

Séminaire Banque de France ACPR 26 janvier 2015

Quels apports des régulations écosystémiques à l'analyse des systèmes financiers ?

Dominique Dron, Ingénieure générale des Mines¹

Résumé

L'article énonce les bases d'une analyse interdisciplinaire dont le propos est d'étudier dans quelle mesure les enseignements des systèmes écologiques (ou écosystèmes²) naturels, peuvent avoir une certaine portée en termes d'analyse des systèmes financiers et de leur régulation.

Les systèmes complexes regroupent aussi bien les systèmes financiers que les écosystèmes, les systèmes d'information ou les systèmes énergétiques. L'analyse des systèmes écologiques naturels permet d'identifier les conditions de leur résilience et, a contrario, les facteurs et processus à l'origine de leurs crises. Qui dit recherche de résilience dit recherche d'une durée de fonctionnement de moyen à très long terme.

Des travaux récents, notamment en théorie de l'information, montrent que les écosystèmes présentent des sources structurelles de résilience. De façon plus globale, quatre principes peuvent être identifiés : l'existence de rétroactions gérant un maintien dans des limites physiques soutenables, une plasticité des relations et des flux liée à une connectivité suffisante mais sans substituabilité généralisée, une diversité importante des types d'acteurs, des cycles bouclés de matière et d'énergie permettant d'entretenir les stocks vitaux.

L'existence-même des écosystèmes, parce qu'ils sont longévifs en l'absence de perturbation extérieure forte, montre que ces principes fonctionnent. C'est pourquoi ils sont susceptibles de fournir des objectifs en matière de principes de régulation de systèmes complexes en tant que systèmes, d'autant plus que le fonctionnement de tout système complexe, une fois compris, peut se modéliser au moins partiellement en termes mathématiques, tels ceux proposés par la théorie de l'information. Face à cette stabilité ou cette résilience interne des écosystèmes naturels, les dérèglements prennent en général leur origine dans des causes externes (pollution, surexploitation, espèces invasives introduites par l'activité humaine, etc).

Dans les systèmes financiers, au contraire, ces sources de résilience s'avèrent absentes ou fortement lacunaires. En outre, il n'existe plus de véritables rétroactions vers le système financier provenant des sur-systèmes économique, sociétal et environnemental. Au bilan, le fonctionnement des financystèmes est loin du compromis résilience/efficacité des écosystèmes, et leur évolution spontanée continue de les en éloigner.

¹ L'auteur s'exprime à titre personnel.

² Ecosystème : ensemble d'êtres vivants (ou biosphère) dans leur environnement physico-chimique (ou biotope). Un écosystème naturel peut se définir, selon Luc Abbadie, directeur de l'Institut de l'Ecologie et des Sciences de l'Environnement de Paris (CNRS, Ecole Normale Supérieure), comme un « système écologique en autopilotage spontané », par opposition aux systèmes anthropisés où l'influence humaine est déterminante.

Il paraît néanmoins possible de proposer des pistes de travail pour identifier des principes de réglementation des systèmes financiers analogues aux principes de résilience des écosystèmes : maîtrise des quantités et volatilités excessives, rationalisation de la substituabilité, accroissement de la diversité des acteurs, outils et critères, ré-articulation avec les autres systèmes notamment par les taux d'intérêt et d'actualisation... L'Histoire et l'épistémologie peuvent aussi éclairer ces réflexions et présenter des exemples. Cette ré-articulation pourrait contribuer à la soutenabilité de l'ensemble des systèmes.

Mots-clefs : dynamique des systèmes – soutenabilité – écosystèmes – régulation financière - résilience

Quels apports des régulations écosystémiques à l'analyse des systèmes financiers ?

Introduction

Les systèmes complexes, quelle que soit leur nature, ont des modes de vulnérabilité multiples. La résilience du système financier a été régulièrement, et encore davantage après l'explosion du système des sub-primes, un sujet de préoccupation aigu. De 1970 à 2010, le FMI a décompté 208 crises financières, 145 crises bancaires et 72 crises de dette souveraine (soit 10 pays affectés en moyenne par an), et au moins 48 crises majeures de 1637 (les tulipes hollandaises) à 1929. La question d'un défaut structurel plutôt que conjoncturel du système financier se pose de plus en plus. Il peut donc être utile de prendre du recul.

Or, un autre type de systèmes complexes, les écosystèmes naturels³, ont développé et sélectionné sur un temps très long des principes de régulations assez efficaces pour résister ou se restaurer vis-à-vis de nombreux types de chocs, d'origine physique, chimique ou biologique. Ils ont prouvé l'efficacité de ces régulations par leur longévité jusqu'au siècle dernier, où des facteurs exogènes essentiellement humains sont devenus dans la plupart des domaines les causes dominantes de transformation des différents écosystèmes, affectant aussi bien le climat et les espèces vivantes que les habitats, les sols ou les océans.

L'observation des régulations écosystémiques pourrait donc sans doute enrichir les considérations actuelles sur les conditions de résilience des systèmes financiers, appelés ici par symétrie « financystèmes ». Des pistes récentes, qui associent la théorie de l'information, l'analyse des réseaux pondérés, l'observation des écosystèmes et l'histoire des sociétés, semblent ouvrir le champ théorique et pratique de la réflexion. En retour, on pourrait ensuite se demander si les pistes ainsi suggérées en termes de régulation, en vue d'une résilience de moyen à long terme, des financystèmes (pour lesquels le facteur humain est interne), pourraient avoir une pertinence en termes de régulation d'usage et de préservation des écosystèmes naturels⁴ (pour lesquels le facteur humain est externe), pour autant que ces pistes soient susceptibles d'en améliorer la résilience (ex : gestion des espèces invasives, lutte contre l'appauvrissement de la diversité biologique etc.). En effet, si le PNUE et le G20 commencent à se préoccuper de l'impact du dérèglement climatique sur la

³ Cf. nbp précédente

⁴ Les accords de Bâle en 1988 associant tous les pays ayant des banques actives au niveau international est le premier exemple d'accord mondial permettant de contrôler les externalités liées aux politiques prudentielles. Concernant la préservation des écosystèmes, il existe depuis plus d'un siècle de nombreuses conventions internationales portant sur divers aspects (Convention Biodiversité, Convention CITES contre le trafic d'espèces sauvages, Convention sur les aires marines protégées, Convention sur l'Antarctique, la Mer du Nord, la pêche etc...).

stabilité du système financier⁵, à rebours, les impacts de ce dernier sur la résilience des autres systèmes deviennent un sujet crucial⁶.

Plusieurs champs de connaissance seront par conséquent impliqués dans cet article, qui invite à des aller-retours entre ces champs pour déplacer un peu le regard.

⁵ Par exemple : <http://sustainability.thomsonreuters.com/2014/11/11/executive-perspective-g20-greening-global-finance/>

⁶ Par exemple : Inquiry : Design of a financial sustainable system, UNEP 2014

A-Ecosystèmes et financystèmes : les fondements d'un parallélisme

1- Les modélisations en réseaux de flux

Les systèmes écologiques, les systèmes financiers, les systèmes informationnels, les systèmes électriques... sont des systèmes dits complexes. Ils sont composés d'acteurs en interdépendance constamment évolutive, animés de relations de coopération et de concurrence sur base de flux, d'échanges et de stocks, avec des critères comportementaux propres à chaque acteur. Ils sont soumis à des perturbations plus ou moins violentes, d'origine interne ou externe, et présentent des modes de vulnérabilité multiples.

L'immense diversité du vivant rend les tentatives de modélisation *a priori* délicates : elles sont donc fondées sur et corroborées par l'observation *in situ*, et depuis tout récemment en vastes installations d'expérimentation, les Ecotrons⁷. Les premiers essais de description dynamique des comportements des écosystèmes remontent à plusieurs décennies. **Figure 1** Ils se présentent comme des réseaux aux maillons fortement interdépendants, dans lesquels circule l'énergie contenue dans la matière vivante, au long des chaînes trophiques⁸ allant des proies, végétales ou animales, aux consommateurs successifs, puis aux détritivores et aux sols. Dans une vision thermodynamique, cette énergie est utilisée à chaque étape avec une efficacité plus ou moins élevée (rendement nutritionnel). Des centaines d'observations quantifiées *in situ*, faites à différentes périodes de l'année, ont permis de décrire et chiffrer les relations entre espèces en unités énergétiques⁹. Chaque espèce est caractérisée par son abondance, ses proies et ses prédateurs ; la connaissance scientifique de leur physiologie et de leur écologie autorise l'interprétation de leurs abondances relatives, fluctuantes, à travers des jeux d'interdépendances. Les écosystèmes sont ainsi représentés sous forme de réseaux de flux pondérés.

De ce fait, les similitudes structurelles entre écosystèmes, infosystèmes et financystèmes ont été examinées dans la littérature, l'énergie étant assimilée à une monnaie circulante puisqu'elle représente la valeur commune recherchée dans les relations trophiques¹⁰. Dans les trois cas, il s'agit de réseaux de flux, pondérés ou non, que différencie la nature et le rythme des quantités échangées ainsi que les détails des relations entre espèces ou acteurs, plutôt que les principes de ces échanges, connexions et interdépendances.

⁷ Ecotron : grande infrastructure de recherche : plate-forme de reconstitution et d'expérimentation d'écosystèmes confinés (cf : l'Ecotron de l'Ecole Normale Supérieure dans la forêt de Fontainebleau) au sein desquels les paramètres peuvent être modifiés séparément et donc les processus bien identifiés, contrairement aux expérimentations en plein champ par exemple.

⁸ Chaîne trophique : succession d'espèces végétales et animales, chaque espèce de rang n+1 se nourrissant de ou des espèces de rang n. On les représente souvent partant de micro-organismes puis/ou de végétaux, pour aller vers des animaux de taille croissante et finir par des micro-organismes décomposeurs ramenant les nutriments de base au sol ou à l'océan, où ils sont réutilisés par les premiers stades de la chaîne. Cette chaîne bouclée représente en fait la circulation de la matière et de l'énergie dans l'écosystème, à travers la nourriture. Le lien entre une espèce consommatrice et une espèce consommée s'appelle relation trophique.

⁹ Baird et Ulanowicz, 1989

¹⁰ Allesina et al., 2005

Les réseaux financiers considérés du point de vue de la régulation décrivent souvent des expositions¹¹ en chaîne, c'est-à-dire des tensions sur le patrimoine et la solvabilité des acteurs induites par la défaillance de l'un d'entre eux. Le sujet principal est alors de mesurer à quel point et sous quelles conditions les défaillances probables sont ou non systémiques. La situation dans laquelle s'analysent ces expositions est un fonctionnement d'acteurs entre lesquels s'échangent (ou pas) des flux financiers ayant certaines caractéristiques. Ce sont ces caractéristiques que cet article se propose d'observer en s'appuyant sur les analyses de fonctionnements d'écosystèmes longévifs. C'est pourquoi les réseaux de flux pondérés sont pertinents pour cette analyse.

Il a souvent été considéré que les questions de distribution (c'est-à-dire, dans l'approche retenue ici, l'organisation et la répartition des flux entre acteurs) étaient politiques et non économiques. Il est cependant déjà possible de remarquer que si les fonctionnements intrinsèques au système financier influent sur cette répartition des flux et que cet impact n'était pas neutre par rapport à la résilience de ce système, il serait limitant pour l'efficacité de la régulation que celle-ci néglige les déterminants de cette répartition. Or le sujet de la distribution des circulations est majeur dans tout système complexe, qu'il s'agisse de matière, d'énergie ou d'information.

Si enfin l'impact sur la distribution au sein du système financier se révélait non neutre par rapport à la résilience des sur-systèmes, alors une régulation pour motifs extra-financiers pourrait s'imposer pour le sous-système financier. Ce point sera discuté plus loin (paragraphes A3 et B3).

