



**HAL**  
open science

**Les structures évolutives de la résilience  
Modélisation systémique de la durabilité des systèmes  
territoriaux, l'exemple de la sécheresse de 2012 aux  
États-Unis**

Philippe Woloszyn

► **To cite this version:**

Philippe Woloszyn. Les structures évolutives de la résilience Modélisation systémique de la durabilité des systèmes territoriaux, l'exemple de la sécheresse de 2012 aux États-Unis. VertigO : La Revue Électronique en Sciences de l'Environnement, 2018, Risques, territoires et résilience, Hors série 30, 10.4000/vertigo.19252. halshs-01888744

**HAL Id: halshs-01888744**

**<https://shs.hal.science/halshs-01888744>**

Submitted on 21 Oct 2023

**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.

# **Les structures évolutives de la résilience**

## **Modélisation systémique de la durabilité des systèmes territoriaux, l'exemple de la sécheresse de 2012 aux Etats-Unis**

*Philippe WOLOSZYN, Chargé de recherche CNRS  
PASSAGES - UMR 5319 CNRS-Bordeaux Montaigne  
Maison des Suds, 12, esplanade des Antilles, domaine universitaire  
33607 - Pessac-cedex  
05 56 84 82 22  
philippe.woloszyn@cnrs.fr*

### **Résumé**

Le développement des approches systémiques de la résilience centrées sur les systèmes socio-écologiques complexes tentent de réconcilier les dimensions physiques et sociales de ce concept. En effet, le développement durable fait appel à la coexistence non seulement des objectifs économiques et sociaux, mais encore des contraintes écologiques, mettant en jeu des échelles d'action et d'inertie spécifiques. L'analyse des échelles temporelles des manifestations de ces contraintes et objectifs nous révèle que les politiques d'actions qui satisfont toutes les propriétés de durabilité se trouvent de ce fait « à cheval » sur plusieurs échelles d'évolution de chacun des sous-systèmes économiques, sociaux ou écologiques du développement durable. Cette constatation pose dès lors un certain nombre de questions : Comment développer une analyse intégrée de la résilience des territoires en respectant la temporalité des référentiels du développement durable ? Quels dimensionnements temporels des indicateurs de la résilience ? Comment s'articulent-ils avec les modes de gouvernance et de décision ? Pour répondre à ces questions, centrales dans la problématique de la résilience, nous traitons de la question de la temporalité différentielle entre les systèmes économiques, sociaux et écologiques, par le développement d'un modèle inductif dans les trois dimensions du développement durable, que nous appliquerons à un cas d'école spécifique, la sécheresse aux Etats-Unis en 2012. Nous nous interrogerons alors sur la lecture du processus de résilience lié à cet événement au prisme des systèmes évolutifs et de la théorie de la viabilité.

### **Abstract**

The development of resilience systemic approaches centered on complex socio-ecological systems attempts to reconcile physical and social dimensions of this concept. Indeed, sustainable development calls for the coexistence not only of economic and social objectives, but also of ecological constraints, involving specific action and inertia scales. The analysis of the temporal scales of the manifestations of these constraints and objectives reveals that action policies that satisfy all the properties of sustainability are therefore shared between several evolution scales of each of the economic, social or ecological subsystems of sustainable development. This raises number of questions: How to develop an integrated analysis of the resilience of territories while respecting the temporality of sustainable development standards? What are the temporal dimensions of resilience indicators? How do

they relate to governance and decision-making? To answer these questions, which are central to resilience problematic, we deal with the question of the differential temporality between economic, social and ecological systems, by developing an inductive model in the three dimensions of sustainable development. We'll apply it to a specific case study, the drought in the United States which occurred in 2012. We will then examine the resilience process related to this event in the frame of evolutionary systems and viability theory.

**Mots-clefs :** Intelligence territoriale, vulnérabilité des territoires, modèle inductif, systèmes évolutionnaires, théorie de la viabilité, structures de la résilience.

**Keywords:** Territorial Intelligence, Territories Vulnerability, Inductive Model, Evolutionary Systems, Viability Theory, Structures of Resilience.

## La résilience, de la physique aux sciences de l'homme

### Du développement durable à la résilience : pléonasme, oxymore ou injonction paradoxale ?

Pléonasme pour les uns, tout développement ayant pour vocation d'être durable, oxymore pour les autres, du fait de l'incompatibilité fondamentale entre développement et durabilité, la notion même de développement durable agit comme une injonction paradoxale, à la manière de ce qu'illustre Watzlawick (1972) ou Bateson (1984) par le concept du « double bind », la double contrainte, impliquant une résolution qui passe par un changement de niveau ou d'échelle d'appréhension du problème, son « recadrage » (Watzlawick et al., 1972, Bateson et al., 1984). Le développement durable s'affiche par là comme un nouveau paradigme qui inclut la prise en compte de l'environnement et la qualité de vie des individus en termes de développement local, social, ou encore de ce que certains appellent le post-développement (Girardot, 2012). Si l'expression développement durable est à la fois si populaire et si contestée, c'est qu'elle répond à une attente de la société post-moderne pour une vision renouvelée de son avenir que ne peut plus soutenir le paradigme scientifique du XIX<sup>e</sup> siècle. Floue et polysémique, cette expression traduit une tension interne porteuse de plusieurs significations et interprétations qui sont elles-mêmes contradictoires et antagonistes. Au plus profond de ces tensions, nous posons que le désir de croissance infinie –synonyme de progrès social illimité- profondément ancré dans notre conscience collective, doit pouvoir être accompli sous une contrainte universelle, celle d'une écosphère finie. Un désir infini dans une contrainte de finitude. Nous visons ici à proposer une interprétation, inspirée par la systémique sociale<sup>1</sup>, de ce paradoxe du développement durable qui nous engage à opérer ce changement de paradigme.

Le terme « Résilience » est, quant à lui, l'un des plus polysémiques qui soient, compte tenu de son utilisation multidisciplinaire, notamment en sciences humaines et sociales, en écologie, en médecine et plus récemment par les économistes d'entreprise (Koninckx, Teneau, 2010). Partant d'une définition purement physique, à savoir la capacité d'un matériau à garder ses propriétés mécaniques initiales (notamment l'élasticité) sous contrainte de pression, l'on se sert du terme résilience en psychologie pour désigner la capacité de se refaire une vie et de s'épanouir en surmontant un choc traumatique grave, la « capacité à surmonter un traumatisme et/ou de continuer à se construire dans un environnement favorable » (Cyrułnik, 2010 ; Tisseron, 2009). En écologie, la résilience est la capacité d'un écosystème ou d'une

---

<sup>1</sup> Nous utilisons ce terme inspiré de Jean-Claude Lugan (2009) pour désigner la « deuxième systémique »

espèce à récupérer un fonctionnement et/ ou un développement normal après avoir subi un traumatisme. D'un point de vue épistémologique, la résilience fait l'objet d'une guerre d'appropriation entre disciplines, voire entre chercheurs d'une même discipline. La conception des écologistes propose un changement paradigmatique qui intègre l'exploitation des ressources naturelles et de l'environnement dans une sphère écosystémique limitée et finie (Rees, 2003). Considérant l'économie elle-même comme un système dynamique proche de l'équilibre répondant à la seconde loi de la thermodynamique, son entropie, son information brute en termes de processus de circulation des capitaux, ou « flux », est directement liée aux interactions gouvernant l'équilibre « stocks-flux » de l'écosphère (Rees, 2003 ; Prigogine et Stengers 1996) dans laquelle elle s'inscrit en termes de finitudes communes. En conséquence, ces nouvelles pratiques « éconologiques », terme introduit par Janicke (1998), sous-tendent des stratégies de minimisation des coûts productifs, et une forme de rationalisation écologique comme alternative à l'investissement dans le « capital travail », pour une meilleure efficacité économique et écologique des modes de production.

Ce statut polysémique du concept de résilience pose de fait un certain nombre de questions ontologiques majeures, cette notion étant intrinsèquement considérée comme contradictoire, de l'aveu même des chercheurs de la « Résilience Alliance ». Parmi eux, Holling (1973) a proposé une approche systémique de la résilience comme « une mesure de la persistance des systèmes et de leur capacité à absorber les changements et les perturbations tout en conservant les mêmes relations entre les populations ou les variables d'état ». Lallau (2009) rappelle quant à lui les origines d'une interprétation écologique de la résilience, qui « du fait de la montée des périls environnementaux, [...] fait l'objet d'une attention croissante dans le champ du développement. Il a d'abord été exploré dans le champ des analyses systémiques, celui des systèmes socioécologiques en particulier ». Selon Folke et al. (2002), « la résilience fournit la capacité d'absorber les chocs tout en maintenant les fonctions. Lorsqu'un changement survient, la résilience offre les composants pour le renouveau et la réorganisation ». Dans une perspective proche, Walker et al. (2004) considère la résilience comme « la capacité d'un système à absorber les perturbations et à se réorganiser tout en opérant des changements de manière à conserver essentiellement les mêmes fonctions, structures, identité et rétroactions, - en d'autres termes, pour rester dans le même bassin d'attraction ». Plus un système est résilient, plus importante est la perturbation qu'il peut absorber sans basculer vers un état différent.

Ce faisant, la notion de résilience repose sur l'idée qu'après une perturbation, le système n'est pas marqué par un simple retour à l'équilibre, expression d'un comportement de résistance, mais réagit souvent au contraire de manière positive, créatrice, grâce à de multiples réajustements. Le terme de résilience implique donc que le système assure sa continuité non pas en préservant un équilibre immuable ou en revenant au même état qu'avant la perturbation (état 1, voir figure 1), mais au contraire en intégrant des transformations dans son évolution (état 2, voir figure 1). Dans cette acception, la résilience est un concept qui s'intègre dans le cadre théorique des systèmes loin de l'équilibre (Prigogine, 1997).

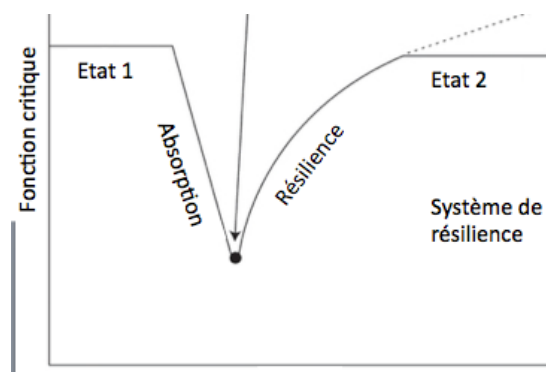


Figure 1 : Transition des États du système : absorption puis résilience vers un nouvel équilibre de long terme (Etat 2). (Woloszyn et Quenault, 2013 )

### ***Le tournant paradigmatique de la territorialisation de la résilience : de la gestion du risque à l'objectif aménitaire***

Dans la littérature et les doctrines des organisations humanitaires ou supranationales d'aide au développement, la notion de résilience est souvent associée à celle de risque, étant comprise comme un mode opérationnel de contrôle managérial de la réaction à l'aléa. Cette approche pragmatique réduit de ce fait la résilience à la mise en œuvre d'un programme de prévention et de gestion des risques sans l'intégrer dans une vision globale du management écologique de l'environnement (Woloszyn et Quenault, 2013).

Dans ce cadre, la résilience, en tant qu'elle participe de la préparation aux catastrophes, est devenue une nouvelle injonction, qui représente une double évolution ontologique et axiologique importante des logiques de gestion des risques (Quenault, 2014), faisant passer de l'adaptation au risque, dans une logique de protection, vers l'adaptation à la crise, la préparation à l'urgence et à la reconstruction. Cet essor s'est accompagné de l'émergence d'un corpus conceptuel largement influencé par l'approche anglo-saxonne (Birkmann, 2006) d'inspiration néolibérale avec pour question centrale : comment les communautés ou les individus « rebondissent » ou récupèrent après un désastre, le plus vite possible, avec peu ou pas d'aide extérieure ?

Il semble donc nécessaire de reformuler la notion de résilience en regard des concepts afférents de vulnérabilité et de capacités adaptatives des populations, en accordant une place centrale à la fois à la singularité des lieux et aux articulations qui les relient à l'espace global. Le concept de résilience permettra alors de mieux comprendre et intégrer les enjeux locaux et globaux des facteurs de vulnérabilité territoriale. En dépassant la notion de risque, la résilience trouve sa place comme antonyme de vulnérabilité, à côté de survie, renaissance, créativité, en prenant en considération de toute une gamme de situations. Cet élargissement justifie l'inscription du concept de résilience dans le cadre d'une réponse systémique au changement, conformément à la logique évolutionnaire de leur manifestation.

