des capacités d'adaptation des systèmes socio-écologiques. Des incertitudes sur la compréhension du fonctionnement et de l'évolution de ces systèmes demeurent et révèlent les difficultés de piloter et d'orienter ces systèmes vers tel ou tel horizon de durabilité. Elles démontrent la nécessité de décrypter les finalités et les effets annoncés, cachés et inattendus de la résilience. Est-elle la nouvelle égérie d'une idéologie libérale ? Conduit-elle à l'exploitation optimale des écosystèmes ? Devient-elle une nouvelle pièce du puzzle de la transition écologique et d'un développement durable ? Nonobstant ces querelles de vocabulaire et les discordes cognitives et axiologiques, la fortune de ce concept reste à la mesure des besoins des sociétés confrontées à la protection et à la gestion défaillante de la biodiversité. En écho aux approches holistiques des systèmes complexes, il invite à revisiter, voire repenser les modes de compréhension, de décision et de régulation des systèmes socio-économiques.

Les trajectoires d'évolution des systèmes socio-écologiques ou l'exploration du champ des possibles

Toutes les incertitudes citées plus haut sur le fonctionnement des systèmes complexes que sont les écosystèmes, c'est-à-dire le rôle des facteurs biotiques (la plasticité phénotypique et physiologique, l'évolution des espèces, la redondance fonctionnelle), leur état actuel (prenant en compte leur histoire) et leur capacité de réaction (résistance) ou de changement irréversible (*tipping point*), font du concept de résilience un leurre bien commode pour ceux qui y voient un espace de liberté pour laisser faire, et une quête du Graal non atteignable pour ceux qui croient encore à l'état d'équilibre ou état « normal ». Dans ce contexte d'incertitudes sur les réponses aux contraintes des écosystèmes, qui sont le plus souvent non linéaires, les *tipping points* et les effets retards,

les résultats des exercices de modélisation des scénarios d'évolutions doivent être utilisés avec précaution, et ce d'autant plus qu'ils reposent en général sur l'hypothèse selon laquelle les contraintes actuelles et les réponses engendrées seront similaires dans le futur. L'utilisation de conjectures scénarisées pour explorer le champ des possibles semble plus prometteuse et plus réaliste pour explorer les possibilités de maintenir une capacité d'évolution aux écosystèmes, capacité d'évolution qui nécessite que l'on accepte de maintenir un certain désordre dans ces systèmes et, par voie de conséquence, accepter qu'ils nous surprennent par leurs réactions aux perturbations. Le déséquilibre, l'instabilité, le désordre sont aussi socialement désirables. L'enjeu vital d'une société est de préserver une certaine flexibilité, une capacité de changement et d'innovation, ou encore les moyens de tirer profit d'opportunités intéressantes. Les risques de déséquilibres, de crises, d'accidents ou de catastrophes (environnementales ou financières), sont appréhendés par une approche soucieuse de préserver un certain niveau de désordre, de destruction créatrice, d'innovation et de changement, voire de révolutions sociales ou technologiques. Il s'agit de maintenir une fluidité du lien entre la liberté et la norme, tant contingente que nécessaire.

Les modes de régulation des systèmes au miroir de la flexibilité : quel tracé des limites ?

L'accroissement des vulnérabilités des systèmes socio-écologiques exposés à l'ampleur des crises socio-économiques et environnementales révèle le processus d'amoindrissement des capacités d'adaptation des différents niveaux d'organisation de ces systèmes. Dans le sillage de la théorie des systèmes complexes, des « capabilités » d'Amartya Sen et des figures postmodernes du droit, les promoteurs du concept de résilience prônent une approche holistique et identifient les critères d'adaptabilité des systèmes (flexibilité, diversité, connectivité, redondance...). La flexibilité est dans l'air du temps. *To be or not to be flexible, that's not only the question*. Quelles traductions normatives ? Quelle dose acceptable de flexibilité ? Comment gérer les contradictions entre les processus de résilience ? Qui décide et comment ? Artisan des limites et de la pesée des intérêts, le droit contribue à dessiner et à redessiner les modes de régulation des systèmes et de leurs interactions évolutives. Si le droit est un autre monde et construit sa propre réalité, il demeure perméable aux données extérieures susceptibles de faire vaciller ou de renforcer son autorité et sa propre résilience. L'efficacité et l'effectivité des dispositifs juridiques actuels de protection et de gestion de la biodiversité sont l'objet de critiques récurrentes et connues. L'appréhension juridique imparfaite des composantes et du fonctionnement dynamique des systèmes écologiques se conjugue aux limites intrinsèques du droit et à l'insuffisante intégration des exigences environnementales dans l'ensemble des branches du droit. Face à ces insuffisances, il est aisé de comprendre l'attractivité du concept de résilience auprès des autorités publiques. Dans le meilleur des mondes, la flexibilité des modes de régulation se substituerait à leur rigidité, la sectorialisation laisserait place à l'appréhension holistique, la « jurisdiversité » (Martin, 2008) prendrait le pas sur l'approche *command and control*, la figure du réseau et du pluralisme juridique détrônerait la pyramide des normes (Ost et Van de Kerchove, 2002 ; Delmas Marty, 2006). Cependant, ce serait oublier les dynamiques non linéaires et contingentes des systèmes complexes. En outre, cela offre une vision simplifiée des capacités d'adaptation du droit dans les limites du principe cardinal de sécurité juridique, garantie de la prévisibilité et de la stabilité des relations entre les agents.