2-Quelques concepts de la théorie de l'information en systèmes complexes

A l'intérieur de chaque réseau, les agents ou acteurs diffèrent plus ou moins par leur fonctionnement, les ressources qu'ils privilégient et les stress auxquels ils sont exposés. Dans un écosystème, cela signifie d'une part que les divers types d'acteurs peuvent cohabiter sans que cela ne se traduise par une relation de concurrence, d'autre part que les agents et liens trophiques ne sont pas sensibles aux mêmes atteintes ou pénuries, même s'ils se situent au même niveau trophique : certains maillons peuvent donc éventuellement prendre le relais d'autres plus affaiblis. La diversité (nombre de nœuds et de rôles différents dans le système) constitue l'équivalent biologique de la diversité des acteurs et outils au sein des financystèmes, et permet une sorte de contra-cyclisme structurel.

Pour évaluer les degrés de complexité des écosystèmes et les rôles qu'y jouent les divers espèces ou groupes d'espèces, il a été recouru aux notions de flux, de nœuds et de connectivité, utilisées dans ces autres réseaux complexes que sont les systèmes informationnels¹². Un réseau maillé est donc composé d'acteurs appelés nœuds, chacun représentant ici une espèce vivante. Le nombre de liens partant de et aboutissant à chaque nœud, le plus souvent le long des réseaux trophiques proie-prédateur, représente le degré de connectivité de chacun. Les acteurs sont ainsi engagés dans diverses combinaisons de liens, chaque type correspondant à une catégorie de rôle de ces acteurs. Ainsi, un écosystème peut par exemple comprendre 12 espèces (nœuds) et 4 rôles (types de connectivité des nœuds). Le degré de diversité fonctionnelle d'un écosystème est proportionnel au nombre de rôles qu'il héberge. Les flux dans ces réseaux sont, comme dit précédemment, constitués d'énergie.

¹¹ Cf. Allen et Gale, « Financial contagion » Journal of Political Economy, 2000

¹² Zorach et Ulanowicz, 2002

Il est apparu que parmi les écosystèmes examinés, ceux présentant une grande stabilité ou robustesse se situaient dans une fenêtre de connectivité et de diversité situées chacune entre des bornes minimale et maximale¹³. Ce point sera approfondi plus loin (paragraphe B1). En outre, les réseaux ne sont pas isotropes en densité de liens, et une certaine compartimentation peut y être observée¹⁴.

De plus, dans un écosystème, le relais total ou partiel d'une espèce A, affaiblie ou disparue, par une espèce B, vis-à-vis d'une proie ou d'un prédateur C, est possible si les relations A-C et B-C existent déjà, ou du moins si A, B et C coexistent. Il est également nécessaire que les dommages dont A serait ici par hypothèse victime n'affectent pas également B. Ce pré-requis correspond à une condition de diversité des acteurs ou des vecteurs dans leurs comportements ou vulnérabilités, qui sera examinée plus en détail ultérieurement. A cette condition, la circulation de l'énergie (ou de la matière biologique) et des diverses substances (eau, carbone, azote, phosphore...) dans l'ensemble du réseau peut se réajuster et se maintenir. **Figure 2**

Cela signifie qu'un écosystème est plus vulnérable si les acteurs/espèces exposés se situent à la convergence de liens, soit trop rares (parce que l'affaiblissement d'un acteur ne trouve pas alors de relais proportionné), soit au contraire trop nombreux (parce que les rôles multiples que ces « super-nœuds » jouent dans le fonctionnement du réseau ne sont pas susceptibles d'être relayés en cas de défaillance ou de disparition). La fenêtre de connectivité et de diversité ci-dessus exprime donc une condition organisationnelle à la bonne répartition de l'énergie circulante au sein de l'écosystème, c'est-à-dire à sa viabilité, analogue d'une bonne circulation monétaire dans l'ensemble d'un financystème.

3-Quelles représentations des relations entre les systèmes financier, économique, social et environnemental ?

Le développement soutenable est souvent représenté par « trois piliers » équivalents, économie, qualité sociale et environnement. Cette représentation joue un rôle symbolique, en ce sens qu'elle place sur le même plan, en termes d'importance politique, ces trois domaines. On y note l'absence de la finance, implicitement incluse dans le domaine économique. **Figure 3** En revanche, si l'on considère chacun de ces quatre domaines (nature, société, économie, finance) du point de vue de ses conditions-mêmes d'existence de façon réaliste, la représentation de leurs relations devrait plutôt apparaître sous forme de quatre sphères emboîtées. En effet, le monde physique et biologique autorise l'existence des sociétés et de leurs cultures : sans la nature et ses ressources, pas d'humain ni a fortiori de communauté humaine. A leur tour, ces deux mondes rendent possible toute activité économique, qui organise des stocks et des flux utilisant et transformant les composantes de la nature, les facultés physiques et mentales et les capacités de symbolisation des êtres humains : l'économie constitue une sous-partie de la vie des sociétés. Enfin, le secteur financier, qui manie les symboles monétaires reliés à cette activité, ne peut exister qu'autant qu'il est porté par ses sous-jacents, qui appartiennent d'abord au monde économique, et qu'il en facilite le fonctionnement ; il s'agit donc du sous-système le plus restreint et objectivement le plus dépendant des autres en termes de fondement d'existence. Dans le reste de l'article, on appellera sur-système

¹³ Ulanowicz et al. , 2009

¹⁴ Allesina, Bondoni et Bondavali, 2005

(respectivement : sous-système) un système incluant (respectivement : compris dans) le système considéré. **Figure 4**

De façon imagée, si l'eau n'existait plus, aucun produit financier fondé sur la disponibilité d'eau (dérivé assurantiel par exemple) ne subsisterait ; à l'inverse, si les produits dérivés sur la disponibilité d'eau étaient supprimés, l'eau resterait un bien vital, utilisable et échangeable¹⁵. C'est pourquoi, d'une certaine façon, le concept d'externalité inverse l'ordre des facteurs puisqu'il tend sémantiquement à marginaliser les enjeux des sur-systèmes, comme il sera discuté ci-après¹⁶.

Deux remarques peuvent déjà être faites à ce stade.

En premier lieu, le degré de diversité et d'information s'appauvrit considérablement en passant des sur-systèmes au dernier sous-système. Or, en cybernétique, le contrôle d'un système diversifié, riche en informations et boucles de rétroactions, par un sous-système plus pauvre aboutit à la perte de cohérence d'ensemble et à la destruction du système. En biologie, de la même façon, une faible sensibilité d'un sous-système par rapport aux signaux des sur-systèmes n'est pas synonyme de robustesse mais de vulnérabilité¹⁷.

Historiquement, cet appauvrissement informatif vient d'une recherche de commodité pour la modélisation et le calcul : ainsi, Walras explique qu'il a par commodité représenté l'économie comme un système physique en équilibre (offre-demande et prix) et évincé pour des raisons pratiques les activités non marchandes du champ des calculs économiques. Ces raisons et limites furent souvent occultées ensuite dans les raisonnements pratiques, ce qui introduisit une rupture quasi-épistémologique entre le champ des calculs économiques et le reste du monde¹⁸.

En second lieu, paradoxalement, le concept d'internalisation, conçu comme une monétarisation d'enjeux non financiers voire non économiques¹⁹, est ambigu. D'une part il reconnaît la myopie des marchés financiers sur de nombreux enjeux des sur-systèmes, mais d'autre part, son utilisation-même, en représentant des processus sociaux, physiques ou biologiques par des quantités

¹⁵ Une question de politique publique est ainsi : le fonctionnement du sous-système financier joue-t-il ou non en faveur de la préservation des ressources en eau ?

¹⁶ Cohen de Lara, Dron, 1998

¹⁷ Dron, 2013

¹⁸ Par exemple, les évaluations économiques excluent nombre de biens et services précieux pour le fonctionnement des sociétés humaines. C'est le cas des processus et « objets » environnementaux non marchands, jugés à l'époque inaltérables et infinis pour des raisons de non rareté apparente. C'est aussi le cas, sur le plan social, de la disposition d'un espace public régulé (ex : par les poids et mesures) et apaisé (ex : qui atténue la violence au lieu de la susciter) qui permet aux activités de se développer en confiance. La fable de « L'abeille et l'économiste »¹⁸ illustre comment un bien commun ignoré conditionne en fait de nombreuses activités, non seulement par ce qu'il permet mais aussi par la façon dont il est géré¹⁸. D'une certaine façon, l'histoire de la réduction de la mesure de l'intelligence au QI a résulté d'une évolution similaire à celle de la réduction du réel à des modélisations (Amzallag, 2010).

¹⁹ « L'externalité, c'est ce dont tout le monde se moque jusqu'à ce que quelqu'un s'aperçoive que c'est lui qui paye » (D. Dron), mais pas forcément en argent, ni de façon proportionnelle avec ce qui avait été monétarisé (voir par exemple les difficultés pour exprimer monétairement les dommages climatiques en tant que tels).

monétaires, introduit une substituabilité illusoire entre des temporalités, des dynamiques et des phénomènes non comparables, à la façon du lit de Procuste²⁰ dans la mythologie grecque.

En effet, s'il a été fort utile de traduire en langage monétaire des phénomènes qui échappaient à l'analyse financière²¹, cette traduction a eu en pratique pour principale utilité de montrer quelques impacts positifs ou négatifs financiers directs de leur non-prise en compte. Cependant, cette traduction reste très partielle et surtout, son produit est utilisé non pas en fonction des caractéristiques des phénomènes « représentés » (non-substituabilité des enjeux, irréversibilité ou non, ...) mais selon les modes et rythmes d'utilisation des objets du sous-système financier²². Effectivement, si le rôle originel de l'économie est de rechercher le meilleur usage de biens rares parmi des utilisations alternatives, il est aisé de comprendre comment l'introduction de substituabilités erronées via la simplification monétaire peut tendre à placer dans l'analyse économique une confiance excessive quant à la représentativité des résultats en situation réelle²³. De fait, en accroissant le champ de la substituabilité fictive des objets -sociétés, écosystèmes, produits manufacturés, indices financiers-, une monétarisation des externalités ainsi conçue semble aller au moins autant dans le sens de l'autonomisation du sous-système financier, que vers l'établissement de rétroactions régulatrices vers ce sous-système. Ainsi, même si comptabilité et régulation constituent deux préoccupations distinctes, les enjeux de régulation, du point de vue d'une recherche de résilience globale en tant qu'objectif de politique publique, semblent ne pas pouvoir faire l'économie d'une appréciation quantitative ou au moins qualitative des impacts du fonctionnement du sous-système financier sur lui-même et sur les sur-systèmes. C'est en ce sens que le choix des moyens de mesure des impacts, en ce qu'ils respectent ou non les non-substituabilités du monde réel, peut interférer avec les préoccupations et modes de régulation.

B- Résilience des réseaux complexes

Comme présenté dans le numéro des Annales des Mines consacré à cette notion²⁴, « *la résilience d'un système est non pas l'antithèse de sa vulnérabilité, mais la description de son comportement après perturbation, c'est-à-dire la description de la façon dont il reste autour de son état d'équilibre* »

²⁰ Procuste était un géant brigand qui arrêtaient les voyageurs et les allongeaient sur son lit de pierre pour les mettre aux dimensions de ce dernier : il amputait ceux qui étaient plus grands et étirait ceux qui étaient plus petits. Rares étaient ceux qui correspondaient exactement au lit. Ce mythe exprime le fait que vouloir conformer la réalité à un modèle risque en général de la tuer.

²¹ Voir par exemple de Lara et Dron, 1998

²² Les slogans de certains établissements financiers comme « Faire de la nature une valeur sûre » ou « Dans le futur, chaîne alimentaire et chaîne d'approvisionnement ne feront qu'une » illustrent bien cette tendance à la colonisation de sur-systèmes par les logiques d'un sous-système.

²³ Ainsi, ce n'est pas parce qu'on pourrait donner une valeur à la Joconde qu'il y a un prix de marché pour elle, c'est-à-dire une somme pour laquelle son détenteur accepterait de s'en dessaisir. Voir aussi M Sagoff, 1980 sur l'analyse d'un projet de mise en concession d'un parc naturel américain comme parc de loisirs.