L'émergence d'une ingénierie éco-sociale a ainsi défini la résilience comme construction proactive, entre capacité de réponse face à l'aléa et capacité adaptative du système territorial. Dans ce cadre, elle peut non seulement amener à investir dans une prévention intelligente, mais aussi et surtout, participer de la capacité d'adaptation aux changements territoriaux sur des enjeux aussi bien sociétaux, économiques qu'écologiques. Le recours à l'approche systémique du concept de résilience pour analyser les trajectoires des systèmes de durabilité en lien avec un choc permet ainsi d'opérer un déplacement épistémologique en permettant de

rompre avec la vision traditionnelle de la catastrophe, perçue comme un événement exceptionnel lié à un accident de parcours dans l'évolution du système (Reghezza-Zit et al., 2012).

Par conséquent, l'accent mis sur les territoires change quelque peu la compréhension et les modalités d'opérationnalisation de la résilience qui, plus que d'une « individualisation » des responsabilités risquant de faire passer les populations vulnérables du statut de victimes à celui de coupables (Quenault, 2014), est censée participer pour l'essentiel de la « territorialisation » des politiques publiques (Beucher, 2007) et de la mise en oeuvre d'un développement durable à l'échelle des territoires. Appliquée aux territoires, la résilience est l'un des concepts clés de la transition socio-écologique. Popularisé par Rob Hopkins dans le « Transition Handbook » (Hopkins, 2008) qui propose le passage « de la dépendance au pétrole à la résilience locale », ce concept a connu un succès populaire avec le mouvement des « Villes en Transition » (VeT). Ce faisant, Hopkins (2008) se réfère à la conception de Walker (2004) qui définit la résilience comme « La capacité d'un système à absorber un changement perturbant et à se réorganiser en intégrant ce changement » (Walker et al., 2004). De fait, le rapport prospectif « Le monde en 2025 » de la Commission Européenne ( ) a réintroduit le terme de « transition socio-écologique » dans les milieux scientifiques et politiques en présentant les risques démographiques et énergétiques comme une opportunité pour une évolution concertée vers le développement durable. Ces concepts intéressent l'intelligence territoriale (Girardot, 2012) qui ambitionne d'être une alternative à la crise du développement économique uniquement guidé par la poursuite univoque du profit. Le concept de transition évoque l'opportunité de co-construction d'une évolution rationnelle, pacifique et transparente, mais radicale, contre le risque d'un changement autoritaire. La résilience d'un territoire décrit la capacité de sa communauté à assumer pacifiquement sa transition d'un développement fondé sur le critère du gain à court terme vers un développement durable, conciliant les objectifs économiques, sociaux, environnement et culturels face aux chocs externes qui, accroissant sa vulnérabilité, sont à terme susceptibles de remettre en cause son existence.

En termes de transition socio-écologique, nous passons dès lors d'une conception géopolitique traditionnelle de gestion des risques à une prise en compte de la vulnérabilité territoriale dans toutes ses dimensions, en remettant en question les segmentations et protections sociales traditionnelles, et ce, à toutes les échelles du territoire (Woloszyn et Faburel, 2010). En effet, le processus de résilience observé sur le terrain recouvre des formes diverses, tant sociales, psychologiques, environnementales, institutionnelles ou techniques, en tenant compte de la trajectoire de chaque territoire. En ce sens, l'étude du processus de résilience nous permet d'évaluer les déficits axiologiques de nos institutions, par l'évaluation des dysfonctionnements entre théorie et praxis territoriales. Pour ce faire, le développement des approches systémiques de la résilience centrées sur les systèmes socio-écologiques complexes qui tentent d'en réconcilier les deux dimensions physiques et sociales peuvent nous aider à démêler l'écheveau des pratiques politiques des institutions et collectivités territoriales.

Pour résumer, la difficulté de résolution des enjeux de la résilience territoriale réside dans la prise en compte de valeurs non économiques, notamment écosystémiques, humaines, sociales et patrimoniales dans les analyses de vulnérabilité. La nécessité de rendre disponible une « intelligence territoriale »<sup>2</sup> utilisable par tous, à savoir la constitution et la diffusion des connaissances acquises lors des retours d'expérience, est essentielle pour répondre à la

---

<sup>2</sup> Concept développé par le Groupe de Recherche International d'Intelligence Territoriale

capacité d'adaptation permanente de la société, de l'économie et des systèmes écologiques à des enjeux qui eux-mêmes évoluent dans le temps. (Woloszyn, 2012)

### ***Capacitation sociale et mobilisation identitaire: vers de nouveaux potentiels adaptatifs des territoires***

La capacité de réponse d'une communauté à une catastrophe naturelle, tant dans la réactivité de la population et des pouvoirs publics pour les plans d'évacuation et les projets de reconstruction, semble dépendre des conditions socioculturelles de la population à être affectée par la situation. En Colombie, des témoignages relatent que les communautés indigènes et paysannes ont développé plus de ressources que la population urbaine pour répondre au désastre. Ainsi, dans la région métropolitaine de Santa Fé (Santa Fé de Bogotá Distrito Capital), un plan stratégique a été élaboré pour proposer une société différente, structurée autour d'une réserve de biosphère en milieu urbain (Mihura, 2012). Par-delà les grandes théories, pour des questions d'acceptation par la population, les équipes coordonnées entre l'université et les services de l'agglomération ont dû définir leur objet contenu initialement dans une pratique « d'ingénierie sociale » : conception, médiation, constatation, hybridation... A titre d'exemple, Woloszyn et Hernandez (2013) ont cherché à identifier les effets de l'interaction entre les risques naturels et la vulnérabilité de la population environnante. Face au risque volcanique par exemple, la communauté indigène Nasa a utilisé la figure du docteur traditionnel, le « Tehuala », pour établir une médiation sur le territoire en couplant ses connaissances scientifiques et traditionnelles. Par une articulation intelligente entre savoir vernaculaire et savoir-faire technologique, les Tehuala ont ainsi réussi à instaurer une surveillance constante de l'activité du volcan, autorisant de fait la redéfinition du plan d'occupation du territoire et la consolidation du potentiel touristique de la région (Woloszyn et Hernandez, 2013).

Dans le cas de la ville de La Plata en Argentine, des pluies diluviennes dans la « Pampa » a affecté 800.000 habitants en 2013. Avec l'appui du CONICET et de l'Université de La Plata, un projet de co-construction d'un « Agenda de Transformation avec de l'Intelligence Territoriale » a été initié en collaboration étroite avec la population touchée, pour les deux zones parmi les plus affectées : la Bassin du ruisseau Maldonado et les canaux de la Raffinerie de pétrole YPF. Une recherche-action d'ampleur qui réunit sciences sociales, sciences naturelles et sciences exactes, de concert avec des communautés habitantes et les politiciens pour co-construire la résilience territoriale face à cet événement climatique majeur (Bozzano, 2014).

L'exemple de la réponse à la sécheresse de 2012 aux Etats-Unis que nous développons par la suite nous éclaire quant à lui sur le changement d'état d'un système en crise aux différentes échelles de sa manifestation. En effet, en 2012, les USA ont dû faire face la plus sévère crise climatique depuis les années 50. En ignorant les problématiques locales d'usage des terres dans la pratique agricole américaine, les réponses fragmentaires du gouvernement fédéral se sont soldées par une inefficacité notoire du point de vue de la continuité productive, et ont ainsi été relayées par les agriculteurs et les éleveurs qui ont « pris en main » les conditions même de leur résilience par des actions coopératives d'échanges de biens et services (Woloszyn, 2012).

Ainsi, face au risque naturel ou social, les populations vulnérables ne sont pas forcément des victimes, elles peuvent tout au contraire être porteuses de modèles de résilience dans la transition socio-écologique comme innovateurs sociaux et précurseurs de nouveaux préceptes

de gestion environnementale des territoires. A ce titre, les initiatives de transition, non obligatoirement labellisées ou se réclamant du mouvement de la transition initié par Rob Hopkins (2008), peuvent être considérées comme une manifestation auto-spontanée de l'innovation sociale. Ce programme appelle à l'évidence un questionnement : quelle articulation avec les pouvoirs publics aujourd'hui ? Comment envisager une application des principes de la transition à l'échelle d'une région ou d'un pays ? Et quels leviers de la participation pour opérer une innovation sociale réelle de la gouvernance ?

Une autre approche de la résilience se saisit des pratiques de consommation (Projet « Movida »<sup>3</sup>) à travers les pratiques consuméristes et les représentations de la consommation alternative, le développement durable, la transition énergétique, et l'ensemble des thématiques liées à l'écologie (Galibert, 2015). La capacité des habitants à se mobiliser dans les actions dites de « transition » dans le quartier de la Fontaine d'Ouche à Dijon passe ici par l'étude de l'offre de communication délibérative, forme de démocratie locale participative. Nous émettons l'hypothèse que cette dernière peut être le point de départ d'une forme de résilience consumériste ou, de manière plus radicale, une forme de résilience basée sur des nouvelles formes de partages de biens matériels ou immatériels (information, connaissances, savoirs) par les nouveaux médias de l'échange et de l'information (internet, réseaux sociaux...).

La réduction de la vulnérabilité par l'accroissement des capacités de résilience des territoires et des populations devant représenter un objectif commun entre gouvernements, associations et citoyens, l'organisation du débat public s'inscrit dans la perspective de la communication délibérative, avec la prise en compte de toutes les formes de participation, sur le principe d'une démocratie créative. En construisant les formes de réaction du public en ligne telles que Tweeter ou FaceBook, l'on peut mettre en place une stratégie de reconnaissance de la parole citoyenne sur le modèle du « Community Management » (Galibert et Woloszyn, 2014). Nous pouvons alors parler d'une « résilience numérique », construite sur les capacités de partage de connaissances et d'expériences des réseaux sociaux et du Web 2.0.

Du caractère éminemment politique et subjectif de la résilience, nous constatons que celle-ci peut nourrir des actions et des projets radicalement différents. Ainsi, la transposition du concept de résilience renvoie à différentes conceptions suivant les soubassements théoriques ou idéologiques, la culture et le dessein politique des acteurs qui s'en emparent (Woloszyn et Quenault, 2013). C'est pourquoi il convient toujours de se demander qui « dit » et « fait » la résilience (Reghezza-Zitt et al., 2012) et quel projet politique se profile en filigrane. Alors qu'avec la résilience s'opère un désengagement de l'État et un transfert de responsabilités vers les autres parties prenantes, on peut en effet se demander si l'on n'assisterait pas à une instrumentalisation de la notion par le pouvoir gouvernemental. Face à ce questionnement, il convient de s'interroger sur les fondements épistémologiques d'une notion qui est la plupart du temps réduite soit à un référentiel normatif d'actions permettant de devenir résilient (Quenault, 2013), soit à un « mythe d'avenir désiré et désirable par tous » (Lallau, 2011).

---

<sup>3</sup> Porté par Olivier Galibert, Maître de Conférence en Géographie de l'Université de Bourgogne-Franche-Comté, le projet Movida Ville en transition : consommation et modes de vies durables, étudie depuis 2011 les comportements consuméristes des habitants du quartier urbain de la Fontaine d'Ouche au sein de l'agglomération de Dijon dans le contexte de la transition socio-écologique, afin de proposer des scénarii capables de répondre à une évolution des comportements éco-responsables. Ce projet coordonné par la MSH de Dijon, est soutenu par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, l'ADEME, le Conseil Régional de Bourgogne, la Ville de Dijon. Il implique des équipes des universités de Bourgogne, de Franche-Comté et de Rennes 2 : CESAER, CIMEOS, SPMS, et notamment la MSHE, l'UMR ThéMA et UMR ESO, membres du GDRI.