En l'état actuel du processus d'intégration du concept de résilience dans le droit, la résilience constitue, selon les textes, un objectif à atteindre pour surmonter une diversité de chocs. Citons par exemple différentes communications de la Commission européenne portant sur le changement climatique, les catastrophes naturelles, les espèces invasives, l'insécurité alimentaire, la pauvreté… ainsi que sur un domaine prioritaire de stratégies d'action et d'autres financements (LIFE et Fonds structurels de l'Union Européenne), un indicateur du bon état écologique des eaux marines (arrêté français du 17 décembre 2012). Sans attendre la médiatisation de la résilience, le droit prescrit déjà une série d'obligations d'anticipation, de vigilance et d'alerte précoce,

de planification, d'évaluation et de suivi à partir du fondement des principes du droit de l'environnement (prévention, précaution, participation...). Le concept de résilience devrait contribuer à renforcer l'élargissement des dispositifs propices à renforcer les capacités d'adaptation des systèmes à différents niveaux d'organisation territoriale. Cette relecture des modes de régulation invite à analyser l'élaboration de nouveaux scénarios et d'indicateurs composites et à généraliser les initiatives intégrées sur les catastrophes naturelles comme le programme régional AGIR ou le projet européen SHARE. Elle justifie d'apprécier la pertinence du recours à l'expérimentation législative et la recherche de nouvelles combinaisons d'instruments juridiques au-delà des approches incrémentales. Il est « rentable d'investir dans la résilience » (COM 586, 2012). Renforcer la résilience favoriserait, selon les décideurs, l'utilisation optimale des deniers publics et des écosystèmes pourvoyeurs de services écosystémiques et transformés en infrastructures vertes (COM 249, 2013). Sous couvert de ce louable objectif qu'il reste à apprécier, des priorités devront donc être définies et ne reflèteront pas systématiquement la logique affichée de gagnant-gagnant. La prudence s'impose et justifie des appréciations approfondies sur les forces et faiblesses du concept de résilience afin de prévenir toute régression du droit de l'environnement et de la mise en cohérence environnementale des politiques publiques au nom d'une certaine modernisation. L'ambition de promouvoir une « culture de sécurité et de résilience »[20] invite à s'interroger sur les responsabilités communes et partagées des acteurs et la fabrique d'une nouvelle gouvernance des systèmes socio-écologiques.

De nouveaux jeux d'acteurs au service de la gouvernance des systèmes socio-écologiques

Le couplage de la problématique du contrôle de systèmes naturels avec des questions de coordination d'acteurs aux intérêts divergents conduit à élargir la perspective suscitant ainsi de nouveaux problèmes. L'exemple le plus connu est celui de la tragédie des communs. Même dans des situations stylisées où il serait possible de contrôler de manière optimale la dynamique d'une population de poissons, l'absence de restrictions d'accès à la pêcherie se traduit par une surexploitation de la ressource. Ce sont alors les liens, à la fois techniques et politiques, entre la panoplie des contrôles applicables à la gestion optimale du système et les institutions (régimes de propriété, instances de décision politiques, marchés, mécanismes contractuels…) à même de coordonner les décisions individuelles qui constituent la principale source de difficultés, tant pour l'analyse de ces situations que pour leur gestion.

Les limites du marché peuvent expliquer l'émergence de systèmes alternatifs de coordination, comme les systèmes de planification en univers hiérarchisé qui caractérisent les échanges internes aux entreprises. Les marchés ne sont alors plus que des instances de coordination des décisions économiques parmi d'autres et le problème de la coordination apparaît comme un sous-problème dans un ensemble plus vaste de questions d'organisation. Beaucoup de travaux contemporains interrogent ainsi le marché comme organisation et pas seulement comme espace de coordination. L'enjeu est de construire une théorie permettant d'expliquer la formation d'isolats hors marché, comme les ménages ou les entreprises, isolats opérant en coexistence avec des espaces organisés de transactions marchandes.

A côté de ces considérations sur l'émergence des organisations économiques, la théorie des marchés a beaucoup contribué à l'étude des univers économiques incertains. L'approche néo-classique prédit l'existence d'équilibres en présence de marchés notionnels pour tous les états futurs possibles de la nature. Les marchés boursiers ou les marchés à terme illustrent qu'un ensemble aussi complet de marchés peut ne pas exister. Dans cette situation, la coordination des agents économiques peut se révéler inefficace, voire impossible. Les agents ne parviendront pas à s'assurer convenablement contre le risque de marché ou plus exactement à partager et mutualiser les risques de manière efficace. Il en résulte une possible multiplicité d'équilibres de marché entraînant des crises financières.

Au vu de ces questionnements, le concept de résilience constitue un cas d'école propice à des analyses interdisciplinaires critiques qu'il importe de poursuivre et d'approfondir.