²⁴ 'La résilience, plus qu'une mode', 2013

initial, évolue vers un autre état, sous la forme d'un cycle stable, ou se place sur une trajectoire stable sans point d'équilibre (ces processus étant décrits par le concept d'attracteurs). L'opposé de la vulnérabilité d'un système serait dès lors sa capacité à maintenir sa structure même lorsque le système est amené à quitter son état d'équilibre (ou son « bassin d'attraction ») originel, c'est-à-dire à passer de simples ajustements à de véritables adaptations. (...). »²⁵

1-Deux approches des systèmes complexes

La littérature académique a commencé, parfois avant 2008, à examiner les parallèles possibles entre le fonctionnement des écosystèmes et ceux du système financier, dans un souci de robustesse. Des travaux intéressants (Ulanowicz et al. d'une part, May et Haldane d'autre part) viennent de deux écoles de description de la complexité.

a) Complexité et diversité des réseaux mesurées par la théorie de l'information

La première école²⁶, dont le travail a démarré dès les années 80, part de la théorie systémique de l'information au sein des systèmes complexes. Elle assimile la capacité d'un système à s'adapter à la capacité des liens entre composants à prendre une configuration inédite (surprise de Boltzmann, probabilités), puis constate que cette dernière grandeur est intrinsèquement commensurable, et inférieure, à l'ensemble des contraintes ou des dépendances exercées sur chaque composant par les autres : la différence est appelée en théorie de l'information « entropie conditionnelle » et représente une mesure du désordre, des redondances, lacunes ou relations non explicables du système, qui sont ses facteurs de réajustement et d'adaptation. Elle est mesurable.

Transposées des probabilités aux flux (matière, énergie, bits) ou aux expositions induites pour donner une unité physique au système général ainsi décrit, et notamment en énergie circulant dans les chaînes trophiques d'écosystèmes donnés, ces équations relient la capacité d'adaptation C, le degré d'ordre et d'efficacité du système A et le désordre résiduel R. Le calcul montre que la plus grande capacité C est obtenue dans les écosystèmes dans lesquels A n'est pas maximisé, mais où A et R sont dans un rapport modéré.

Cette « fenêtre de stabilité » a pu être empiriquement mesurée pour des écosystèmes. L'analyse de plusieurs centaines de cas a permis de montrer que les écosystèmes stables ou résilients se situent dans un rectangle où le nombre de niveaux trophiques (ou de rôles) va de 2 à moins de 5, et le nombre moyen de liens par nœud de 1 à 3 (le centre géométrique des points se trouvant à 1,25 lien et 3,25 niveaux). Des systèmes trop simplifiés correspondent à des environnements en cours de dégradation prononcée (modélisation de l'eutrophisation²⁷ par exemple), de même que des

²⁵ Dron, 2013

²⁶ Ulanowicz et al., 2009

²⁷ Phénomène par lequel une quantité excessive de matière organique (un bloom algal alimenté par un excès de nutriments azotés ou phosphorés, agricoles par exemple), lorsqu'elle se décompose, consomme l'oxygène dissout dans l'eau, en privant ainsi les autres organismes vivants, qui meurent.

systemes faisant converger trop de liens au niveau de chaque maillon ou de certains d'entre eux²⁸.

Figure 5

Le parallèle avec les financystèmes peut être décrit analytiquement de la manière suivante :

- La présence d'une pluralité de chaînes trophiques se répartissant la circulation d'énergie entre un échelon plus amont (dit inférieur) et un échelon plus aval (dit supérieur) de l'écosystème autorise qu'un relais soit pris par certaines, lorsque du fait d'une perturbation un ou des maillons d'autres chaînes interrompent ou ralentissent leur activité²⁹. L'activité des espèces qui demeurent s'en voit alors accrue³⁰. En termes financiers, ces chaînes et espèces ont donc une activité contra-cyclique de fait au regard de l'appauvrissement du flux à travers les chaînes endommagées. Le niveau de pluralité le plus souvent sélectionné est borné, et semble se situer entre 3 et 5 voies possibles entre deux niveaux du réseau³¹.
- Cette résilience dépend du fait que les différentes voies trophiques ne soient pas sensibles aux mêmes stress. Par exemple, si l'une des espèces intermédiaires est décimée par la maladie ou la chasse mais qu'une autre est capable de prendre le relais en termes de rôle et donc de circulation de l'énergie, l'écosystème sera robuste. En revanche, dans le cas d'une pollution chimique à laquelle toutes les espèces d'un même niveau trophique seraient sensibles, ou d'une exploitation de chasse ou de pêche les visant toutes (limicoles ou passereaux d'une région, poissons carnivores d'un bassin océanique...) de façon prolongée, alors il reste peu ou pas de relais possible. C'est la diversité des sensibilités, des besoins et des comportements au sein d'une même classe d'acteurs, ainsi que la diversité des classes elles-mêmes (dite diversité des « rôles » dans le langage de la théorie de l'information) qui fait la résilience. C'est ce qu'on appelle dans les écosystèmes la diversité des niches écologiques. Ceci suggère que pour être résilient, un système financier contienne des critères, produits, supports et acteurs suffisamment divers en nature (et pas seulement en taille) dans leurs comportements, objectifs et sensibilités aux perturbations. De ce point de vue, le présupposé de la pertinence de tests unitaires pratiqués sur les établissements financiers semble être l'absence de mode commun de vulnérabilité ; la réalité est différente.
- Le niveau de connectivité de chaque maillon est également compris entre deux bornes (plus de un et moins de trois). Il représente une situation intermédiaire entre, d'un côté (un seul lien), le fait d'être tributaire d'un seul autre maillon ou d'être sujet à épuisement sans réalimentation et, de l'autre (plus de 3 liens), le fait de se trouver en situation d'accumulation, de nœud surconnecté (« too big to fail »...) ou de forte propagation des perturbations. Ces bornes dans la connectivité, le nombre de rôles et de voies contribuent structurellement à la robustesse d'un réseau dans lequel aucun acteur ne contrôle un trop

²⁸ Id : "Configurations of strong connections across many links and weak connections across a few links tend to break up or fall apart, respectively (May, 1972)".

²⁹ Ibid.

³⁰ Un niveau trophique inférieur ou supérieur constitue toujours une notion relative et dynamique. Elle ne correspond pas à une représentation de type « Cœur/périphérie » (ex : Hauton, Gael et Héam, Jean-Cyprien, How to Measure Interconnectedness between Banks, Insurers and Financial Conglomerates? ACPR, Débats économiques et financiers n°15, 2014).

³¹ Ulanowicz et al., 2009

grand flux ou ne se trouve en situation de privation. La borne supérieure de connectivité, dont la moyenne est relativement basse, implique l'existence d'une compartimentation relative et non pas d'une connectivité intense et générale. Dans ce cas, l'effondrement du système n'intervient que si des stress de natures différentes s'accumulent. Au contraire, dans un système insuffisamment diversifié, il suffirait d'une perturbation affectant les maillons sur un mode commun pour que le résultat soit destructeur. **Figure 6**

Pour établir un parallèle avec les financystèmes, l'intégration financière a construit depuis 20 ans un réseau mondial très anastomosé, sans compartimentation des zones, des critères ni des activités, dont le degré élevé de connectivité autorise une contagion généralisée et immédiate des perturbations. En outre, la forte concentration des acteurs de premier rang³², toujours à l'oeuvre³³, crée des points majeurs d'hyperconnectivité, d'accumulation et de départ de contagion générale, d'autant que la diversité des comportements s'est fortement réduite. Ces situations de « too big to fail » ne semblent pas exister dans les écosystèmes résilients.

b) Modélisation financière et simulation de chocs

La seconde école part de simulations de réseaux bancaires et de marchés auxquels sont appliqués des chocs : une faillite bancaire, une crise de liquidité, une chute des prix, une chute du commerce interbancaire... La démonstration de May et Haldane³⁴ s'appuie sur l'évolution des situations réelles des banques britanniques avant et après 2008, dont les descriptifs ont été utilisés.

Plus immédiatement financière que la méthode précédente mais moins explicative des phénomènes, l'étude conclut qu'une grande connectivité entre banques semblables atténue le risque de faillite en cas de perturbation circonscrite, mais entraîne une plus grande part du système vers l'effondrement si la perturbation est trop forte ou en mode commun, ce cas étant d'autant plus probable que les banques sont supposées similaires. La modélisation montre aussi qu'un réseau constitué de très grandes banques et d'établissements plus petits induit en pratique une connectivité trop élevée au niveau des gros acteurs : les « nœuds » qu'ils représentent ont trop de liens avec les autres, d'où une contagion trop large en cas de problème sur l'un de ceux-ci. En revanche la diversité y permet une plus grande robustesse, du moins tant que les difficultés rencontrées en un point du réseau ne sont pas systémiques, c'est-à-dire ne proviennent pas d'un mode commun de vulnérabilité ou de comportement, touchant de la même façon les différents acteurs ou un trop grand nombre d'entre eux.

La modélisation exprime par ailleurs que, quand le choc initial porte sur les avoirs extérieurs (fonds propres), la fragilité du système est maximale lorsque les banques font à la fois du crédit et de l'investissement. Les deux autres chocs modélisés, à savoir sur les valeurs des avoirs (prix de marché)

³² May et Haldane 2011 : les avoirs des trois premières banques américaines fluctuaient entre 10 et 20% du total des avoirs du secteur bancaire commercial avant la révocation du Glass Steagal Act en 1999, pour dépasser 40% en 2007.

³³ Financial Times cité dans le Nouvel Economiste 1746, 26/12/14 : « Les « too big to fail » plus grosses que jamais », Luce Edward.

³⁴ May et Haldane, 2011

et sur les prêts interbancaires (liquidité), présentent dans le modèle une capacité supérieure de propagation et d'amplification. Pour traiter le risque systémique, l'article propose d'introduire une régulation contra-cyclique qui réduirait les fonds propres requis des banques en période de récession, et les accroîtrait en période de croissance afin de réduire les risques pris par ces établissements.

Le modèle produit aussi qu'au-delà d'un certain seuil, la masse des produits dérivés s'auto-amplifie : les établissements financiers accroissent les quantités de produits au-delà de la demande réelle de couverture tant que la multiplication des produits nourrit la rentabilité de chacun. Le marché se montre alors structurellement déstabilisé autour d'un point singulier. L'existence de ces singularités est renforcée par l'intensité des corrélations entre produits dérivés. Ce résultat permet de supposer qu'une similitude de critères de choix (mimétisme) parmi les acteurs amplifiera encore cette corrélation, car elle conduit à ce que tous les acteurs analysent processus et objets et y répondent de la même façon... May et Haldane rappellent que parmi les hypothèses implicites de la théorie de l'arbitrage figure celle selon laquelle l'activité de trading en tant que telle n'a pas d'effet sur la dynamique des marchés. Leur simulation montre ici le contraire, qui correspond mieux aux faits observés, notamment lorsque les acteurs sont très concentrés et mimétiques³⁵.

Dans un autre domaine, technologique et non biologique, le pilotage d'objets nécessitant un haut degré de sécurisation (avions, fusées, centrales nucléaires...) est conçu pour éviter au maximum les modes communs, sources de récurrences fatales en cas de défaillance. Pour ce faire, ces objets sont dotés de systèmes de contrôle internes simultanés obéissant à plusieurs logiques différentes, car toute erreur doit être immédiatement détectée et corrigée : ainsi, les navettes spatiales disposent de cinq calculateurs différents³⁶. C'est cette sécurisation qui crée la confiance envers les structures sophistiquées. Or la confiance est essentielle pour le fonctionnement des financystèmes.

2-Financystèmes et écosystèmes : entre efficience et résilience

a) Illustration écosystémique de la relation entre structure et résilience

Les travaux précédents montrent que la robustesse des systèmes examinés résulte d'un compromis entre deux pôles :

- un type de structure simple à peu de nœuds, avec un flux important passant par chacun des nœuds, peu résilient aux perturbations,
- et un type de structure à nœuds et relations multiples, robuste aux perturbations, avec des flux plus dispersés entre chaînes interdépendantes³⁷.