## *Du capital social à l'intelligence des territoires*

Dans la mesure où la condition d'existence de la résilience est la possibilité de détecter le changement, parfois sous la forme d'un signal faible, et de préparer le futur, nous faisons appel à une conception cosmologique de l'intelligence telle que proposée par Alex Wissner-Gross et Cameron E. Freer (2013). Partant de la constatation que « des avancées récentes dans des champs s'étendant de la cosmologie à l'informatique [et les sciences humaines] ont mis en lumière une connexion profonde possible entre la maximisation de l'entropie et l'intelligence », Wissner-Gross et Freer (2013) montrent qu'une « généralisation causale de forces entropiques peut spontanément inciter des comportements remarquablement sophistiqués associés à l'homme dans sa niche cognitive, incluant l'utilisation d'outils et la coopération sociale. » Les conséquences universelles de cette proposition, qui considère l'intelligence comme une force physique alimentée par le capital social sous la forme de communautés numériques (réseaux sociaux) remet en question la définition du système auquel elle s'applique, d'où l'importance de la notion de territoire dans les définitions de l'intelligence et de la résilience (Dumas et Woloszyn, 2012). Cette propriété émergente qui produit le développement durable, la résilience, trouve donc un cadre d'actualisation dans la notion d'intelligence territoriale, en ce qu'il permet une lecture des fonctions interactionnelles entre les trois dimensions, sociale, économique et écologique du territoire (Woloszyn, 2014).

Face à la prégnance actuelle de l'individualisme et de la concurrence effrénée, notre vision de la résilience s'inscrit dans un authentique héritage de Darwin<sup>4</sup> qui voit la survie des espèces – non des individus- et celle de l'homme en particulier, dans la coopération, la transcendance, l'empathie et la communication. Pour ce faire, Il est nécessaire de sortir de nos modes de représentation façonnés par les notions de capital humain, qui correspond à une réalité de l'« Homme en entreprise » se situant dans une dimension « utilitariste », celle de l'« homo oeconomicus ». Plus intelligente, la notion de « capital social », au sens de Bourdieu (2006), définit l'humain sur d'autres critères que ceux de l'individu, considérant les actions humaines comme fondamentalement inscrites dans des logiques de fragilité et d'imprévu. En ce sens, elle révèle la dimension de la vulnérabilité de l'homme inscrit dans son système socio-éco-environnemental. En effet, Pierre Bourdieu est parti des théories d'Emile Durkheim concernant le « capital culturel » d'un individu, pour développer le concept de « capital social » que la sociologie américaine a ensuite revisité et enrichi. Celui-ci concerne la façon dont un groupe favorise la transmission et l'enrichissement potentiel d'une personne, en mettant en exergue l'importance des interactions et des relations développées par les personnes entre elles.

« L'organisation constitue le lien entre l'intelligence individuelle et l'intelligence collective. Même individuelle, l'intelligence s'inscrit indiscutablement dans une perspective organisationnelle plus large que le simple périmètre de travail d'un individu. Elle relève non seulement de la capacité d'un acteur à faire face à une situation de travail particulièrement complexe, mais incidemment de l'aptitude de l'organisation à favoriser la construction d'un comportement adapté et efficient » (Bourdieu, 2006).

La dimension collective permet ainsi de dépasser l'individualisme. Le sociologue américain James Coleman (1994) fait ensuite évoluer ce concept en l'utilisant pour décrire les

---

<sup>4</sup> L'on se réfère ici à la notion de « Darwinisme social » comme cadre d'injonction de la résilience (Reghezza-Zitt et Rufat, 2015, p.197)

ressources des individus qui proviennent de leurs liens sociaux et qui en sont ainsi le produit. Puis ce fut au tour de Robert D. Putnam (1995), professeur à Harvard, de donner un nouvel élan au capital social en le définissant comme « les réseaux qui connectent entre eux les membres d'une société et les normes de réciprocité et de confiance qui en découlent ». Le Capital Social se développe ainsi sur deux dimensions qui en constituent ses conditions d'existence : les réseaux et la confiance (Fukuyama, 1995).

La notion de « capital écologique » a été quant à elle introduite par le courant de la pensée économique s'intéressant aux ressources naturelles et à l'environnement, en faisant référence à la fois au stock de ressources naturelles épuisable, considérant les ressources naturelles comme moyens de production de biens et services écologiques et aux « flux » correspondants, à savoir consommation, recyclage et tout autre service écologique lié au développement durable (Pearce et al., 1988 ; Faucheux & O'Connor, 1999). A contrario du « capital économique » ou « productif » qui s'entend classiquement comme l'ensemble des moyens de production, infrastructurels, matériels et financiers ayant pour but la production physique et financière de biens et de services, la conversion des « flux » (services et circulation des biens) en « stocks » (biens immobilisés), permettent aux systèmes écologiques de fournir ressources nécessaires à l'homme, mais aussi les produits de l'économie non industrielle, par définition vulnérable à la prédation financière. Ces trois capitals du développement durable sont illustrés figure 2 :

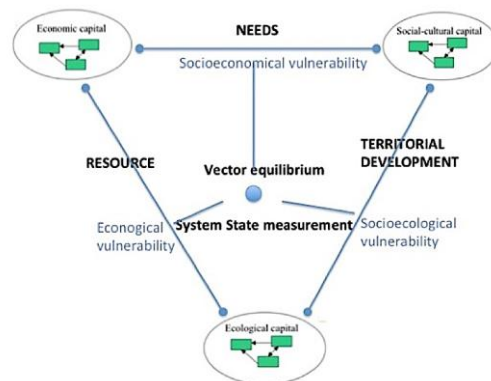


Figure 2 : Articulation et convergences entre capitals de développement durable (Woloszyn, 2013)

De fait, notre point de départ épistémologique est de trouver dans la vision systémique de la résilience l'agencement des concepts permettant le dépassement du dimensionnement économique, étayé par le concept d'« homo œconomicus ». Il s'agit dès lors de formaliser les fluctuations temporelles entre les trois capitals -social, écologique et économique- qui gouvernent la transition éco-socio-environnementale, pour y traduire la convergence ou la divergence des canaux d'interaction entre ces trois piliers du développement durable.

### ***L'équilibre entre capitals : une mesure de la solidarité ?***

A titre d'illustration, nous présentons ci-après un résultat de simulation de développement

durable issu d'un modèle générique ouvert nommé SDSIM<sup>5</sup> (figure 3).

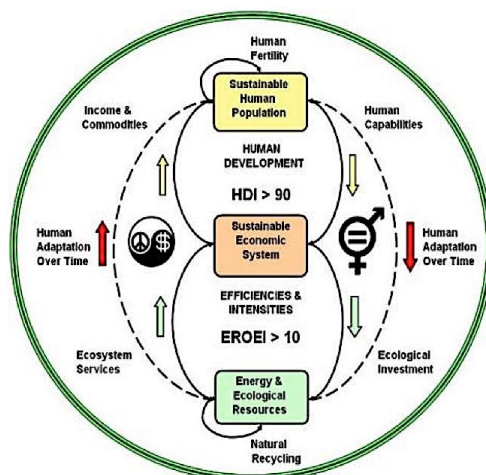


Figure 3 : Boucles de rétroaction du système économique-socio-écologique du développement durable utilisé dans le modèle SDSIM (Jackson et Senker, 2011).

Ce modèle se base sur une analyse des compromis entre développement humain<sup>6</sup> et priorités de développement économique dans un contexte écosystémique. Rappelons que, dans le cadre du développement durable, l'objectif est de simuler le comportement humain et les profils de prise de décision efférents en fonction du capital financier, du capital social, et du capital écologique. L'une de ces simulations est visible figure 4.

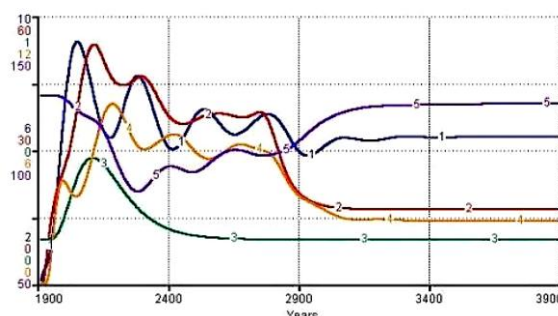


Figure 4 : Simulation de l'évolution de la population mondiale (1), de la production industrielle brute (2), de la disponibilité d'énergie (3), de la consommation moyenne par habitant (4), et des tendances de la cohésion sociale ou « indice de solidarité » (5), au cours des 200 années (1900-2100), issue du modèle SDSIM (Jackson et Senker, 2011).

Nous observons que, sur le temps long, l'évolution de la croissance démographique, alliée au taux de consommation de ressources et au développement des nouvelles technologies, répond à un système d'oscillations d'amplitude décroissante de type «  $\sin x/x$  », illustrant la phase de transition, avant de se stabiliser.

<sup>5</sup> Ce modèle prend en compte la limitation des ressources matérielles sur une période entre 1950 et 2200, en assumant une transition du comportement consumériste à un comportement plus responsable au cours du XXI<sup>e</sup> siècle. SDSIM est un projet de modélisation de données « pauvres », destiné à fournir un point focal pour les psychologues et autres experts en comportement humain pour combler les lacunes de données.

<sup>6</sup> [Human Development Reports \(HDR\) | United Nations Development Programme \(UNDP\)](http://hdr.undp.org). Hdr.undp.org. Retrieved 2013-09-22.

Ce signal intermittent est typique des modes dynamiques du comportement des systèmes de transition, qu'ils soient cindyniques (Woloszyn et Quenault, 2013), aménitaires (Woloszyn et Faburel, 2014), consumatoires (Galibert et Woloszyn, 2015), culturels (Woloszyn et Hernandez, 2013) ou cognitifs (Woloszyn et Safourcade, 2016). Les oscillations amorties sont issues des décalages de phase (temporalité) entre les évolutions à court et à plus long terme de chacun des piliers sociaux, économiques et écologiques. Nous pouvons les constater figure 4 dans les signatures temporelles suivantes :

- De l'évolution du rapport (population/PIB-consommation par habitant de biens matériels et de services) présentant un pic, pour ensuite suivre une oscillation amortie progressive jusqu'à stabilisation vers un état pseudo-stationnaire (courbe n°1 figure 5)
- Du rapport besoins-ressources énergétiques présentant un « sommet de dépendance » des énergies fossiles pour ensuite aborder un long déclin, l'« oil Peak » tel que décrit par Jeremy Rifkin (2013), avant d'aboutir à une situation stationnaire par la substitution de nouvelles sources d'énergie. (courbe n°3 figure 5)
- De l'indice de la solidarité, ici formulé comme une fonction non linéaire de la population humaine et de la consommation, par rapport à la durabilité d'utilisation des ressources (courbe n°5 figure 5) (Woloszyn, 2016).

Ces modes d'évolution alternant pics, oscillations et stabilisations révèlent un régime de turbulence propre aux périodes de transition du système, dont les amplitudes du signal révèlent le caractère décroissant (à long terme) du risque de bouleversements culturels et de la violence structurelle de redistribution agressive des richesses, comme illustré figure 5 :

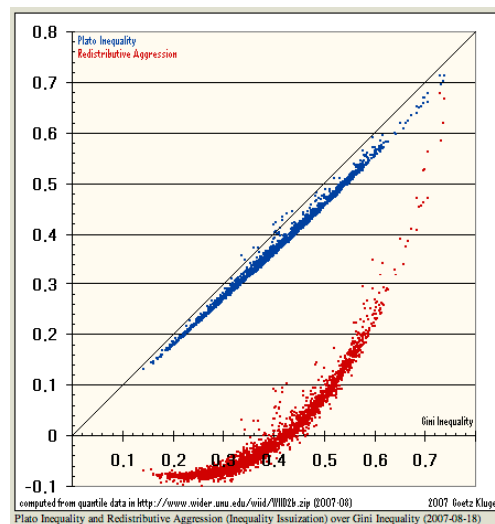


Figure 5 : Réponses d'un écosystème social à un changement graduel de condition environnementale : mesure de l'inégalité (« inégalité de Gini ») et dépassement de la « ligne de faim » ou « Hunger Line » en trait plein sur la figure (Rupasingha et Goetz, 2007). Elle représente l'évolution de l'inégalité de Platon (nuage de points supérieur) vers le principe d'agression redistributive (nuage de points inférieur) (Woloszyn, 2011).

Dans la suite de notre développement, la relation entre les régimes temporels de ces dimensions et leur intégration dans une vision systémique fait l'objet d'une modélisation qui s'appuie sur la métaphore des énergies potentielle, cinétique et dissipative, associées à leurs

trois composantes passives, la capacitance, la conductance et l'inductance<sup>7</sup> (Woloszyn, 2013). Ce modèle propose ainsi une analogie qui identifie le « stock » comme propriété capacitive du système pour maintenir ou développer son capital sous forme de capacitance, le « flux » comme processus de conductance du capital vers la production, et le « bénéfice » (ou la perte) de la transformation des stocks en flux, comme effet d'inductance, perspective évolutionnaire ou « moteur » du système, qui implémente la capacitance sous la forme de boucles de rétroaction entre les trois dimensions du développement durable.

## ***Une lecture systémique du développement durable et de la résilience des territoires***

Ce faisant, nous nous sommes inspiré du « Modèle E » (« E-model ») issu de la polémique du « Silent Weapon for quiet Wars » (Cooper, 1991), qui propose cette analogie simple des éléments conceptuels utilisés dans la mécanique et l'électronique pour en définir un modèle de gouvernance économique<sup>8</sup>. En élargissant cette proposition aux trois dimensions du développement durable, nous assumons le fait que les théories mathématiques développées dans le cadre de l'étude des systèmes énergétiques ont également la faculté d'être applicables aux systèmes économiques, sociaux et écologiques. Nous proposons dès lors une transposition sur la base analogique des lois gouvernant l'énergie potentielle, l'énergie cinétique et l'énergie dissipative à ces systèmes. A chacune de ces classes d'énergie, nous identifions l'état de capacitance (associé à la notion de stock) en interaction avec les processus de conductance (notion de flux) et d'inductance (notion d'effet), pour définir les trois dynamiques de base d'une théorie générale de l'entropie socio-éco-environnementale ou « énergie sociale généralisée » (Wissner-Gross et Freer, 2013). La co-évolution durable de chacun des sous-systèmes avec leur environnement mobilise de fait ces trois types de processus : potentiel, cinétique et dissipatif. Les fonctions énergétiques produites en sortie du système relativement aux trois piliers sont alors formalisées par les notions d'inductance économique, d'inductance sociale et d'inductance écologique, inductances susceptibles d'implémenter la capacitance des autres dimensions du schème de durabilité (Dumas-Woloszyn 2012). Ainsi, si l'inductance économique décrit le processus de « valorisation » des flux économiques dans un champ de population, l'inductance sociale expose la dynamique des « processus de socialisation » produits par les populations dans leur champ environnemental, tandis que l'inductance écologique formalise les « interactions écosystémiques » dans le champ du management socioécologique de la biosphère de notre environnement (tableau 1).

---

<sup>7</sup> Ces trois dimensionnements énergétiques sont proches des axes de domaine « potentialités-capacités-réactions » proposés par Provitolo et Reghezza-Zitt (2015). Dans notre modèle, nous considérons potentialités et capacitances comme propriétés toutes deux constitutives de la notion de « stock ».

<sup>8</sup> Nous nous sommes inspiré de la polémique du « Silent Weapon », dont les documents fondateurs sont réputés avoir été trouvés le 7 Juillet 1986 dans un photocopieur IBM acheté à une vente de surplus militaire, sous le nom « Operations Research Technical Manual TW-SW7905.1 ». Ce modèle assume que les théories mathématiques développées dans le cadre de l'étude des systèmes énergétiques, mécaniques, voire quantiques, ont la faculté d'être applicables dans le cadre des systèmes économiques, voire socio-économiques. Ce modèle, encore appelé « E-model », ou « modèle E », propose une analogie simple des éléments conceptuels utilisés dans la mécanique et l'électronique, à savoir l'énergie potentielle, l'énergie cinétique et l'énergie dissipative (Cooper, 1991).

Property (Entropy class)	Economical (Model E)	Social (Model S)	Ecological (Model O)
Capacitance (Potential)	Capital (stocks) Compétences Confiance	Cultures, Social capital (actors & networks...)	Biosphère (Biotope +biomasse) Etat d'être (bien-, mal-)
Conductance (Dissipative)	Flux (Goods) Services production	Networking Cultural action Cooperation	Eco-actions Gestion environnementale (Ecological management)
Inductance (Kynetical)  (= variation capacitance)	Résultante (valeur ajoutée, retranchée...)	Integration - différenciation Radicalisation	Ecosystemic interactions Fertilisation Désertification

Tableau 1 : Représentation des principales propriétés des systèmes énergétiques dans l'espace entropique du développement durable

Les facteurs structurels propres à chacune des dynamiques du système du développement durable admettent donc deux temporalités, inscrites dans deux dynamiques distinctes : l'une, dissipative, descriptive de l'action phénoménale directe, et l'autre, inductive, qui introduit les notions d'incertitude à chacune des échelles de la dynamique du système, quantifiable par son entropie, sa quantité d'information<sup>9</sup> (figure 6).

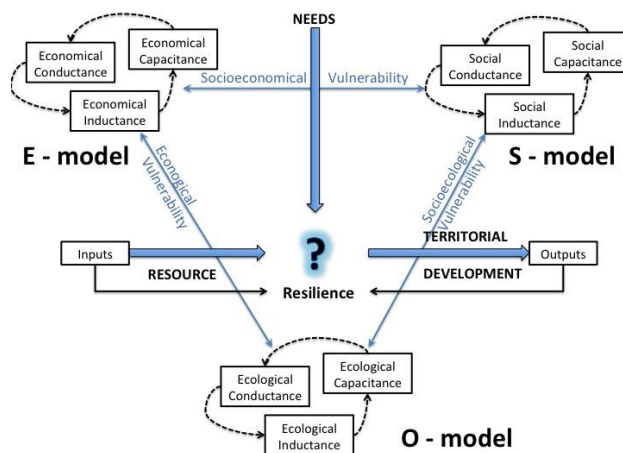


Figure 6 : Transposition analogique des lois physiques aux trois dimensions du développement durable (modèle E-S-O « Economic-Social-Organic ») (Woloszyn, 2014)

Parler de durabilité dans le cadre de ce modèle revient donc à évaluer puis à modéliser la

<sup>9</sup> Ce sont les travaux de Claude Shannon et Norbert Wiener, publiés dans le Bell System Technical Journal en 1948 (Shannon et Weaver, 1949) et (Wiener, 1948), qui introduisent les définitions mathématiques de la quantité d'information, mesurée par le niveau d'entropie. Elle définit la quantité moyenne d'information par symbole en théorie de l'information. La définition de l'entropie par Shannon est construite à partir du cas discret en quantifiant une suite de symboles, tandis que celle de Wiener est plutôt dans une logique continue, en étudiant la variation d'un signal. Par la synthèse qu'elle opère au sein des disciplines de l'ingénieur, ces définitions reposent sur une innovation conceptuelle majeure, le recours aux probabilités. En jetant des ponts entre physique statistique, sciences de l'ingénieur, sciences du vivant et sciences de la cognition, la notion d'entropie a permis le transfert de la notion d'information à travers tous ces champs disciplinaires.

capacité d'interaction d'un ensemble de procédés de production, de consommation et d'échange entre l'économie, la société et l'environnement par la mobilisation analogique des notions de capacitance (stocks) et de conductance (flux). Ces processus induits sont par essence issus de la transformation des stocks en flux dans les trois dimensions économique, sociale et environnementale. Le fonctionnement économique du système socio-écologique dépend par exemple de la réalisation de certaines propriétés des échanges réciproques entre économie, environnement et société. Dans cette interaction, le maintien du stock de capital économique est le garant du renouvellement des flux de ressources et de services éco-socio-environnementaux si et seulement si sa circulation aboutit à un « effet induit » au bout d'un temps  $t$ , sous la forme de boucles de rétroaction impactant les dimensions sociale et écologique (figure 7).

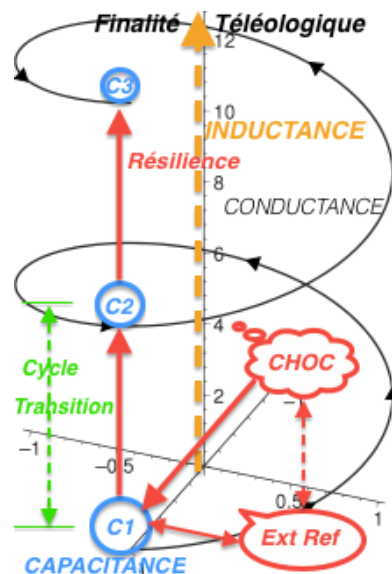


Figure 7 : Schématisation de l'effet inductif de la résilience. L'échelle verticale représente le déroulement du temps, le plan horizontal est une coupe temporelle du processus, C1-C2 sont deux étapes de l'évolution des états de la capacitance. Ce modèle propose une spirale comme élément cyclique de transition (phase de l'évolution) (Dumas et Woloszyn, 2012)

En tant que principe de « réamorçage » du système, le processus d'induction issu du rapport entre stock et flux va à nouveau implémenter la capacitance du système, c'est à dire son stock, sur un autre pilier du développement durable. Ce faisant, cette dernière a pour effet l'augmentation ou la diminution de ces stocks, eux-mêmes à l'origine de la modification des flux efférents, conformément à la logique de la boucle de rétroaction. Cette augmentation des stocks par effet induit peut être considéré comme un facteur significatif de la résilience, pour chacune des trois dimensions de la durabilité. L'objectif de durabilité dépend ainsi de la capacité de contribution de chacune de ces dimensions au reste du système, afin que la boucle de rétroaction puisse permettre une convergence sur tout le spectre éco-socio-environnemental et alimenter une perspective téléologique durable (ou pas...). La sortie en terme de modulation du système environnemental, qui se traduit par la valeur ajoutée économique, sociale, écologique, ou combinatoire du système, est alors considérée comme l'effet induit, le résultat de l'« inductance » des trois dimensions du développement durable. Lors du processus de circulation des flux, l'inductance supplémente donc la capacitance et la conductance en ce sens qu'elle prend en compte le pouvoir de transformation du système par l'effet même de son fonctionnement dans le temps. C'est précisément là que s'inscrit le changement de paradigme qui nous fait passer d'une théorie thermodynamique des systèmes mécaniques fermés à des systèmes vivants, comme les systèmes sociaux, par définition

ouverts. La rétroaction, clé de la régulation des systèmes fermés, est prise ici comme source d'évolution du système résilient (Dumas et Woloszyn, 2012).

En développant l'analogie entre les systèmes énergétiques et les systèmes de développement, ce modèle correspond à l'« extension d'un mode de signification circonstancié » selon Baudrillard (1972), plus spécifiquement à l'extension humanisée du domaine énergétique. Transposé sur des initiatives de France, de Colombie et de Roumanie aux échelles fédérale, nationale et locale, il a permis de repenser la notion d'identité en fonction du processus de résilience. Avec des pistes ouvertes sur la résilience des populations indiennes au Mercosur (Woloszyn et Hernandez, 2013), des effets de la sécheresse aux Etats-Unis (Woloszyn, 2012) ou sur l'étude territorialisée des modes de consommation (Girardot et al., 2013), la résilience territoriale peut être alors être conçue comme un processus hybride situé à l'intersection de plusieurs trajectoires dynamiques spatio-temporelles qui interfèrent entre elles. Ces trajectoires impliquent des temps de réalisation et des espaces d'expression très inégaux entre les référentiels sociaux, économiques et écologiques du développement durable, ce qui dimensionne la dynamique du processus de résilience sur des échelles spécifiques et intriquées.

### *Un cas d'école illustratif: la sécheresse historique de 2012 aux Etats Unis*

Ainsi, « Dans la trajectoire d'un système spatial, une perturbation joue un rôle de régulateur lors d'une phase de croissance régulière du système et permet d'éviter son entropie, son expansion indéfinie<sup>10</sup>. [...]. L'apparition de perturbations favorise le renouvellement du système » (Pierdet, dans : Reghezza-Zitt et Rufat, 2015, p.91). Une illustration de ce principe a vu le jour lors de la sécheresse la plus sévère depuis les années 50 ayant affecté les Etats-Unis lors de l'été 2012. Le département de l'agriculture américain (USDA) a déclaré que 55% des pâturages étaient atteints. Le 25 Juillet, une alerte de l'USDA spécifiait l'état de catastrophe naturelle pour 1369 comtés répartis dans 31 états (Figure 8).