Il est possible d'illustrer également le parallèle entre financystème et écosystème de la façon suivante. Dans un réseau financier, les patrimoines des acteurs sont alimentés (ou réduits) par les

³⁵ Voir aussi Michael Lewis, Flash Boys, Norton 1 Company (2013)

³⁶ communication orale, Claude Périgaud, 2014

³⁷ Ulanowicz et al., 2009

flux monétaires. Ces derniers peuvent être exprimés en termes de flux réels (l'argent quel qu'en soit le support passe physiquement d'un acteur A à un acteur B : l'alligator de rang N mange le poisson de rang N-1) ou d'engagements (l'argent est supposé passer un jour de A à B avant telle date avec un certain risque : l'alligator a une certaine probabilité de manger le poisson avant telle date). Ces flux peuvent rendre solvable un agent qui ne l'était pas, ou inversement. La survenue d'une perturbation intérieure, dans le cas de l'écosystème, pourrait être que l'alligator contracte une maladie et ait donc de moins en moins de probabilité de capturer les poissons. Que se passe-t-il alors ? Est-ce que le poisson conserve la même probabilité d'être mangé du fait de la présence d'un autre alligator (qui alors a plus à manger et devient plus vigoureux) ou pas (par exemple s'il n'y a plus que l'alligator malade car les autres ont été tués), et quelle en est la conséquence sur l'état de la population de poissons ? Par exemple, si l'alligator malade est seul, alors le nombre des poissons de rang N-1 va croître, exerçant une pression sur les populations de leurs propres proies de rang N-2 qui vont se raréfier etc. ... Ce sont alors les caractéristiques initiales de l'écosystème, à commencer par sa diversité, qui conditionnent sa capacité de régulation intrinsèque (possibilités de report sur d'autres proies internes au système, capacité d'autres acteurs à relayer l'alligator dont l'action est réduite,...) et peuvent empêcher qu'en fin de compte la perturbation initiale n'interrompe la circulation de la matière pour des zones ou des niveaux trophiques entiers.

Dans le cas contraire, il existera toujours un « écosystème » à la fin, mais ce dernier aura pu perdre 99% de ses acteurs et ne plus du tout fournir les services antérieurs, y compris aux humains : c'est le cas des côtes namibiennes réduites aux méduses du fait de la surpêche. Cartographie et nature des flux, d'une part, vulnérabilité des nœuds du réseau, d'autre part, sont donc corrélés.

b) Le dipôle résilience / efficacité

Efficacité ou efficience, efficiency ou effectiveness en anglais, constitue des critères généralement évoqués comme objectifs d'un fonctionnement financier. L'efficience caractérise la capacité à atteindre des objectifs prédéterminés au prix d'une consommation optimale de ressources (humaines, matérielles, financières). L'efficacité, elle, qualifie la capacité d'une personne, d'un groupe ou d'un système de parvenir à ses objectifs ou à ceux qu'on lui a fixés. Ce critère s'apparente à une efficience de débit : ainsi, l'accroissement du volume d'activité des marchés financiers est souvent considéré comme un critère d'efficience, car il est assimilé à une situation plus concurrentielle, qui faciliterait et accélérerait la découverte d'un « vrai » prix. La focalisation post-2008 sur la liquidité renforce cette tendance volumétrique. Néanmoins, le high frequency trading (HFT) montre qu'un tel raisonnement poussé aux limites devient absurde : ainsi, parce qu'il exige des ordinateurs puissants, le HFT n'est accessible qu'aux plus gros opérateurs, ce qui réduit de fait la concurrence. Il introduirait de plus des possibilités systématiques de fraude³⁸. En outre, il favorise les régimes turbulents (voir plus loin).

Le critère d'efficacité ou d'efficience est généralement utilisé sans considération de résilience ni des impacts sur les sur-systèmes : le sous-système financier est donc de fait observé isolément. L'efficience, de par sa définition, s'y accroît numériquement soit en faisant gonfler le flux monétaire, soit en réduisant le nombre des acteurs³⁹ ou/et des voies d'écoulement. Si l'efficacité d'un système

³⁸ Gayraud, 2014, l'assimile à une « légalisation du délit d'initié »

³⁹ Certains travaux montrent que des acteurs moins nombreux et plus gros (mais sans atteindre le « too big to fail ») conduisent à moins de concurrence, mais peuvent induire plus de stabilité sous la forme de relations de long terme entre acteurs. C'est le débat « relationship lending » (qu'autorise un certain pouvoir de monopole)

est ainsi évaluée, le premier type de structure paraît numériquement plus efficace (ou efficient) car il maximise les flux passant par chaque nœud du réseau qui demeure. En outre, la définition de l'efficacité pousse à accroître les volumes circulants indépendamment de l'activité économique sous-jacente, ce qui est effectivement constaté⁴⁰.

Revenons aux écosystèmes pour concrétiser ce qui s'y passe de ce point de vue : des chaînes alimentaires longues et anastomosées en réseau, comportant une certaine anisotropie ou compartimentation relative, correspondent à un milieu riche en espèces, avec plusieurs d'entre elles par niveau trophique, et entretenant une abondance globale de vie. Chaque espèce se situe à un nœud du réseau, et utilise le flux énergétique qui passe par elle (nourriture) avec un certain rendement, donc une certaine perte. Avec un critère d'efficacité de débit, diminuer le nombre de niveaux trophiques et le nombre d'espèces à chaque niveau peut sembler réduire ces coefficients de perte et améliorer l'efficacité globale du système. L'observation montre au contraire qu'un tel appauvrissement (dû par exemple à une chasse ou une pêche excessive, ou à des pollutions ciblant certaines espèces) accroît la fragilité du système aux perturbations ultérieures et réduit l'abondance globale. L'analyse précédente montre que le compromis de viabilité sélectionné par l'évolution des écosystèmes se trouve non pas à mi-chemin des pôles d'efficacité et de résilience, ni en maximisant l'efficacité, mais au contraire déplacé du côté de la résilience⁴¹. Il a été vu plus haut qu'un moyen de mesure de cette capacité structurelle de résilience avait pu être proposé.

En retournant maintenant aux financystèmes, la réduction du nombre d'acteurs (par concentration ou par faible diversité) est parfois présentée comme pouvant améliorer la stabilité (relations de long terme) et l'efficacité (économies d'échelle) du système. A l'extrême, au regard de ce critère, le réseau le plus efficace ne serait composé que d'une seule chaîne et peu de niveaux. Plusieurs remarques s'imposent néanmoins. En premier lieu, ce réseau théorique aurait peu de chances de survie aux chocs, car il présente beaucoup de modes communs de vulnérabilité et peu de plasticité⁴².

versus « arm's length finance » (modèle concurrentiel). Encore faut-il que ces relations de long terme, qui ne reposent que sur la volonté de ces acteurs, soient effectivement développées. Ce ne semble pas être le cas actuel puisque la concentration des acteurs s'est accompagnée d'une volatilité renforcée et d'une réduction de la résilience du système.

⁴⁰ Les rapports entre flux financiers et flux de biens et services seraient passés de 10/1 à la fin des années 90 à 20/1 en 2007 et près de 50/1 en 2014. Un exemple de décorrélation entre produits de couverture et sous-jacents est fourni par exemple par le NYT du 22/02/2005: "*Martin D. Weiss, the chairman of Weiss Ratings Inc., an independent financial rating agency, said the cyclical nature of the insurance business and a drop in insurers' investment earnings when markets fell had been among the strongest forces behind the rise in medical malpractice premiums.(...) The recent jump in premiums shows little correlation to the rise in claims. According to the National Practitioner Data Bank of the Health and Human Services Department, the total paid out by insurance companies for claims against doctors and other medical professionals rose 3.1 percent annually, on average, between 1993 and 2003 and then declined last year.*"

⁴¹ Id.

⁴² Pour les systèmes de paiements, la politique préconisée par le FSB a été de réintégrer dans des « central clearing counterparties » (CCP) des transactions extrêmement nombreuses et peu standardisées, qui pouvaient créer des faillites en chaîne car les contrats individuels ne pouvaient se déboucler par revente sur un marché large. Mais les risques concentrés dans ces CCP deviennent a priori d'autant plus « systémiques » que les logiques des transactions deviennent plus semblables et peuvent donc moins jouer en compensation les unes par rapport aux autres.

Deuxièmement, l'objectif recherché du point de vue du système global n'est pas de maximiser la circulation des flux au sein du sous-système financier, indépendamment des conséquences pour les sur-systèmes, mais de catalyser le fonctionnement du système global, c'est-à-dire par exemple d'une société et d'une économie résilientes et désirables. Cette préoccupation mobilise beaucoup plus qu'un critère de flux : la question importante des objectifs est abordée ci-après. Troisièmement, il est observé au fil du temps que volatilité et vulnérabilité systémique s'accroissent avec les volumes circulants et la concentration des acteurs. Enfin, la technologie numérique en elle-même, par ses caractéristiques de réseau et de liquéfaction accrue, accroît la prime à la taille et favorise la création de monopoles ; la numérisation financière n'échappe pas à cette tendance ; elle impose donc une action équilibrante qui ne pourra venir spontanément des financystèmes.

Or, on peut identifier dans les écosystèmes existants quatre conditions initiales, quatre principes d'organisation, qui rendent peu probable l'implosion systémique d'un écosystème à la moindre perturbation interne ou externe. Ils sont décrits au chapitre suivant. Dans le cas des financystèmes, il sera montré que ces quatre facteurs semblent absents ou extrêmement atténués. Par exemple, le manque croissant de diversité dans les types d'acteurs et de critères fait que la généralité de l'impact (effet systémique) y est beaucoup plus vite atteinte que dans un écosystème.

3-Un peu d'histoire et de sémantique autour de l'efficacité

Si, originellement, le rôle de l'économie est de rechercher le meilleur usage de biens rares parmi des utilisations alternatives, la prédominance de la notion d'efficacité dans le discours est liée au contexte historique du développement de la pensée scientifique dès Bacon et Descartes, puis Newton⁴³. Cette observation ne conduit pas à nier la puissance de cette notion quant à l'ampleur de l'action humaine sur le monde qu'elle a permise, mais elle aide à prendre du recul par rapport à ce concept quotidiennement utilisé. La résilience en tant qu'objectif n'est, elle, apparue que très tardivement dans nos politiques publiques⁴⁴.

L'efficacité qualifie une capacité à parvenir à des objectifs donnés : elle n'existe donc pas dans l'absolu mais en fonction d'objectifs qui peuvent appartenir à la même sphère qu'elle, mais pas obligatoirement. La nature des objectifs assignés à cette recherche d'efficacité, et les outils utilisés pour ce faire, sont donc déterminants.

a) Les objectifs non financiers des économistes modèlent leurs outils

F.A. Hayek fut très marqué par les guerres et les totalitarismes du XXème siècle, qu'il considérait comme le produit des finalités inconciliables des Etats. De ce fait, sa propre finalité personnelle devint le rejet maximal des interventions publiques et des finalités politiques, afin selon ses termes « *de ne pas confier le pot de crème à la garde du chat* »⁴⁵. Mais il considérait tout aussi explicitement

⁴³ Amzallag, 2010 ; Legendre, 2007

⁴⁴ Notamment après plusieurs catastrophes climatiques, en Grande-Bretagne au début des années 2000, puis en France et depuis l'ouragan Sandy sur New-York aux Etats-Unis (voir Annales des Mines 2014). Elle est également très récente, en tant qu'objectif plein, en matière financière.

⁴⁵ Passet, 2010, p832

que le marché ne pouvait de sa propre logique assurer ni la résilience d'une société (selon lui l'Etat doit d'autorité prélever de quoi fournir un salaire minimum pour tous, ne serait-ce que pour éviter les révoltes des désespérés) ni la gestion des biens communs (il nomme la nature), tout en actant le caractère indispensable de l'un et de l'autre de ces objectifs⁴⁶.