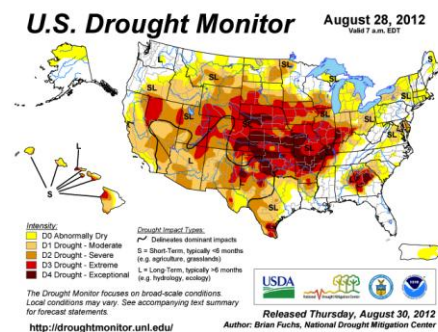


Figure 8: Monitoring de la sécheresse au Etats Unis (Reuters, July 20, 2012)

### *Effets induits de l'écologie (O) sur l'économie (E) : l'analyse temporelle*

Avec plus de 40% des terres agricoles américaines en condition de sécheresse exceptionnelle voire extrême, « Ces 4 dernières semaines, les prix du maïs et du soja ont bondi régulièrement à des niveaux de plus de 50% supérieurs à leur cours normal, du fait de l'impact

<sup>10</sup> Le sens donné ici à ma notion d'« entropie » par Céline Pierdet dans (Reghezza-Zitt et Rufat, 2015), diffère quelque peu de celui que lui nous donnons, en ce sens que nous considérons l'entropie dans sa dimension métrologique (mesure de la quantité d'information), et non dans sa dimension phénoménale.



de la sécheresse sur les stocks des producteurs » (Reuters, August 28, 2012). Cette envolée des prix des céréales est illustrée figure 9 :

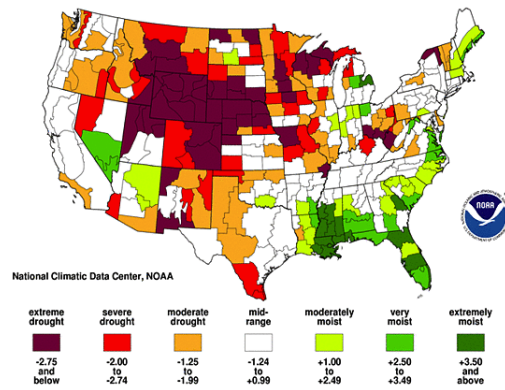


Figure 9 : « Palmer Z index » des cultures de maïs et de soja, Janvier-Août 2012, NOAA National Climatic Data Center (Reuters, August 28, 2012)

### Les boucles de rétroaction aux origines de la crise systémique

Cette destruction de la production de maïs dans une majorité d'états a eu pour conséquence une flambée des prix des autres céréales, avec d'autres impacts sur le prix de la nourriture notamment animale. En effet, la sécheresse a immédiatement impacté les prix agricoles, avec une augmentation de 26% du prix du maïs et de 41% du prix du blé sur le marché international. Ce sont des valeurs de la conductance économique du système (tableau 2).

Property (Entropy class)	Economical (Model E)	Social (Model S)	Ecological (Model O)
<b>Capacitance (Potential)</b>	Stocks decreasing Price Uncertainty	Governance failure	Climate stability/ change
<b>Conductance (Dissipative)</b>	<b>+26% for corn and +41% for wheat prices</b>	Hunger Line Poverty	US Severe Drought <b>40% of US agricultural land</b>
<b>Inductance (Kynetical)</b>	Market deregulation	Social risk perception	High temperatures Lack of water

Tableau 2: Les 3 composantes passives de l'événement climatique américain dans l'espace entropique du développement durable (Woloszyn, 2012).

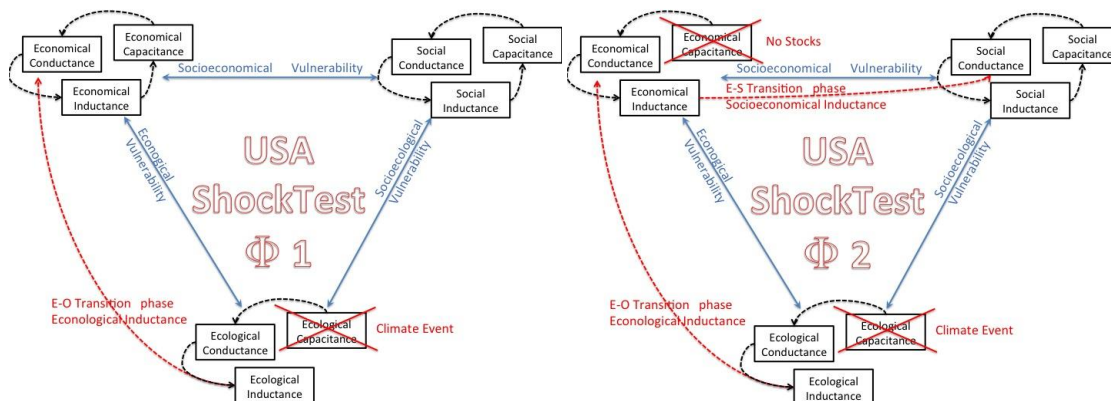


Figure 10 : Premiers effets induits des boucles de rétroaction du système : phase 1 E-O, « Environnemental-Economique » et phase 2 E-S « Economique-Social » (Woloszyn, 2012).

Visibles figure 10, ces premiers effets induits, « Environnemental-Economique », sont alors suivis d'autres effets, « Economique-Social », traduisant notamment la difficulté des agriculteurs et des éleveurs dans leur pratique productive, avant d'impacter toute la chaîne de production agroalimentaire, bouclant de ce fait l'épuisement des capacités sur tout le spectre du développement durable, avant de déboucher sur l'émergence d'une crise globale, comme illustré figure 11 :

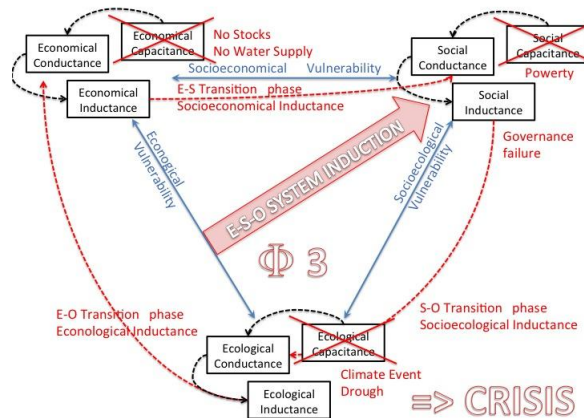


Figure 11 : Emballement du système et crise : phase 3, effet induit E-S, « Economique-Social » (Woloszyn, 2012)

Si les responsabilités de la planification des mesures contre les effets de la sécheresse relèvent essentiellement des niveaux locaux, au vu des risques systémiques encourus, le gouvernement fédéral a très rapidement réagi en proposant un plan d'assistance à la sécheresse.

### ***Une résilience face à la sécheresse ? Les réponses gouvernementales***

Lorsqu'une sécheresse est déclarée à l'échelle d'une localité ou d'une région, le secrétariat fédéral de l'agriculture déclenche une série d'alertes, de recommandations, voire de restrictions aux échelles locale, régionale ou nationale, selon la gravité de l'événement. Dans les cas extrêmes, une sécheresse exceptionnelle sur plusieurs années peut déclencher une réponse fédérale qui se traduit par un refinancement à long terme des régions affectées.

Le congrès américain se doit quant à lui d'évaluer comment les pratiques fédérales courantes pourraient être complétées par des actions de coordination, de préparation et de réponse aux événements climatiques imprévisibles et inévitables comme cette sécheresse de 2012. En publiant le National Drought Policy Act de 1998<sup>11</sup>, le congrès a de fait révélé un besoin croissant de mettre l'accent sur la gestion des risques, même imprévisibles, dus à la sécheresse (Leggett, 2012). Il a également rédigé des propositions concernant les effets indirects de la sécheresse, notamment par la mise en place d'un réseau de secours d'alimentation en eau pour les localités, les industries et l'agriculture (Folger and al., 2012). Le département fédéral de l'agriculture (USDA) a ensuite pris une série d'initiatives administratives, comme par exemple la réduction des taux d'intérêts pour les prêts d'urgence (de 3.75% à 2.25%), une réduction des

<sup>11</sup> The National Drought Policy Act of 1998, P.L. 105-199: National Integrated Drought Information System (NIDIS) Act of 1998 (P.L. 109-430).

frais de location des terres arables (de 25% à 10%), où l'achat d'animaux d'élevage ou de poisson afin de réduire les effets financiers de la sécheresse sur les éleveurs et les pêcheurs (Shields, 2012).

En augmentant principalement la capacitance économique du secteur de production agricole, le gouvernement fédéral tente ainsi de se donner les moyens d'assurer une résilience socio-économique par effet induit, destiné à augmenter la capacitance sociale, pour éviter les conséquences humaines et sociales dues à d'éventuelles insuffisances d'approvisionnement en aliments (Woloszyn, 2011).

Cependant, en ignorant les problématiques locales d'usage des terres dans la pratique agricole américaine, les approches fragmentaires du gouvernement fédéral ne se sont pas donné les moyens d'une préparation suffisante face à l'aléa climatique ; pire, les investissements, pourtant importants, dans la préparation de la sécheresse se sont soldés par une inefficacité notoire du point de vue de la continuité productive, que ce soit dans les domaines de l'agriculture ou de l'élevage. En effet, si cette action gouvernementale accroît le champ inductif des actions socioéconomiques (premier effet induit), cette réponse fédérale à court terme aurait dû être complétée à long terme par l'édiction de règles environnementales d'usage des terres, d'émissions de polluants, et globalement de protection environnementale, pour permettre une résilience socio-écologique sur tout le spectre du développement durable.

De fait, l'absence de l'engagement du gouvernement fédéral sur ces règles « à long terme » a eu pour conséquence principale de solliciter la sphère sociale qui, dans le but de résoudre les problèmes de production dus au changement climatique, agit de manière indépendante, voire « déconnectée » de l'administration (deuxième effet induit). Par la mise en place de systèmes d'entraide et de coopération, à savoir le transport de céréales ou de fourrage au gré à gré entre les exploitations épargnées et celles qui ont été touchées, jusqu'à la mise à disposition d'alimentations en eau par les administrations locales, cette participation à l'effort des fermiers américains révèle une dimension essentielle pour l'accroissement de la résilience éco-sociale à long terme révélant de fait un troisième effet induit de résilience à l'échelle locale (figure 12).

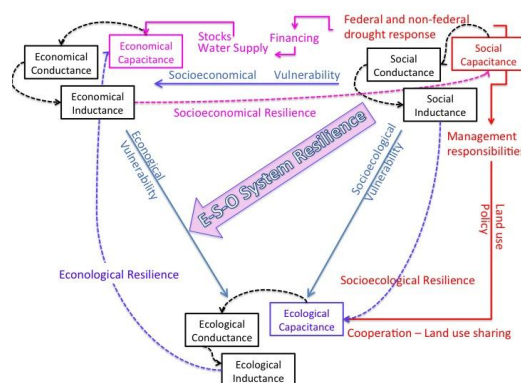


Figure 12 : Effets induits successifs du processus de résilience face à la sécheresse de 2012 (Woloszyn, 2012)

### ***Le mode d'action coopératif des territoires comme moteur de la résilience***

Dans le cas d'école que venons de présenter, l'évolution du capital social et culturel traduit de nouvelles formes de relations interdépendantes à travers la mise en place d'actions collaboratives et le partage des moyens de production. Au sein de cette expérience d'échange agricole multi-acteurs, la solidarité des fermiers, éleveurs, et tous ceux touchés par la

sécheresse constitue un « powertrade », un capital social, pour l'intelligence collaborative entre producteurs. En effet, à l'échelle de l'unité de production agricole, « Le capital social se réfère aux caractéristiques de l'organisation sociale, telles que la confiance, les normes et les réseaux, qui peuvent améliorer l'efficacité de la société en facilitant les actions coordonnées » (Putnam, 1993). En échangeant des services directement entre eux, les fermiers américains ont ainsi mis à profit leur capital social dans la pratique de leur résilience, en développant la responsabilité de la citoyenneté et les capacités de gestion collective dans les situations de crise, pour *in fine* augmenter leur capacitance économique et sociale face au choc qu'ils ont subi (figure 13).

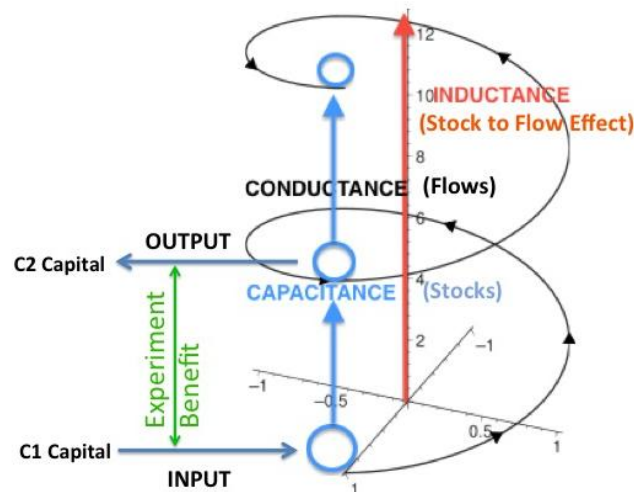


Figure 13 : L'évolution des capacitances économique et sociale comme bénéfice du processus inductif du système socio-écologique (Woloszyn et Faburel, 2013)

La réponse à la crise systémique de la production agricole telle que l'ont vécu les USA répond de fait à toutes les échelles de temps et d'espace, en considérant tant les problématiques locales d'usage des terres sur des échelles de temps courtes, que les niveaux plus globaux de moyens de production et de gestion territoriale de l'environnement.

### **Les temporalités critiques du système**

Lors de la manifestation de cet événement climatique, Bruce Williams, le directeur de la coopérative agricole de Phillipsburg au Kansas, a déclaré à propos des prix des céréales : « Since 31 years doing this business, I never saw such prices fluctuations »<sup>12</sup> (Reuters, August 28, 2012).

De fait, ce n'est pas tant le niveau brut atteint par les céréales qui a inquiété les producteurs, que leurs périodes de fluctuations, les prix étant passés d'une périodicité saisonnière « normale » (entre été et hiver, principalement) à une périodicité journalière, ce qui cause une instabilité du marché du fait de ces rapides variations de prix. Nous pouvons en déduire que le niveau d'entropie de tout le système E-S-O s'écroule du fait d'une imprédictibilité générale des prix, ce qui implique un risque réel de crise globale à partir du secteur de l'agro-alimentaire<sup>13</sup>.

<sup>12</sup> « Cela fait 31 ans que je fais ce métier, je n'ai jamais vu de telles fluctuations de prix ».

<sup>13</sup> Mathématiquement, un flux étant la dérivée d'un stock par rapport à la variable temps, les phases temporelles de fluctuation dans le domaine économique signent l'instabilité systémique causée par la modification des

Ce phénomène est visible figure 14, qui illustre la phase de transition temporelle entre l'événement climatique de la sécheresse aux Etats Unis et ses conséquences socio-économiques.

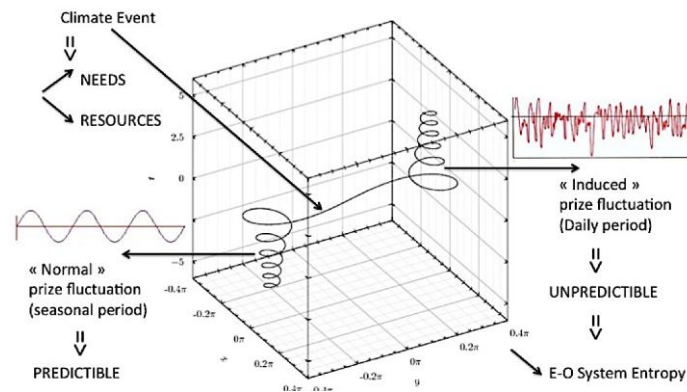
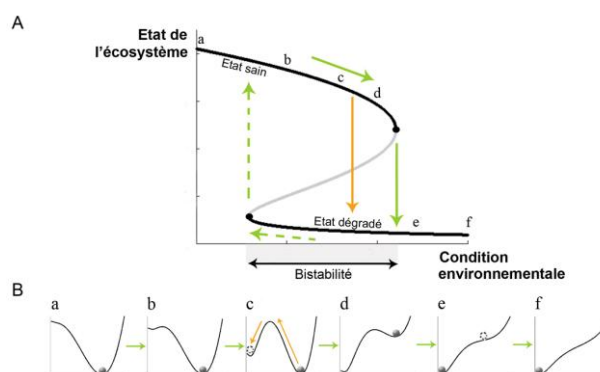


Figure 14 : Transition de la phase temporelle du système E-O par inversion de la boucle de rétroaction (Woloszyn, 2012)

### Des origines du régime temporel fluctuant du processus de résilience

Les travaux des écologues nous montrent que la réponse des écosystèmes à des changements de pression – et en particulier l'émergence de transitions catastrophiques – ont révélé que l'existence de boucles de rétroaction positives entre les organismes vivants et leur environnement abiotique était une cause majeure de réponses abruptes à l'échelle de l'écosystème. Ces boucles de rétroaction peuvent donc contribuer à la stabilisation de l'un ou de l'autre des deux états alternatifs stables d'un écosystème, en fonction du sens dans lequel elles sont activées. Comme constaté dans le cas d'école que nous venons de présenter, un changement de condition environnementale peut inverser le sens de la boucle de rétroaction et ainsi provoquer un basculement du système. Ces transformations brusques et inattendues, appelées « catastrophic shifts<sup>14</sup> » par Scheffer et al., (2001), sont modélisables par le principe panarchique du phénomène d'hystérésis, dont une description est proposée figure 15. Ce phénomène de rétroaction complexe fait basculer le système vers un autre état et, par conséquence, vers un autre mode de fonctionnement (Woloszyn et Quenault, 2013).



boucles de rétroaction « stock-flux » par effet d'induction. L'effet induit fait ainsi passer d'une boucle positive à une boucle négative du sous-système económico-environnemental. Cette inversion signe bien la crise qui a fait bifurquer le système.

<sup>14</sup> « Transitions catastrophiques »

*Figure 15 : Basculement d'état de l'environnement par phénomène d'hystérésis : Une transition catastrophique (« Catastrophic Shift ») se produit lorsqu'un écosystème change abruptement d'état. Certains écosystèmes restent inertes face à une augmentation de pression jusqu'à ce qu'une valeur seuil, aussi appelée « point critique », soit atteinte à partir de laquelle l'écosystème bascule de son état actuel à un autre (Scheffer & al., 2001)*

La question fondamentale est de comprendre comment, avant un éventuel basculement, un système adaptatif peut réguler ses évolutions à différentes échelles de temps et à différents niveaux hiérarchiques pour s'adapter aux contraintes de viabilité du système. Les rétroactions (feedbacks) fournissent *a posteriori* les paramètres de la structure des opérateurs destinés à assurer la stabilité du système et, parmi ceux-ci, ceux qui minimisent son entropie. Ainsi, le fonctionnement de l'organisation hiérarchique d'une dynamique de système évolue en « cascades inertielles », c'est à dire plus lentement pour les niveaux supérieurs de l'information en fonctions de « messages » émis par les niveaux inférieurs, plus rapides dans leur déroulement, conformément au principe de « panarchie »<sup>15</sup>.

La transposition multiéchelle des effets résiliants du système par effet de panarchie illustre bien l'interdépendance forte des niveaux de décision et d'action dans une période d'évolution rapide, encore appelée « fenêtre d'opportunité » dans la perspective évolutionnaire, qui fait alterner des « niveaux d'énergie », traduites par les transformations socio-éco-environnementales et les décisions afférentes des échelles locales aux échelles globales des territoires. Ainsi, la capacité de résilience d'un méta-système peut dépendre de la disparition de l'un ou de plusieurs de ses sous-systèmes défaillants, comme « Par exemple, le réseau de métro (méta-système) maintiendra son service malgré la non-reconstruction d'une station (sous-système) détruite par un attentat ou une inondation. » (Provitolo dans : Reghezza-Zitt et Rufat, 2015, p. 57).

Le principe de panarchie montre ainsi comment, observée à une échelle donnée, la résilience commencerait par décroître pour augmenter ensuite, et décroître à nouveau jusqu'à l'obtention d'un nouvel équilibre entre les contraintes de viabilité du système (état). Les phases de croissance, puis de conservation sont marquées par une évolution lente suivies d'une phase chaotique de changement brutal, qui très vite conduit à une phase de réorganisation, quand des innovations transforment le système. Ainsi, par les ajustements successifs entre les différents niveaux du système lors de la phase de régulation, la panarchie transforme les organisations hiérarchiques en structures dynamiques en attribuant des propriétés non-linéaires et multi-connectés aux différents éléments et sous-éléments du système à toutes les échelles, temporelles et spatiales.

Cette conception de la résilience répond à la fois au principe de fonctionnement par bouclage rétroactif entre stocks et flux, comme l'avais déjà énoncé Forrester (1980), au principe d'inertie des systèmes (Aubin, 2010), ainsi qu'au principe de panarchie (Gunderson et Holling, 2002) gouvernant l'émergence multiéchelle des formes de régularité temporelle (Saint Julien et al., 1989).

---

<sup>15</sup> La panarchie comme modèle de comportement de la résilience souligne comment les attributs-système sont influencés par les états et les dynamiques des sous-systèmes situés à des échelles supérieures ou inférieures en l'impactant soit directement (depuis la plus petite échelle) ou en changeant sa stabilité depuis l'échelle supérieure (Dauphiné et Provitolo, 2007).

## Vers une modélisation évolutionnaire du développement durable ?

Le cadre des systèmes évolutionnaires constitue en ce sens un paradigme de modélisation de la résilience des systèmes écologiques soumis à perturbations particulièrement fiable dans le temps, à défaut d'être prédictif. A l'instar du prix qui, en attribuant une valeur à chaque bien, permet de les comparer entre eux en constituant une sorte d'« étalon numéraire », les systèmes évolutionnaires considèrent le temps comme une sorte d'« étalon » de l'évolution, comparant une évolution de référence à l'évolution des autres variables. Les systèmes dits « déterministes » qui font correspondre une et une seule évolution à chaque état initial, sont souvent décrits par des équations différentielles ou des inclusions différentielles monotones. Dans notre cas, l'on s'attache à l'étude des systèmes non déterministes, qui associent à chaque état initial plusieurs évolutions de variables d'état, encore appelées « régulons » (Aubin, 2010)<sup>16</sup>.

« (...) Il nous semble [...] que les sciences sociales et biologiques (qui) fourmillent de systèmes évolutionnaires sont indéterministes produisant potentiellement à chaque instant de multiples évolutions, parmi lesquelles il s'agit de déceler une certaine régularité et de sélectionner un certain nombre de propriétés intéressantes. » (Aubin, 2002)

Ces évolutions sont définies comme des fonctions du temps, que ce temps soit discret (« étapes », les « variables d'état », représentées par des nombres entiers), continu (« instants », les « fenêtres d'opportunité », représentées par des nombres réels), ou un hybride des deux qui prennent en compte des « impulsions » (« Diracs »<sup>17</sup>, à l'origine des processus de régulation, ou « régulons »)<sup>18</sup>.

Comme la théorie de la viabilité concerne autant les problématiques écologiques, que biologiques, économiques, sociologiques, ou cognitives, les états correspondant respectivement aux phénotypes, aux biens économiques, aux comportements sociaux, ou aux états sensori-moteurs des individus. De même, Les états évoluent en fonction de régulons que sont par exemple les génotypes en biologie, les prix en économie, les codes culturels en sociologie et les concepts en sciences cognitives (tableau 3).

---

<sup>16</sup> Les systèmes évolutionnaires sont des systèmes réglementés où l'évolution de l'état du système est régie par une équation différentielle qui est paramétrée par l'évolution d'une variable. Un facteur, si cette variable est une constante, une commande (contrôle), s'il existe un acteur identifié conduisant l'évolution (linéaire) de cette variable, un « régulon », lorsqu'il y a complexité des interactions constituant les moteurs d'évolution de cette variable, un « tyché », qui veut dire « chance » en grec classique, lorsqu'il n'a aucune information disponible sur cette variable, (système aléatoire).

<sup>17</sup> Unités énergétiques infinitésimales mobilisant une énergie quasi-infinie sur une temps quasi-nul.

<sup>18</sup> Ces fonctions associent à chaque instant un élément d'un ensemble, qui peut être un espace vectoriel de dimension finie (formé de vecteurs décrits par un nombre fini de composantes), ou infinie, traduisant un espace de fonctions de variables spatiales, ou de fonctions décrivant l'histoire passée d'évolutions, ou un espace de formes dans le cadre morphologique. Il convient dès lors d'appeler « espace d'états » un tel espace dans lequel vont évoluer les « variables d'état ».