Déjà Concorcet, par son paradoxe « abc », avait démontré que l'intérêt général ne pouvait être la somme des intérêts particuliers : si A préfère a à b, que B préfère b à c et que C préfère c à a, la somme de ces préférences ne fournit aucune indication sur la hiérarchie des biens a, b et c pour le collectif⁴⁷. Amartya Sen souligne avec l'exemple de la flûte (à qui doit revenir la flûte : à celui qui l'a fabriquée, à celui qui sait en jouer, à celui qui dispose du plus d'argent pour l'acheter, ... ?) que la justification de l'allocation des ressources n'est jamais dépourvue de finalité⁴⁸.

D'un point de vue de politique publique mais aussi simplement pratique, il importe de distinguer les processus que ne peut transformer l'action humaine (tels que les propriétés des gaz à effet de serre ou les exigences physiologiques des êtres vivants) d'une part, les organisations et conventions des sociétés d'autre part, bien plus labiles quoi qu'il puisse en paraître au quotidien. C'est pourquoi, à partir de l'emboîtement des sphères décrit plus haut, il paraît réaliste de chercher à rapprocher les logiques des sous-systèmes de construction conventionnelle de celles, bien moins malléables, des sur-systèmes préexistants, plutôt que l'inverse. C'est ce que suggèrent tout autant l'observation physique et biologique du monde que l'anthropologie ou la cybernétique. Au contraire, Gary Becker préconise l'insertion de toutes les sphères (environnementale, sociale) dans la sphère économique au motif que tout devient rare⁴⁹. Cette affirmation renoue avec le « lit de Procuste » : elle reviendrait à généraliser une substituabilité entre le réel et le virtuel, et notamment leurs exigences et rythmes intrinsèques⁵⁰, sur le schéma, élargi, de la monétarisation évoquée précédemment.

b) Proposition des notions d'efficacité restreinte, élargie, générale

Pour un financystème, le critère d'efficacité souvent utilisé pour évaluer des acteurs ou organisations suppose implicitement que le sous-système financier est isolé, car il ne prend pas en compte les impacts de ces acteurs et organisations sur les sur-systèmes. Or ces sur-systèmes, en dernier ressort, produisent ou recèlent les contreparties finales des circulations au sein du financystème. Nous pourrions nommer « efficacité restreinte » un critère ne prenant en compte que les objets du sous-système financier sous forme d'efficacité de flux. Il exprime l'autonomisation du sous-système.

Un autre symptôme de cette autonomisation est fourni par exemple par la désignation des enjeux des sur-systèmes comme étant des « externalités ». Il pourrait être nécessaire, dans un souci de régulation consolidante du financystème par articulation avec les sur-systèmes, de concevoir des mesures d'efficacité plus larges, multi-critères, comme en propose par exemple le German

⁴⁶ Id. p842 et sq.

⁴⁷ Ibid. p 909

⁴⁸ Ibid. p677

⁴⁹ Passet, 2010 p873

⁵⁰ Cf. par exemple Foucard, 2014

Sustainability Code : une « efficacité élargie » prenant en compte d'autres sur-systèmes, une « efficacité générale » se référant à l'ensemble des sur-systèmes, avec des critères propres à chacun de ces sur-systèmes. Il pourrait en être de même pour les mesures d'efficacité.

Compte tenu des similarités observables entre financystèmes et écosystèmes en tant que systèmes complexes, il est maintenant utile d'analyser de plus près les conditions de résilience des écosystèmes et d'examiner dans quelle mesure elles peuvent fournir des pistes concrètes pour améliorer structurellement la résilience des financystèmes.

C- Les sources de résilience des écosystèmes : quelles correspondances pour les financystèmes ?

Le propos n'est pas de remplacer les financystèmes par des écosystèmes, mais d'analyser la nature et l'ampleur des écarts aux conditions structurelles de résilience observées dans des systèmes complexes beaucoup plus longévifs que les financystèmes, et d'en enrichir la réflexion financière.

Quatre caractéristiques des écosystèmes contribuent structurellement à leur résilience biologique :

- l'existence de rétroactions gérant un maintien dans des limites physiques soutenables,
- une plasticité des relations et des flux liée à une connectivité suffisante et sans substituabilité généralisée,
- une diversité importante des types d'acteurs,
- des cycles de matière et d'énergie bouclés permettant d'entretenir des stocks vitaux.

1- Des rétroactions gérant des limites viables

a) Ecosystème : des rétroactions internes stabilisatrices

Une régulation caractéristique d'un fonctionnement stabilisé d'écosystème est la relation prédateur-proie **Figure 7**. Les rétroactions permanentes de ce type permettent aux flux de matière et d'énergie de ne pas épuiser les ressources de base : ainsi les lapins en surnombre ne dévorent-ils pas tous les végétaux, ni les lynx en excès tous les autres animaux. L'ensemble du système peut demeurer par cette régulation interne dans une zone viable. Le pillage des ressources n'est pas un comportement observé dans la nature, comme l'ont montré de nombreux travaux de biologie ou statistiques, systémiques ou monographiques.

Il arrive que des populations sortent de ce domaine de viabilité, souvent du fait d'un facteur externe : surexploitation, pollution, destruction d'habitats, espèces invasives... Par exemple, la surpêche au large des côtes namibiennes a fait basculer l'écosystème halieutique vers une explosion des populations de méduses, dont les larves n'étaient plus consommées ; aujourd'hui on ne trouve plus que des méduses dans ces zones, sans possibilité de reconstitution naturelle du fait de la toxicité des méduses. De même, lorsqu'une pollution chimique ou un stress perturbe nos bactéries (notre corps

compte cent fois plus de bactéries que de cellules humaines, et 150 fois plus de gènes) et en fragilise certaines populations, la situation créée peut favoriser le développement d'un type bactérien virulent préexistant mais auparavant contenu par les souches momentanément affaiblies. Alors peut survenir la maladie correspondante. Ainsi, il a été montré que l'appauvrissement de la diversité de la flore bactérienne intestinale était pathogène, y compris pour l'obésité par exemple⁵¹.

Ces sorties hors du domaine viable ne sont pas linéaires : sous une pression exogène continue provoquant une diminution ou une augmentation forte de certaines espèces, les écosystèmes peuvent se maintenir un moment grâce aux lacunes et redondances évoquées en partie B, mais cette détérioration progressive parfois peu sensible pour les non-spécialistes arrive plus ou moins vite à un point de basculement auquel ils s'effondrent en très peu de temps. Depuis combien d'années n'avez-vous plus, lecteur, vu le pare-brise de votre voiture maculé des impacts autrefois permanents d'insectes, ces insectes qui forment la nourriture d'oiseaux, d'amphibiens, de reptiles, de petits mammifères, qui sont pollinisateurs, transporteurs, décomposeurs... ?

La population humaine, ses animaux domestiques, ses consommations de matières et d'énergie, ses rejets de déchets solides, liquides et gazeux, ont suivi eux des courbes exponentielles, surtout depuis une soixantaine d'années. Il suffit de regarder les évolutions mondiales de production de déchets, de rejets de gaz à effet de serre, de consommation d'énergie, ou de lire l'évolution numérique des humains et de leurs animaux au regard de celle de la faune sauvage⁵². Avec un souci exclusif d'efficacité restreinte à leur champ, les sous-systèmes sociétal et économique imposent au sur-système physique ces évolutions exponentielles, en ouvrant des cycles de matière précédemment bouclés et les remplaçant par des accumulations à certains endroits et des épuisements à d'autres. Cette ouverture technologique des cycles est délibérée (pêche, agriculture, combustion...) et peut persister longtemps après la démonstration de l'ampleur des dommages, pour des raisons sociologiques et techniques.

⁵¹Institut de Cardiométabolisme et Nutrition : Le Chatelier, Clément et al. (2013), cité par Le Monde 19/11/14

⁵² Smil, 2013 p228 : selon les estimations de l'auteur, le rapport entre masse de carbone des mammifères humains et animaux associés et masse de carbone des mammifères sauvages terrestres serait passé de 71 pour 10MtC en 1900 (1,6 milliards d'humains) à 255 pour 5 en 2000 (6,1 milliards d'humains). A titre d'exemple, la population des éléphants a déjà été divisée par 10 entre ces deux dates (de 3 à 0,3MtC), divisée par 10 également entre la deuxième guerre mondiale et aujourd'hui. Autre exemple, 100 millions de requins (mangeurs entre autres de méduses...) sont pêchés chaque année notamment pour leurs ailerons (marché asiatique) et la population a été réduite de 90% en un siècle. En 2014, selon l'UICN, un mammifère sur quatre, un amphibien sur trois et un oiseau sur huit sont menacés d'extinction.

b) Financystème : des processus internes auto-accélérateurs

Au sein du sous-système financier, la quantité de devises et produits financiers en circulation⁵³ a suivi ce même type de courbe⁵⁴, ainsi que les masses monétaires nationales⁵⁵. **Figure 8** Selon Patrick Artus, « *la quantité de liquidités créées par la banque centrale est passée de 2007 à 2013 de 19 à 34% du PIB au Japon, de 7 à 18% du PIB aux Etats-Unis, de 3 à 22% du PIB au Royaume-Uni (...) de 10 à 17% du PIB* » en zone euro ; à fin 2014, elle pourrait représenter 70% du PIB au Japon⁵⁶. Cette hausse de liquidité des banques centrales correspond à la ré-intermédiation des expositions interbancaires suite à la quasi-disparition du marché monétaire. Les banques se défiant les unes des autres, elles ne se prêtent plus entre elles mais les moins solides empruntent auprès de la banque centrale tandis que les plus prospères accumulent des liquidités auprès de la banque centrale, argent qui sera disponible en cas de crise. Les seuls programmes américains de sauvetage ont été estimés en 2009 à 4600G\$ par l'administration fédérale américaine pour les 35 premiers programmes⁵⁷, à 12800G\$ par Bloomberg et à 14400G\$ par Nomi Prins pour la totalité⁵⁸. En outre, la focalisation post-2008 vers la liquidité renforce, comme en dynamique des fluides, la propension des circulations aux turbulences et aux phénomènes chaotiques. Elle accentue également la polarisation des choix vers une forme ultime de liquidité, qui est donc encore davantage poussée vers une évolution exponentielle⁵⁹.

Divers processus alimentent ces évolutions exponentielles. Certains sont anciens, d'autres plus récents, et ils sont tous amplifiés par l'usage des techniques numériques, notamment par la démultiplication des transactions à la nanoseconde et la simultanéité des informations sur des acteurs mimétiques (sujet abordé au point 3 de ce chapitre).

⁵³ La valeur notionnelle des produits dérivés est passée de 100 000 à 600 000 milliards de dollars de 2001 à 2007, trois fois plus vite que l'augmentation du PIB mondial (May et Haldane, 2011). Les encours des produits dérivés se montaient en juin 2013 à 10 fois le PIB mondial (près de 693 000 G\$, BRI 2013)

⁵⁴ Banque des Règlements Internationaux (BRI) 2013 : 5300 milliards \$ s'échangent quotidiennement dans le monde (dont 1300 milliards pour le seul marché euro/dollar), 3 fois plus qu'en 2004 et 5-6 fois plus qu'en 1992. Les transactions correspondant à des biens réels (investissement, biens et services, envois des migrants) représentent moins de 5% de ces montants ; en 2013, celles liées à des marchandises représentaient 2%.

⁵⁵ Lietaer et al. 2012 p70 et p147-8. Selon Thierry d'Argent (responsable monde Corporate Finance de la Société Générale, interrogé par Le Monde du 30/12/14, Economie et Entreprise p10) « *le monde a créé plus de masse monétaire ces dernières années que dans le siècle précédent* ». La masse circulante était de 3340G\$ en 2014, soit 47% de plus qu'en 2013.

⁵⁶ le Point, 17 mai 2013

⁵⁷ A titre de comparaison, le coût en monnaie actuelle de la Seconde guerre mondiale pour les Etats-Unis est estimé à 3600G\$ (id. p85).

⁵⁸ Lietaer et al. 2012 p84 ; début 2012, 44 états américains sur 50 étaient de ce fait en situation de faillite.