Domaine	Etat	Régulon	Viabilité	Acteurs
Economie	biens physiques	biens fiduciaires	rareté	agents économiques
génétique	phénotype	génotype	viabilité	métabolisme biochimiques
sociologie	humeurs des individus	codes culturels	sociabilité	individus
cogni-sciences	état sensori-moteur	codes conceptuels	adaptabilité	organismes

*Tableau 3 : Les concepts d'état, de régulon, de viabilité dans les domaines de l'économie, de la génétique, de la sociologie et de la cognition (Aubin, 1991)*

La modélisation et la résolution de ces systèmes ne se cantonnent alors pas à une approche bien définie, mais intègrent plusieurs sous-problèmes combinant la complexité liée à la nature combinatoire des contraintes et à la nature dynamique du système. La résilience peut alors être ici comprise comme une forme de « facteur d'amortissement », variable principale de la fonction de transfert qui fait passer le système d'un état à un autre, et qui détermine à la fois l'intensité et la durée du train de fluctuations qui l'affecte lors d'une phase de transition, le régulon<sup>19</sup>. Ce facteur est déterminé par la « densité de probabilité » de réalisation des événements nécessaires à la convergence dimensionnelle du système de durabilité projeté, dont l'intégration temporelle est approchée par le niveau d'entropie.

La convergence des objectifs du développement durable, intégrant non seulement les objectifs, mais aussi des contraintes de « durées différentielles » économiques, sociales et écologiques, peut ainsi aider à définir des politiques d'actions durables en fournissant des solutions respectant un espace de décision multicontraint prenant en compte les comportements asymptotiques et transitoires spécifiques aux systèmes d'interaction, qu'ils soient environnementaux ou décisionnels. Ce formalisme permet ainsi de se concentrer sur la définition des contraintes, à savoir les états désirables, en proposant des politiques d'actions et des stratégies pour la gestion environnementale.

La résilience peut alors être pensée comme un processus hybride situé à l'intersection de plusieurs trajectoires dynamiques spatio-temporelles des systèmes et sous-systèmes qui interfèrent entre elles. Ces trajectoires coexistent dans le cycle cybernétique de l'inférence communicationnelle, formalisées par la signature temporelle d'un régulon, qui signe la temporalité de la transition d'un état à un autre.

### ***Modes de décision : les temporalités de l'inférence communicationnelle***

Dans le but de comprendre l'impact des spécificités temporelles de l'apprentissage sur le processus de décision, nous considérons ce dernier comme un mécanisme d'inférence formulant des hypothèses à comparer de proche en proche avec la perception de l'environnement : c'est ce que l'on appelle l'« intériorisation comportementale ».

Utilisées dans les systèmes d'intelligence artificielle, les règles d'inférence communicationnelle déterminent l'évolution du système cognitif de l'apprenant par

---

<sup>19</sup> Les régulons décrivent l'ensemble des régularités du système, permanences temporelles ou invariances d'état, qui évoluent dans le temps. Ils constituent en quelque sorte une signature des comportements émergents des systèmes incriminés, au sens de leur régularité d'occurrence temporelle, dont le niveau d'entropie est une mesure.



l'adaptation permanente de son système sensori-moteur à son contexte : c'est ainsi que les lois d'action et de perception de l'acteur sont adaptées en permanence à son environnement, par des sauts successifs, constitutives des boucles de rétroaction (« Feedbacks ») entre perception et action. En effet, lors du processus adaptatif de l'apprentissage, les mécanismes de sélection recodent les sous-ensembles précodés, c'est à dire « déjà appris » (l'« empreinte mnésique ») en archétypes d'ordre supérieurs, en intégrant ou en éliminant les archétypes antérieurs de manière à aboutir à une accumulation de régulons que l'on peut assimiler à des savoirs qui codent les comportements de l'apprenant dans sa correspondance vicariante<sup>20</sup>. Cette accumulation « fluctuante » constitue la signature du régulon représentatif des états réciproques entre interaction environnementale et acquisition des connaissances à un moment M.

L'acte de décision infère l'état présent sur l'estimation de la modification future de cet état<sup>21</sup> : le système régulé prescrit ainsi une « correspondance de régulation », qui modélise la « règle d'apprentissage adaptatif » en opérant une construction symbolique à partir des observations de l'environnement. Cette correspondance met alors en relation les actions décidées avec les constats environnementaux, constituant de fait la boucle de rétroaction entre les processus d'abstraction et de réification de l'information en jeu dans le processus d'apprentissage, que nous pouvons constater figure 16. Cette boucle de rétroaction est responsable de ce comportement temporel caractéristique du régulon cognitif qui signe la temporalité du processus d'apprentissage.

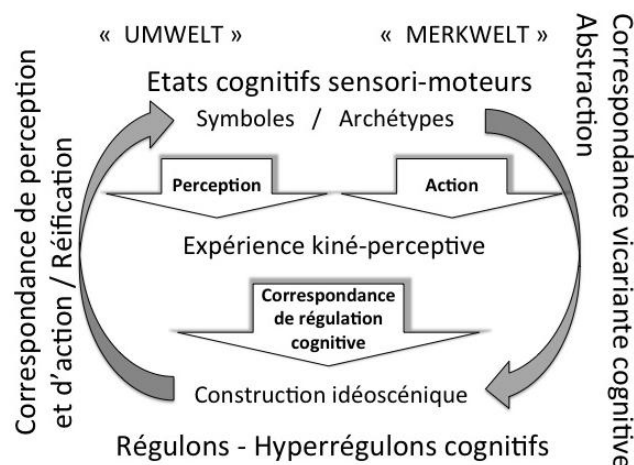


Figure 16 : Boucle de rétroaction de la correspondance vicariante (Woloszyn, 2014)

L'inférence communicationnelle à l'œuvre dans les processus d'apprentissage se traduit ainsi par une phase temporelle de forte instabilité marqué par des fluctuations importantes sur des temporalités annuelles de l'acquisition des connaissances<sup>22</sup> (figure 17), le système d'inférence se stabilise alors progressivement dans le temps, et son signal, caractéristique du régulon cognitif, donne à lire le processus de consolidation de l'information chez l'apprenant,

<sup>20</sup> La correspondance vicariante intériorise les comportements en associant à tout état sensori-moteur un « régulon cognitif », par le processus d'abstraction des états sensori-moteurs qui permet l'identification d'un même objet ou d'une même situation à l'aide de perceptions sensorielles distinctes (Aubin, 1991).

<sup>21</sup> Mathématiquement, cette double préoccupation relève des problématiques combinatoires tout en étant régie par un système dynamique que l'on peut définir par des équations différentielles.

<sup>22</sup> Réalisée par le Centre de recherche en éducation, apprentissage et didactique de l'université Rennes 2 et le laboratoire Laplace de l'université Toulouse 3 sur 500 élèves ingénieurs, l'enquête qui a produit ces résultats visait la mesure des perceptions des compétences attendues par le référentiel de formation des ingénieurs, en mobilisant pour cela une méthodologie quantitative par questionnaire. (Albero et Safourcade, 2014)

jusqu'au niveau final d'acquisition des compétences en fin de cursus, ce qui correspond à une asymptote de « stabilisation » sur l'axe des temps, l'état final du processus d'inférence.

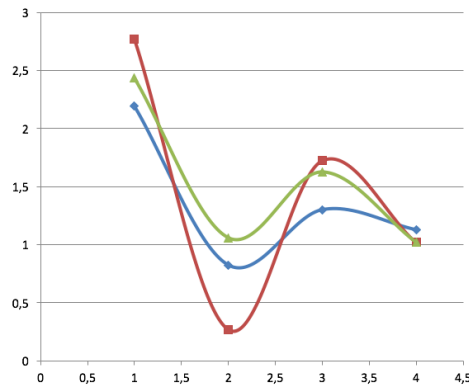


Figure 17 : Modes temporels de l'inférence communicationnelle : régulateurs d'un système d'acquisition des connaissances pour différents types de cursus sur cinq ans (Wolozyn et Safourcade, 2016)

Cette signature fonctionnelle de type «  $\sin x/x$  », présente donc une décroissance des fluctuations dans le temps, qui traduit en termes mécaniques une phase d'amortissement du système par la synchronisation des sous-systèmes efférents. Cette signature temporelle de la dynamique du processus d'apprentissage, mesurée par le niveau d'entropie compris comme la quantité d'information immédiatement disponible, nous permet de décrire la fonction adaptative temporelle dont l'asymptote correspond à l'intégration des connaissances, et donc à la réification de l'information qui amène à la prise de décision.

Dans le cadre ontologique des modes de prises de décisions, il convient donc de discerner plusieurs étapes : la description précise du contexte initial (le contexte environnemental en l'occurrence) et des contraintes du problème (liées par exemple à la gestion et à la disponibilité des ressources nécessaire à l'affrontement d'une crise) qui définissent les variables évolutionnaires de référence, la description de la dynamique et des états du système, ou l'« empreinte mnésique », mémoire temporelle des interactions, et enfin le sens téléologique du système, l'objectif final de la prise de décision (en général, la résolution de la crise).

En approchant un problème posé en temps continu par des problématiques posées en temps discret, nous considérons le temps comme codage des phénomènes d'interaction entre l'homme et son environnement, qui, appliqués aux interactions dimensionnelles du développement durable, et aux comportements d'apprentissage à l'origine des processus de décision, répondent au *principe d'inertie* de la résilience au sein des systèmes évolutionnaires en général, et des systèmes éco-socio-environnementaux en particulier. La dynamique du système de durabilité, est ainsi fonction des différences temporelles de réalisation des objectifs de durabilité, en termes de parcours (valeur scalaire), de vitesse (dérivée première) et d'accélération (dérivée seconde). C'est cette formulation évolutionnaire de la résilience du système, son « facteur d'amortissement » qui définira la forme que prendra le processus de transition résilient en fonction de l'intensité de l'interaction environnementale et de la capacité de résilience du système.

## Conclusion

Par l'hybridation entre conception panarchique des systèmes ouverts et dynamique temporelle

des modes de prise de décision, la construction de ce modèle démontre comment les théories de la complexité, notamment celle de l'auto-organisation critique et des systèmes évolutionnaires, permettent de mieux comprendre les relations entre vulnérabilité, chocs systémiques et résilience. Le recours à l'approche systémique pour analyser les trajectoires territoriales permet d'opérer un déplacement épistémologique en pensant la résilience comme un processus complexe du fait des échelles imbriquées de son déroulement temporel.

L'exemple de la réponse à la sécheresse de 2012 aux Etats-Unis nous éclaire sur le changement d'état d'un système en crise aux différentes échelles de sa manifestation. En imaginant des solutions de protection de l'environnement à court, moyen et long terme, partagées entre gouvernements, associations et citoyens, la réaction à cet événement a démontré qu'il est durablement possible de réduire la vulnérabilité des populations aux événements perturbateurs, à la fois en réduisant l'incertitude et en accroissant leur résilience. Dans ces conditions, la résilience à l'échelle communautaire peut apparaître comme une condition majeure d'adaptation aux effets adverses des crises environnementales, à l'échelle des écosystèmes, mais également des espaces de peuplement humains, analysés comme des systèmes socio-écologiques complexes dans leur évolution.

L'objectif du modèle de convergence du développement durable présenté ici consiste donc à gérer des systèmes de valeurs pouvant connaître un grand nombre solutions *a priori* incompatibles. La contrainte première de cette formalisation correspond à la capacité des processus de conductance du système qui convertissent les stocks socio-éco-environnementaux en boucles de rétroaction positives. Après une interrogation sur ces objectifs poursuivis par les acteurs concernés en définissant un sens commun de la notion de « futur désirable », nous pouvons les traduire en « zones de viabilité » des stratégies d'action par la mobilisation de l'inférence communicationnelle à l'origine du processus inductif de décision/action en œuvre dans la résilience du système. Le calage du modèle s'effectue alors par l'observation empirique, l'écoute des acteurs, l'analyse de discours et le relevé de pratiques à toutes les échelles territoriales. En identifiant la temporalité des modes de décision et d'action des politiques environnementales actionnant les processus résiliants, nous sommes en mesure de produire des modélisations sectorielles de scénarios aboutissant à des trajectoires de viabilité qui répondent aux contraintes de durabilité territoriale.

## **Remerciements**

Je tiens à remercier tous les membres du réseau d'intelligence territoriale (GdRI INTI « International Network of Territorial Intelligence »), et plus particulièrement Jean-Jacques Girardot, pour m'avoir accompagné sur les chemins complexes de la résilience.