⁵⁹ « *Le point essentiel de la liquidité, c'est son unicité : il faut qu'il y ait une forme ultime de liquidité (...) La demande de chacun dépend de la demande des autres. Cet effet de réseau résultant d'un processus d'agrégation de la demande a une inertie formidable : il est très difficile de faire évoluer les choses dans l'autre sens. La caractéristique-même de la fonction de liquidité produit cette polarisation (sur le dollar)* » Michel Aglietta, Xerfi Canal, interview 09/12/14.

De même, la quantité de produits dérivés en circulation paraît très supérieure à ce que requerrait une relative stabilité du système financier ; cette situation produit des points singuliers autour desquels le marché diverge⁶⁰. Selon certains, la proportion de produits de couverture de nature spéculative aurait largement dépassé la limite de résilience du système, estimée autour de 60% des produits de couverture totaux⁶¹. Les chaînes d'exposition sont donc très longues en cas d'implosion, tandis que ces marchés captent des flux monétaires croissants aux caractéristiques de plus en plus similaires, gérés de plus en plus au benchmark, au détriment d'autres secteurs et d'autres logiques, donc de la diversité du système.

Enfin, le mécanisme des intérêts composés⁶², non plafonné, induit par construction une évolution exponentielle de leur montant⁶³. Or, la nécessité de payer des intérêts rend par elle-même la croissance matérielle (au sens de création de biens et services nouveaux) indispensable. En effet, si l'on suppose à titre illustratif que la quantité de biens et services qui circulent était globalement stable, la demande de création permanente d'actifs en contrepartie des intérêts ne pourrait que dépouiller mécaniquement une partie des acteurs. Pour le dire autrement, lorsque la rémunération demandée pour le capital est supérieure au taux de progression de l'économie réelle et de la population, la concentration des ressources financières ainsi auto-entretenu se double d'un appauvrissement de la majorité des ménages et entreprises **Figure 9**. C'est pourquoi l'ensemble est fondé sur le présupposé d'une création illimitée de besoins en biens et services, présupposé qui se heurte aujourd'hui à la finitude des ressources et capacités d'absorption de la planète, ainsi qu'aux limites d'une substituabilité monétaire acceptable.

La transposition des rétroactions « prédateurs-proies », qui permettent à un écosystème d'osciller autour d'une zone viable, conduirait donc à examiner par exemple si et comment les taux d'intérêt, pourraient n'être globalement ni durablement supérieurs à la disponibilité en valeur des dits-produits, c'est-à-dire au taux de croissance, de façon à ne pas handicaper structurellement la circulation dans l'ensemble du réseau. Comme la croissance des consommations matérielles se heurte à des limites physiques bien finies, même des perspectives de consommation au rythme actuel de matières et d'énergie seraient rapidement insoutenables (ONU, OCDE...). Tenter d'étendre le domaine de la valorisation marchande à d'autres types d'objets (espaces naturels, production de connaissances etc...) ne fait que reculer cette limite, en affaiblissant par ailleurs un autre facteur de résilience, la non-substituabilité, qui sera examinée au point 2. Rester dans les limites physiques vitales revient donc notamment à poser la question de l'existence d'intérêts composés applicables à l'ensemble des circulations monétaires d'un fincansystème.

Une autre piste serait la limitation des produits dérivés autorisés, notamment en matière de produits corrélés. Une troisième, sans que ces suggestions ne soient limitatives, pourrait être le plafonnement physique des fréquences de trading électronique⁶⁴, et autres façons d'accroître la

⁶⁰ May et Haldane 2011

⁶¹ communication N El Karoui

⁶² Entre 1979 et 2009, la dette publique française est passée de 21 (239G€) à 78% (1489G€) du PIB (euros 2009), puis 82% en 2010. Elle serait en 2009 composée du principal à hauteur de 164G€ (soit 9% du PIB) et d'intérêts cumulés à hauteur de 1340€ (selon AJ Holbecq d'après Champsaur et Cotis).

⁶³ Lietaer et al. 2012 p 181

⁶⁴ Qui par ailleurs ne représente pas d'apport à l'économie et (selon Gayraud, 2014) permet la manipulation auto-réalisatrice de marchés en grandes masses

viscosité des circulations monétaires afin d'en réduire la tendance aux turbulences et aux exponentielles.

c) Une autonomisation du sous-système financier par rapport aux sur-systèmes

L'économie et son sous-système financier sont des systèmes de fait ouverts sur les autres, avec toutes les implications correspondantes. Mais en l'absence de rétroactions des sur-systèmes sur le financystème, les décisions prises sur cette base fausement étanche ont toutes chances d'être inappropriées, ou pire, au regard de ces sur-systèmes⁶⁵.

La faiblesse des rétroactions fut accrue par la mondialisation récente, lorsqu'elle a peu à peu découplé pour les producteurs la rémunération du travail de la consommation des clients, et donc externalisé une rétroaction auparavant interne, pour de larges pans de l'économie réelle, à savoir la sanction liée à l'appauvrissement de ses propres consommateurs. A l'inverse, par exemple, les désordres environnementaux induits se font sentir régionalement (sols appauvris ou incultivables, mers et lacs asséchés, espèces pêchées disparues...) et commencent à basculer vers un dérèglement global (climat, systèmes vivants, pollinisateurs...). **Figure 10**

Ce découplage vaut pour le financystème vis-à-vis des sur-systèmes. L'autonomisation des critères et règles financiers bloque les rétroactions de la réalité sur le modèle, d'autant plus aisément que les modèles sont en général plus malléables que la dure réalité. L'efficacité recherchée est donc restreinte (car ne reflétant pas les ajustements et conditions d'existence des sur-systèmes) et endogène (l'absence de prise en compte des sur-systèmes permettant une certaine auto-réalisation des discours), et tend à détruire la régulation du système dans son ensemble.

Par exemple, la généralisation de la gestion au benchmark, qui conduit chaque acteur financier à apprécier de la même façon le rendement de processus réels par rapport à celui de processus virtuels, est auto-accelératrice. La définition du coût d'opportunité est ainsi également autonomisée. Il en est de même de la construction d'indices agrégeant par exemple énergie, minerais et céréales, devenus pour leurs utilisateurs de simples « widgets » sans lien avec leurs conséquences réelles⁶⁶. Nous sommes bien dans « *le pot de crème à la garde du chat* » de Hayek, mais le chat est devenu le financystème. May et Haldane⁶⁷ soulignent cette autonomisation en rappelant que « *les deux-tiers de la croissance spectaculaire des bilans bancaires sur les décennies récentes reflètent les relations intérieures au système financier lui-même plutôt qu'avec des acteurs non-financiers* ».

⁶⁵ "There is a super bubble that has been going on for 25 years or so that started in 1980 when Margaret Thatcher became Prime Minister and Ronald Reagan became President. That is when the belief that markets are best left to their own devices became the dominant belief. Based on that we had a new phase of globalisation and liberalisation of financial markets. The idea is false. Markets do not correct towards equilibrium. The whole construct, this really powerful financial structure, has been built on false grounds. For the first time this entire system has been engaged in this [economic] crisis." (George Soros)

⁶⁶ Master et White, 2008 ; indifférence ou contresens par rapport au réel, comme par exemple ce titre des Echos en mars 2006 : "La sécheresse ranime le cacao". ...

⁶⁷ May et Haldane, 2011

L'autonomisation du sous-système s'exprime aussi par les normes IFRS : le principe de la « fair value » appauvrit l'analyse de tout objet en le ramenant à un même fonctionnement de marché au lieu de l'articuler avec ses fondements intrinsèques dans les sur-systèmes⁶⁸. Les prémices de cette logique, si elle devient dominante, sont peu compatibles avec les processus qui animent les sur-systèmes, ne serait-ce qu'en termes de constantes de temps. L'effet est le même que celui de la monétarisation des externalités conçue comme résumant ces dernières : les réalités ainsi « représentées » deviennent interchangeables. Ce qui conduit au point suivant.

2- Une plasticité sans substituabilité

a) La plasticité structurelle du vivant

Il a été vu que les écosystèmes puisaient une part de leur résilience dans une certaine plasticité des relations inter-spécifiques : lorsque l'un des maillons ou l'un des liens du réseau défaille, pour raisons internes ou externes, les flux de matière et d'énergie qui passaient par lui peuvent être, temporairement ou définitivement, partiellement ou totalement, repris par d'autres liens ou espèces. Cette plasticité est proportionnelle à la présence de redondances ou de réserves par rapport à un flux théorique d'efficacité maximale comme évoqué en partie B.

Cette plasticité du système peut se retrouver à des degrés plus ou moins forts à l'échelle de l'individu, mono- ou pluricellulaire, lorsque par exemple une plante de désert en dormance depuis des mois, se met à produire en quelques jours voire heures tige, fleurs et graines dès qu'une pluie tombe ; ou au contraire lorsqu'une plante prospérant sous forme de tiges et feuilles en bonnes conditions se met à produire fleurs, fruits et graines si un stress hydrique ou thermique survient. En effet, elle dispose de cellules restées indifférenciées (non spécialisées) ou capables de se différencier pour se mettre à fonctionner de façon différente en adoptant une autre spécialisation.

Enfin, plasticité ou au contraire rigidité des représentations et des organisations conditionnent la survie ou la disparition de sociétés ou de civilisations, comme le décrit Jared Diamond⁶⁹.

Dans tous les cas, la capacité de résilience dépend d'une part de capteurs capables de renvoyer des informations sur l'évolution du monde extérieur (ce qui suppose la reconnaissance des signaux des sur-systèmes vers les financystèmes), d'autre part d'une structure qui, une fois ces signaux reçus et interprétés, soit capable de plasticité fonctionnelle voire morphologique.

Or cette plasticité est liée à deux caractéristiques : d'une part la connectivité des nœuds du réseau, qui doit être suffisante et non excessive, comme vu précédemment, d'autre part la diversité des rôles joués par les nœuds du réseau. La diversité interne permet que toutes les relations du système

⁶⁸ Il est à noter que le développement exponentiel du secteur du numérique, accueilli très favorablement par le monde financier car ayant notablement accru ses moyens de créer des évolutions exponentielles non régulables par les sur-systèmes (cf Gayraud 2014) consiste souvent à capter une part croissante de la valeur dégagée par les biens et services au profit d'une nouvelle interface clients. Ce que faisant, il pourrait menacer, s'il s'autonomisait à son tour par rapport aux sur-systèmes, de priver le sous-jacent de possibilités de réinvestissement.

⁶⁹ Diamond, 2006

ne soient pas sensibles de la même façon aux mêmes signaux, et que le système même interconnecté soit beaucoup moins exposé à des scénarios épidémiques ; elle sera traitée au point 3.

b) La substituabilité du vivant, à l'échelle du temps humain, est limitée

S'ils présentent une certaine plasticité des chaînes trophiques, les écosystèmes ne sont pas interchangeables, ni entre eux, ni avec des biens fabriqués : les services rendus par les océans en termes biologiques, physico-chimiques et climatiques ne sont pas remplaçables par une succession de piscines, d'aquacultures et de réacteurs à micro-algues. Les pollinisateurs des cultures et des écosystèmes ne sont pas remplaçables par la pollinisation à la main ou même de nombreux drones, ne serait-ce que pour leur rôle trophique vis-à-vis des oiseaux et la coévolution végétaux/animaux qui devra avoir lieu avec le réchauffement climatique. La destruction de la stabilité climatique du globe, si elle s'enclenche, ne sera ni compensable ni rattrapable par des quantités de monnaie. Nous retrouvons la parabole de Midas...

Ainsi, la monétarisation des services, des régulations et des ressources naturelle, si elle était considérée comme la clef de l'articulation avec les sur-systèmes, mettrait en oeuvre une substituabilité souvent illusoire, d'autant plus dommageable pour les processus du monde physique que de nombreux dommages causés de ce fait à celui-ci sont irréversibles à l'échelle humaine et potentiellement mortels pour les sociétés voire l'espèce⁷⁰. Les outils financiers ne sont donc pas neutres vis-à-vis des sur-systèmes. Les pistes à étudier pour contingenter les crises ainsi induites pourraient être de différencier les traitements des domaines non substituables dans le monde réel, d'assurer sinon leur non-convertibilité, du moins que cette convertibilité ne soit pas systématique dans les opérations, conventions et calculs. Le programme de TLTRO 2014 de la BCE, en « affectant » une certaine création monétaire au financement des entreprises, pourrait correspondre à une tentative de compartimentation (avec peu de moyens de régulation néanmoins) pour cette somme entre l'activité interne du financystème lui-même et sa contribution au sur-système économique. Une différenciation organisée des acteurs, des outils ou/et des supports d'échange pourrait contribuer naturellement à réduire la substituabilité, comme exposé ci-après.

3- Une résilience par la diversité

a) La diversité concerne les acteurs et leurs types de relations

En biologie, c'est la diversité qui permet la résilience, par exemple en permettant à d'autres espèces de remplacer provisoirement celle qui a été atteinte par un facteur extérieur afin de maintenir les fonctionnements des cycles, ou en permettant par complémentarité des apports de recoloniser un milieu après dévastation : par exemple dans le cas des lichens, le champignon apporte l'eau et les sels minéraux voire l'azote, l'algue le carbone. C'est aussi la diversité qui permet qu'en cas d'attaque parasitaire ou virale, la totalité d'un niveau trophique (par exemple tous les arbres d'une forêt, d'où, entre autres, l'intérêt des forêts multi-spécifiques) ne soit pas ravagée par l'épidémie. C'est le sens de la Trame verte et bleue instaurée par le Grenelle de l'Environnement, qui tend à réunir sur un tissu continu des conditions de maximisation de la biodiversité, notamment en réponse à l'évolution

⁷⁰ A noter que si la monnaie était assimilable à une marchandise, alors selon certains auteurs, la préférence pour la liquidité devrait conduire, pour éviter la distorsion de marché en faveur de cette liquidité, à ce qu'elle présente comme les autres une obsolescence, c'est-à-dire un taux d'intérêt négatif. (S. Gesell, cité par Spuhr, 1989)

climatique globale. En outre, l'adaptabilité du vivant à tous les milieux fut considérablement accrue dans l'évolution avec l'apparition de la conjugaison cellulaire, c'est-à-dire l'invention de la reproduction sexuée, qui mélange les génomes et accroît la diversité, contrairement au clonage (bouturage, mitose⁷¹ ...) qui reproduit l'identique.

C'est aussi la diversité qui permet l'abondance, par exemple pour accroître sans apports extérieurs la production biologique par hectare (légumineuses, arbres et céréales ensemble par exemple), parce que chaque espèce ne prélève pas exactement la même chose, et échange ses excédents avec ses voisins. Si tous les êtres vivants d'un écosystème visaient les mêmes ressources, c'est-à-dire qu'ils avaient tous la même niche écologique, l'abondance et la résilience seraient bien moindres. Autrement dit, si tous les acteurs de l'écosystème avaient les mêmes critères, les mêmes besoins ou désirs, il y aurait compétition généralisée et appauvrissement du système; or on constate au contraire en écologie davantage de coopération et de complémentarités que de compétitions, notamment interspécifiques, grâce à la diversité des niches écologiques. C'est cette organisation, diverse et coopérative, qui a été sélectionnée par l'évolution⁷². Au plan humain, c'est aussi l'antidote au désir mimétique dévastateur étudié par René Girard⁷³.

Il serait donc nécessaire de diversifier les critères de décision, avec des acteurs présentant des logiques différentes peu substituables les uns aux autres. Des métriques de la vulnérabilité d'une part, multi-critères (du type RSE par exemple) d'autre part⁷⁴ contribueraient aussi à rééquilibrer efficacité et résilience⁷⁵, en réduisant les risques épidémiques, autrement dits systémiques en termes financiers. Ces critères plus nombreux pourraient aussi faciliter la ré-articulation entre le sous-système financier et les sur-systèmes. Les relations entre acteurs de logiques diverses ou/et avec des supports d'échange à propriétés diversifiées, devraient permettre réduire les modes communs de vulnérabilité du système, c'est-à-dire les probabilités de défaillance systémique.

Cette diversification revient à effectuer, dans un système qui reste entièrement interconnecté, une différenciation dans les logiques de réactions, comme, dans le cas des usines d'explosifs, on compartimente les procédés et/ou les stocks pour éviter la contagion d'un nouvel accident. La différenciation peut porter sur les acteurs (la re-séparation des activités de dépôt et d'affaires appartient à cette catégorie, le maintien de différences fonctionnelles entre acteurs bancaires également), les utilisations des supports d'échanges (la compartimentation des usages de types de produits financiers par exemple), ou les supports eux-mêmes (monnaies complémentaires par exemple⁷⁶). Cette diversification devrait fortement atténuer les tendances à l'expansion systémique des risques. Par exemple, si « intégration financière » signifiait « interconnexion », alors elle pourrait être compatible avec une réduction des risques sous réserve des différenciations et rétroactions

⁷¹ Division cellulaire à génome constant

⁷² Aingrain, in Passet 2010 p 625.

⁷³ Girard, 1977

⁷⁴ Livre Blanc pour le financement de la transition écologique, 2013

⁷⁵ Haldane, 2009

⁷⁶ A ne pas confondre avec des monnaies alternatives qui présenteraient des caractéristiques de fonctionnement identiques, voire dégradées, par rapport aux monnaies classiques (comme le bitcoin par exemple)

précédentes ; en revanche, si « intégration financière » supposait l'adoption partout des mêmes critères et comportements, alors elle serait un accélérateur de crises systémiques.

A titre d'illustration de non-compartimentation dommageable, l'application des dérivés de changes, de taux ou d'actions au domaine du crédit aurait accentué la fragilité du système au lieu de la réduire, en exposant aux mêmes perturbations et dans le même sens des domaines qui auraient dû pouvoir continuer à réagir de façon distincte⁷⁷.

b) Une illustration de diversification : les acteurs financiers

De petites compagnies pétrolières et gazières, présentant des frais de structure moins lourds que les majors, prennent souvent la suite de ces dernières quand il s'agit d'exploiter des puits devenant moins rentables pour elles. De même, des entreprises financières ayant des objets sociaux et des fonctionnements différents peuvent occuper des sphères d'activité (des « niches écologiques ») distinctes : les rendements financiers minimum ou les montants planchers des opérations (investissement, crédit) retenues peuvent varier notablement entre sociétés en fonction de leurs tailles, objectifs et positionnement stratégique. Ces acteurs sont peu substituables les uns aux autres car ils suivent des logiques différentes : banques commerciales, banques coopératives, banques de crédit, banques d'affaires, banques publiques, low profit limited liability corporations (Etats-Unis), banques de monnaies complémentaires, fonds⁷⁸ ... Ils ont donc des « rôles » différents au sens des réseaux de flux. En matière financière, cette diversité des modèles économiques des agents est une condition indispensable à la résilience du système financier ; au contraire, des comportements mimétiques, éventuellement pour raisons stratégiques⁷⁹, sont à l'origine de risques systémiques.

Comme vu précédemment, un financystème composé d'acteurs de tailles différentes induit aussi une diversification des rôles (au sens de la théorie de l'information) et des niveaux de connectivité. Par exemple, plus un acteur financier est gros, moins les petites opérations l'intéressent. D'après l'observation des écosystèmes⁸⁰, le maintien dans la fenêtre de viabilité suppose un plafond de connectivité et donc de taille, une concentration excessive de liens sur un type de nœud le transformant en point d'accumulation au détriment de la circulation générale et en germe épidémique en cas de défaillance (« too big to fail »). L'aléa moral « too big to fail », la concentration des acteurs résultant des crises et l'unicité des critères de contrôle auraient plutôt tendance à réduire cette diversité, et à accroître la probabilité de mode commun de défaillance, ainsi que la concentration des flux monétaires.

⁷⁷ communication N El Karoui

⁷⁸ Certains acteurs utilisent des ressources publiques (bonifications, garanties, crédits budgétaires...) pour occuper un créneau spécifique vis-à-vis des demandeurs de financements, mais sans pour autant utiliser en interne de critères différents des autres acteurs. Ils ne constituent donc pas une vraie diversification.

⁷⁹ Farhi E. et Tirole J. 2012

⁸⁰ Dans un organisme vivant également, la membrane hémi-perméable des cellules laisse passer ou bloque des substances de façon différenciée, ce qui correspond à la spécialisation fonctionnelle cellulaire, indispensable à la survie et au développement de l'ensemble de l'organisme.

c) Une autre illustration de diversification : les monnaies complémentaires

Un exemple de contra-cyclisme structurel est fourni par la monnaie complémentaire B to B créée en 1934 en Suisse, le WIR, pour permettre aux PME de surmonter la crise économique et financière en cours. Cette monnaie est émise par une banque coopérative, sous le contrôle de la banque nationale helvétique ; son bilan est d'environ 3GFS. Le WIR est utilisé aujourd'hui par 20% des PME-ETI du pays, pour des montants cumulés de l'ordre de 2 milliards FS⁸¹, soit de l'ordre de 1% de la M1 en 2005, avec environ 0,8GFS en circulation. Elle reçoit des dépôts en FS dont elle fournit la contrepartie en WIR, et propose des crédits à taux bas en WIR et se rémunère à une hauteur maximale de 1% des transactions. Leurs logiques sont antagoniques puisque le WIR n'est pas sujet à spéculations sur les marchés (non convertible) ; de ce fait, la demande en WIR croît en période difficile ou de taux élevés, et décroît en période calme. Cet effet contra-cyclique par rapport au franc suisse permet de maintenir l'activité, au point que pour certains, c'est à l'existence simultanée de ces deux monnaies de propriétés différentes que la Suisse doit, pour partie, la stabilité de son économie domestique⁸².

De nombreux exemples de monnaies complémentaires existent en Europe et dans le monde (200 au Brésil, une centaine au Japon... environ 4000 dans le monde, dans cinquante pays et touchant environ un million de personnes⁸³), visant BtoB, BtoC ou CtoC. Elles peuvent être émises par une collectivité dans des buts précis⁸⁴. Elles peuvent avoir des supports matériels ou virtuels. Il ne s'agit pas de monnaies alternatives, c'est-à-dire visant à remplacer la monnaie classique dans tous ses rôles (type bitcoin), mais bien de monnaies complémentaires à l'existence de celle-ci, et dotées de propriétés différentes. Ainsi, certaines peuvent porter intérêts (ex : banque Palmas créée en 1998 à Fortaleza⁸⁵), d'autres pas (surtout en contexte d'abondance monétaire) mais être « à demeure » ou « fondantes »⁸⁶ afin de favoriser l'irrigation de l'économie. Elles sont souvent affectées à un domaine ou un territoire particulier, ce qui introduit une autre restriction au benchmark et à la substituabilité cités plus haut.

On pourrait poser la question de l'efficacité comparée, au sens de la première partie, des monnaies complémentaires, ce qui reviendrait à examiner leurs propriétés dans l'hypothèse où elles seraient seules. Mais d'une part elles viennent justement compléter une monnaie de type conventionnel, et

⁸¹ <http://monnaiesassociatives.blogspot.fr/2008/06/une-monnaie-de-secours-le-wir-en-suisse.html> ;
http://fr.wikipedia.org/wiki/Banque_WIR ;

⁸² Veblen Institute 2011

⁸³ Leblanc, 2011

⁸⁴ Lietaer et al., 2012, Suhr, 1989

⁸⁵ « Le point de départ de la création de la monnaie « Palmas », indexée sur le Réal, dans une favela de Fortaleza est la conscience que « nous ne sommes pas pauvres parce que nous n'avons pas d'argent, mais parce que nous ne dépensons pas notre argent ici », il n'y a pas de « territoires pauvres », mais des « territoires qui s'appauvrissent à force de perdre leur épargne interne ». En 2005 90% des achats se faisaient dans la favela, contre 20% en 1998, 1800 emplois avaient été créés dans le quartier, et 110 banques s'étaient créées sur ce modèle dans tout le Brésil ». (Carlos de Freitas)

⁸⁶ Exemple du Sol en France [http://fr.wikipedia.org/wiki/Sol_\(monnaie_compl%C3%A9mentaire\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Sol_(monnaie_compl%C3%A9mentaire))

d'autre part la question qu'elles traitent n'est pas celle-là : en période difficile, nombre des transactions qu'elles autorisent n'auraient pas eu lieu sans elles.