## **Note biographique**

Philippe Woloszyn travaille sur la perception et le développement durable. Lauréat de la médaille de bronze du CNRS, il est responsable de l'axe «Vulnérabilité » du GdRI INTI « International Network of Territorial Intelligence ».

## Bibliographie

- Albero, B., & Safourcade, S. (2014). Compétences et formation à distance: des prescriptions du dispositif aux attitudes des étudiants. Enquête exploratoire en école d'ingénieur. *Distances et médiations des savoirs. Distance and Mediation of Knowledge*, 2(6).
- Aubin J-P. (2010). La mort du devin, l'émergence du démiurge. Essai sur la contingence, la viabilité et l'inertie des systèmes, Beauchesne Paris, 896 p. ISBN : 2-7010-1504-9
- Aubin, J-P. (2002). Systèmes évolutionnaires : Déterminisme et Chaos, 6p.
- Aubin J-P. (1991). Viability Theory. Birkhäuser, 1991.
- Bateson, G., Winkin, Y., Bansard, D., Cardoen, A., & Birdwhistell, R. (1984). *La nouvelle communication*. Ed. du Seuil.
- Baudrillard, J. (1972). *Pour une critique de l'économie politique du signe* (Vol. 270). Paris: Gallimard.
- Beucher, S. (2007). Le risque d'inondation dans le Val-de-Marne: une territorialisation impossible?. In *Annales de géographie* (No. 5, pp. 470-492). Armand Colin.
- Birkmann, J. (2006). Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: Conceptual frameworks and definitions. *Measuring vulnerability to natural hazards: Towards disaster resilient societies, 1*, 7-54.
- Bourdieu, P. (2006). 1. Le capital social. Notes provisoires. In *Le capital social* (pp. 29-34). La Découverte.
- Bozzano, H. (2014, May). La résilience territoriale face au changement climatique: l'exemple de La Plata. In " *Vers une intelligence durable des territoires: les échelles de la résilience*", Roscoff, May 22th-23th 2014.
- Coleman, J. S. (1994). Social capital, human capital, and investment in youth. *Youth unemployment and society*, 34.
- Cooper, W. M., (1991) "Behold a pale horse", Light Technology Publishing, 1991.
- Cyrułnik, B. (2010). Resilience (pp. 207-216). ERES.
- Dauphiné, A., Provitolo, D. (2007). La résilience: un concept pour la gestion des risques. In *Annales de géographie* (No. 2, pp. 115-125). Armand Colin.
- Dumas P., Woloszyn P. (2012) : Modèle participatif d'évaluation de la résilience, in: École d'été en intelligence territoriale, GDRI INTI Groupe de Recherche International International Network of Territorial Intelligence, Université Paris-Est Marne-la-Vallée.
- Faucheux, S., O'Connor, M. (1999). Un concept controversé: le capital naturel. *Cahier du C3ED*, (99-01), 49.
- Folger, P., Cody, B. A., & Carter, N. T. (2013). *Drought in the United States: causes and issues for congress*. BiblioGov.
- Folke, C., Carpenter, S., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C. S., & Walker, B. (2002). Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations. *AMBIO: A journal of the human environment*, 31(5), 437-440.
- Forrester, J. W. (1980). Information sources for modeling the national economy. *Journal of the American Statistical Association*, 75(371), 555-566.

Fukuyama, F. (1995). *Trust: The social virtues and the creation of prosperity* (No. D10 301 c. 1/c. 2). Free Press Paperbacks.

Galibert O., (dir.) (2015). Territoires urbains en transition - Un quartier populaire en résilience socio-écologique, Editions Universitaires de Dijon, Dijon, pp. 9-18. ISBN 978-2-36441-156-2

Galibert O., Woloszyn P. (2015). Vers une résilience consumériste dans le quartier populaire de la Fontaine d'Ouche? In : Territoires urbains en transition - Un quartier populaire en résilience socio-écologique, Editions Universitaires de Dijon, Dijon, pp. 9-18. ISBN 978-2-36441-156-2. <http://reseau-transition.fr/territoires-urbains-en-transition/>

Girardot J.J., Ormaux, S., Woloszyn, P. (2013) "Résultats de l'analyse qualitative sur les modes de consommation", International Conference of Territorial Intelligence "Territorial Intelligence, Socio-Ecological Transition and Resilience of the Territories". 30-31 May 2013, Besançon-Dijon : France

Girardot J-J., (2012, May). New directions of territorial intelligence : Socio-ecological transition and resilience of the territories. Caserta, Juin 2012

Gunderson, L. H., & Holling, C. S. (2002). Panarchy: understanding transformations in systems of humans and nature. *Island, Washington*.

Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual review of ecology and systematics*, 4, 1-23.

Hopkins, R. (2008). *The transition handbook: from oil dependency to local resilience*. Chelsea Green Publishing.

Hopkins, R. (2008). *The transition handbook: from oil dependency to local resilience* (p. 17). Totnes: Green books.

Jackson, T., & Senker, P. (2011). Prosperity without growth: Economics for a finite planet. *Energy & Environment*, 22(7), 1013-1016.

Janicke, M., Month, H., Ranneberg, T. and U. Simonis (1998). *Economic Structure and Environmental Impact: Empirical Evidence on Thirty-One Countries in East and West*, Berlin: Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung gGmbH (WZB).

Koninckx, G., & Teneau, G. (2010). *Résilience organisationnelle: rebondir face aux turbulences*. De Boeck Supérieur.

Kovach, D. (2014). *The Computational Theory of Intelligence: Information Entropy*. *arXiv preprint arXiv:1412.7978*.

Lallau B.,(2009). *La résilience, moyen et fin d'un développement durable ?*

Leggett J. A. (2012) CRS Report RL34266, *Climate Change: Science Highlights*, and CRS Report R41973, *Climate Change: Conceptual Approaches and Policy Tools*.

Lugan, J. C. (2009). *La systémique sociale: Que sais-je? n° 2738*. Presses universitaires de France.

Mihura, E. R. (2012). *Ambiente, Sociedad y Desarrollo: Estrategias de Desarrollo Sustentable. Foro Latinoamericano de Desarrollo Sostenible, Rosario: Hacia Río, 20*.

Pearce, D. W., Barbier, E. B., & Markandya, A. (1988). Sustainable development and cost benefit analysis. *International Institute for Environment and Development*.

Prigogine, I., (1997) *Les lois du chaos*, Flammarion, Champs, Paris, 126p.

- Prigogine, I., & Stengers, I. (1996). *La fin des certitudes: temps, chaos et les lois de la nature*. Odile Jacob.
- Putnam, R. D. (1995). Tuning in, tuning out: The strange disappearance of social capital in America. *PS: Political science & politics*, 28(04), 664-683.
- Quenault, B. (2014, May). La résilience territoriale comme nouvelle heuristique de l'adaptation face aux menaces: de l'adaptation au risque à l'adaptation à la crise. In " *Vers une intelligence durable des territoires: les échelles de la résilience*", Roscoff, May 22th-23th 2014.
- Quenault, B. (2013). Du double affrontement ontologique/axiologique autour de la résilience aux risques de catastrophe: les spécificités de l'approche française. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 13(3).
- Rees W. E. (2003) Economic Development and Environmental Protection : an Ecological Economics perspective, in : Environmental Monitoring and Assessment 86 : 29-45, Kluwer Academic Pub. Netherlands
- Reghezza-Zitt, M., & Rufat, S. (2015). *Résilience: sociétés et territoires face à l'incertitude, aux risques et aux catastrophes*. ISTE éd.
- Reghezza-Zitt, M., Rufat, S., Djament-Tran, G., Le Blanc, A., & Lhomme, S. (2012). What resilience is not: uses and abuses. *Cybergeo: European Journal of Geography*.
- Rupasingha, A., & Goetz, S. J. (2007). Social and political forces as determinants of poverty: A spatial analysis. *The Journal of Socio-Economics*, 36(4), 650-671.
- Saint-Julien, T., Sanders, L., Pumain, D., et Prigogine, I. P. (1989). *Villes et auto-organisation*. Economica.
- Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J. A., Folke, C., & Walker, B. (2001). Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, 413(6856), 591-596.
- Shannon C.E., Weaver W. "The mathematical theory of information Urbana", University of Illinois Press, 1949.
- Shields D. A. (2012), CRS Report RS21212, Agricultural Disaster Assistance.
- Tisseron, S. (2009). *La résilience*. Presses universitaires de France.
- Walker, B., Holling, C.S., Carpenter, S.R., et Kinzig, A., 2004. Resilience, adaptability and transformability in socio-ecological systems. *Ecology and Society*, vol. 9, n°2, art.5.
- Watzlawick, P., Beavin, J. H., Jackson, D. D., & Morche, J. (1972). *Une logique de la communication*.
- Wiener, N. (1948). *Cybernetics: Control and communication in the animal and the machine* (p. 194). New York: Wiley.
- Wissner-Gross, A. D., & Freer, C. E. (2013). Causal entropic forces. *Physical review letters*, 110(16), 168702.
- Woloszyn, P., Safourcade, S., (2016) Compéplexes, une tentative de modélisation temporelle du système d'interactions dans le processus d'apprentissage : l'évolution de la perception des compétences d'élèves ingénieurs. En cours de publication.
- Woloszyn, P., (2016) Faire mentir Proudhon ? La propriété privée comme antonyme de l'économie spatiale collaborative, In : *Économie sociale et solidaire dans les territoires*.

*Initiatives, enjeux et perspectives*, XVe Conférence Annuelle Internationale du Réseau International d'Intelligence Territoriale INTI, Liège, Belgique.

Woloszyn, P. (2014). Les hyperpaysages urbains: une approche géographique, sociolangagière et communicationnelle de l'espace sonore urbain, Diasporisations sociolinguistiques et précarité(s) spatiales et langagière(s), L'Harmattan, coll. Espaces Discursifs, Paris, 187p.

Woloszyn P. (2014) Economic Social and Organic, le modèle inductif de la vulnérabilité, in : Cahiers d'Administration, Coll. Territoires pour demain. Supplément au N° 244: L'intelligence territoriale, 25 ans déjà! Paris, pp. 60-63

Woloszyn P., (2013) : « Inductive E.S.O. Model Evolution 1 – Towards a Viable Inference Model of Resilience Dynamics », Colloque Intelligence Territoriale "Social Innovation and new ways of governance for the socio-ecological transition", Huelva, 2013

Woloszyn, P., Faburel, G. (2013, May). Les savoirs habitants: un processus de résilience proactive au service de la justice environnementale en situation de crise?. In *International Conference of Territorial Intelligence "Territorial Intelligence, Socio-Ecological Transition and Resilience of the Territories"*. 30-31 May 2013.

Woloszyn, P., Hernandez, Y., (2013): Vulnerability and resilience in risk scenarios, in: International Conference of Territorial Intelligence "Territorial Intelligence, Socio-Ecological Transition and Resilience of the Territories". 30-31 May 2013, Besançon-Dijon : France (2013) <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00827054>

Woloszyn, P., Quenault, B., (2013) : Vulnérabilité territoriale et résiliences : résistances et capacités adaptatives face aux aléas climatiques, in: International Conference of Territorial Intelligence "Territorial Intelligence, Socio-Ecological Transition and Resilience of the Territories". 30-31 May 2013, Besançon-Dijon

Woloszyn, P. (2012) "Territorial intelligence of vulnerability systems 2- Sustainable Modelling of Globalization Challenge", in: International Conference La Plata 2012 "INTELIGENCIA TERRITORIAL Y GLOBALIZACIÓN" 17 al 20 de octubre 2012. <https://hal-agrocampus-ouest.archives-ouvertes.fr/halshs-00941151/>

Woloszyn, P., Quenault, B., Faburel, F. (2012) "Territorial intelligence of vulnerability systems - A transitional viewpoint of sustainable development", in: "Vulnerabilities and Resilience between Local and Global", International Seminar, Salerno 4 - 7 June 2012.

Woloszyn, P., (2011). "Platos poor city and rich city: Towards an inequality multidimensional evaluation", 10th International Conference of Territorial Intelligence "Sustainable economics within the new culture of development", Val-Saint-Lambert, Liège, Belgium, 2011.

Woloszyn P., Faburel G. (2010), Towards an interaction evaluation between dimensions and objectives of sustainable development at territorial levels, Rencontres Grand Ouest de l'Intelligence Territoriale IT-GO 2010, 24-26 Mars, Nantes-Rennes.