En outre, plusieurs exemples historiques de grande ampleur ont été documentés⁸⁷ : en Europe entre le 10^{ème} et le 13^{ème} siècle, durant l'empire égyptien, et pendant les trois siècles de la dynastie Tang⁸⁸ ont co-existé plusieurs types de monnaie largement et simultanément utilisés : l'un était conventionnel au sens où il s'agissait d'une monnaie de métal prêtant à intérêt et employée à la fois en interne et dans les échanges internationaux ; l'autre ou les autres avaient souvent un taux d'intérêt négatif dans le temps, étaient utilisés sur un territoire donné ou sur l'ensemble de l'empire ou du royaume, et ciblaient des domaines soit plus restreints soit plus vastes que la monnaie de type conventionnel. Ces configurations à monnaies multiples semblent avoir coïncidé avec des périodes de développement économique, social, artistique et culturel intense, caractérisées par un investissement plus important, une moindre pauvreté des populations et une meilleure condition de la femme que dans les périodes antérieure et postérieure. L'abandon de la complémentarité monétaire au profit du seul type conventionnel semble avoir accompagné, et selon certains auteurs provoqué une dégradation parfois spectaculaire de la situation de la société sur ces trois plans.

Pour illustrer ceci avec un parallèle écosystémique, certaines terres sont réputées trop pauvres pour être cultivées, par référence à un critère de tonnages obtenus à l'hectare (une seule unité, la tonne de matière brute) dans une seule variété cultivée (monoculture) n'occupant donc qu'une seule niche écologique. En revanche, ces terres peuvent donner des productions abondantes en adoptant des systèmes culturels mêlant les espèces, y compris arbres et plantes annuelles, parce qu'elles n'utilisent pas les mêmes ressources aux mêmes profondeurs, parce qu'elles ne poussent pas au même moment, ou/et parce qu'elles adoucissent le climat local, ou/et parce que certaines produisent des éléments nutritifs dont d'autres manquent, ou/et parce que certaines hébergent les prédateurs de ravageurs d'autres plantes. Des observations similaires ont été menées pour les zones pâturables⁸⁹.

Le choix de mesurer l'efficacité d'un système agricole par le seul critère d'efficacité en tonnage par exemple de blé à l'hectare sélectionne par avance le système monocultural, qui est cependant plus consommateur d'engrais, de phytosanitaires, d'eau et de travail mécanique, et plus destructeur de sols et de biodiversité, mais également plus fragile, que d'autres systèmes techniques. En revanche, mesurer l'efficacité de l'agrosystème mixte en prenant en compte l'ensemble de ses productions (céréales, légumineuses, arbres etc ...), c'est-à-dire le rendement en matière vivante à l'hectare, a fortiori en le rapportant aux inputs (énergie, produits de synthèse, apports d'eau) conduirait à des options plus variées.

4- Un bouclage des cycles entretenant les stocks

Un autre principe fondamental pour les écosystèmes, et une condition de base pour la vie, est le bouclage des flux (ex carbone, eau, azote, phosphore...). Les concentrations énergétiques temporaires que sont les organismes sont rediffusées à leur mort dans l'ensemble de l'écosystème.

⁸⁷ Lietaer, 2013 et à paraître Lietaer, 2015

⁸⁸ 618-907 après JC

⁸⁹ voir par exemple les travaux de M. Meuret, INRA, in Dron, 2003

La différence entre une ressource renouvelable et une ressource épuisable est une question de rythme : l'activité humaine sait épuiser des ressources renouvelables (poissons, forêts, nappes, sols...) en les exploitant au-delà de leur rythme de renouvellement, et déboucler les cycles qui permettaient ce renouvellement (par exemple, les sols africains auraient perdu en moyenne 1% de matière organique par an depuis 40 ans, la Beauce également).

L'homme peut ainsi accélérer la remise en circulation de substances bien plus rapidement que les écosystèmes ou l'atmosphère ne savent l'absorber : c'est le cas des gaz à effet de serre, de l'azote de l'air transformé en nitrates ou en ammoniacque en flux déjà supérieurs aux flux naturels mondiaux, du phosphate minéral utilisé notamment pour l'agriculture et pour les lessives et rejeté dans les eaux, des déchets miniers... Ces flux ouverts provoquent aussi des accumulations dommageables comme la pollution des sols ou des nappes (métaux, hydrocarbures, nitrates, phosphates...)

Le fonctionnement financier présente également des processus d'accumulations locales favorisées par des boucles amplificantes⁹⁰, telle que la propension logique des établissements de prêt à ne faire crédit qu'aux acteurs disposant déjà d'épargne, ce qui accentue la concentration monétaire plutôt que le bouclage des circulations⁹¹. Les intérêts se retrouvent en effet dans les produits et services, dont la vente alimente le remboursement du capital investi. Le processus suggère un parallèle avec la matière organique des sols en agriculture. Lorsque le taux de croissance est inférieur à la rémunération du capital, la situation est analogue à celle d'une baignoire dont la bonde grossit plus vite que le débit du robinet : elle se vide, le fond d'épargne de la plupart des ménages et les capacités d'investissement de la plupart des entreprises ont tendance à s'appauvrir. **Figure 11**

Les ressources financières, créées « en creux » par l'emprunt à intérêt, bouclent-elles ailleurs ? Par exemple, alimentent-elles l'offre à défaut de la demande, les salariés et l'investissement à défaut des consommateurs ? Selon Martin Wolf, la création monétaire, aujourd'hui, ne finance pas l'activité pour sa plus grande part : « *only about 10 per cent of UK bank lending has financed business investment in sectors other than commercial property* »⁹². Ce schéma n'est pas nouveau mais il a acquis dans les vingt dernières années une intensité accrue et une extension inégale du fait des outils informatiques et de la connectivité généralisée.

Cette reconstitution de stocks ou de garanties de fonctionnement à long terme n'est de plus pas valorisée par la pratique de l'actualisation dépréciant l'avenir, qui exprime une dissipation constante de la valeur ; cette dépréciation pourrait être considérée comme une des expressions d'un dipôle psychologique « cupidité / peur du manque »⁹³. Elle suppose aussi que les générations suivantes seront plus riches que nous, ce qui est manifestement faux si l'on parle des biens environnementaux,

⁹⁰ Voir la répartition par décile des intérêts perçus et payés dans la population allemande (Lietaer et al. op. cit. p155), ou le patrimoine médian nul des Américains en 2007, suivant une courbe en quasi-Dirac (source Federal Reserve) **Graphes 9 et 10**

⁹¹ Pour mémoire, le prêt à intérêt n'était pas apprécié d'Aristote pour des raisons fonctionnelles : « *Par là, l'argent devient lui-même productif et détourné de sa fin, qui était de faciliter les échanges (...) l'intérêt est de l'argent fils d'argent. Ainsi, de tous les moyens de s'enrichir, c'est le plus contraire à la nature* ». (La Politique, cité par R. Passet, 2010, p56)

⁹² <https://postjorion.wordpress.com/2014/05/09/289-wolf-soutient-le-smart/>

⁹³ Lietaer, 2013

et peut-être bien aussi en termes de richesse monétaire. Roger Guesnerie⁹⁴ explique que dans ce cas, le taux d'actualisation du bien ne doit pas être seulement nul, mais strictement négatif.

5-Un compromis efficience-résilience structurellement déséquilibré dans les financystèmes

Réduire les acteurs ou les critères fragilise donc les systèmes même s'ils les rendent pendant un temps plus efficaces/efficaces au regard des critères qui demeurent⁹⁵. Par exemple, la poursuite d'une efficience numérique croissante de la pêche à la morue de Terre-Neuve a conduit à un spectaculaire pic de prises, immédiatement suivi par l'anéantissement du stock, et des flottes de pêche. **Figure 12**

Si le fonctionnement des marchés financiers est piloté par un nombre de plus en plus restreint d'acteurs dominants et mimétiques, l'ajustement théorique par la statistique des grands nombres n'est plus pertinent. Son efficience peut néanmoins paraître numériquement accrue par la réduction du nombre des acteurs, et par les injections monétaires. Comme les crises successives du système concentrent les acteurs⁹⁶, elles déplacent le point représentatif du financystème vers une fragilité croissante⁹⁷, ce qu'amplifient les créations monétaires utilisées selon les mêmes critères. L'équilibre entre efficience et résilience semble donc bien largement dépassé.

« Le succès de la notion de « résilience » semble symptomatique d'un contexte dans lequel les formes industrialisées des sociétés rencontrent des limites physiques à leur extension planétaire, alors que l'imaginaire d'enrichissement indéfini qu'elles véhiculent s'est, quant à lui, mondialement répandu. La rencontre est violente, non seulement sur les plans physique et biologique, mais aussi d'un point de vue culturel, voire métaphysique. C'est dire que les outils de l'adaptation humaine ne seront pas d'abord technologiques ou mathématiques, mais plutôt symboliques et mythologiques. » Effectivement, la recherche de résilience « s'accompagne d'approches renouvelées en termes de compréhension et de gestion qui opposent un ensemble « système-coopération-résilience-long terme » à un ensemble « secteur-compétition-performance-instant »⁹⁸.

⁹⁴ Guesnerie, 2012

⁹⁵ Goerner et al., 2009

⁹⁶ Entre 1994 et 2014, les banques intervenant sur les marchés internationaux sont passées en France de 18 à 3. Hors Asie, une dizaine de banques seulement dans le monde sont de véritables acteurs de ces marchés (communication N El Karoui). Les 10 plus grandes banques américaines contrôlaient 42% du marché en 2013 contre 28% avant la crise de 2008 (Lietaer, 2012 p126). En 2013, quatre banques contrôlaient 50% du marché des changes (Deutsche Bank, 15,2 % ; Citigroup, 14,9 % ; Barclays, 10,2 % ; UBS, 10,1 %). Avec six autres banques (HSBC, JPMorgan, Royal Bank of Scotland, Crédit Suisse, Morgan Stanley, Bank of America), on atteint 80 % (BRI 3013)

⁹⁷ Goerner et al., 2009

⁹⁸ Dron, 2013

D- Quelles pistes de travail pour re-stabiliser les financystèmes?

Selon la Banque des règlements internationaux, « *l'objectif macroprudentiel le plus réaliste est de renforcer la résilience du système financier en constituant des « volants de sécurité anticycliques au sein du système financier »*⁹⁹. Au regard des analyses précédentes, les financystèmes conventionnels présenteraient aujourd'hui des caractéristiques inverses des conditions de résilience observées dans les écosystèmes:

- peu de rétroactions régulatrices internes ni des sur-systèmes, donnant lieu à des phénomènes exponentiels non maîtrisables (masse monétaire, marchés des changes, quantité de produits dérivés, intérêts composés, bulles etc...);
- une substituabilité généralisée (par l'intermédiaire de la monnaie) donnant lieu à un benchmark permanent entre processus et biens virtuels d'une part, processus et biens réels d'autre part, et entraînant une contagion des logiques du financystème vers les sur-systèmes, contagion dommageable pour ces derniers et pour l'ensemble du fait de la pauvreté et de l'inadéquation des critères ;
- des acteurs de moins en moins nombreux (concentration), de plus en plus similaires dans leur fonctionnement (principes de contrôle et de classement), et quasi-monocritères (rendement financier exprimé en monnaie), à l'origine de mouvements mimétiques forts (choix d'affectation des ressources, bulles et krachs) affectant des parts dominantes du fonctionnement des sur-systèmes ;
- des circulations non bouclées sur les stocks primaires, favorisant une concentration des thésaurisations plutôt qu'une rediffusion dans l'ensemble du réseau, renforcée par l'actualisation.

En outre, la maximisation du critère d'efficacité restreinte conduit à affaiblir trois des conditions de résilience repérées grâce à l'observation des écosystèmes, à savoir soit le maintien de limites viables, soit la diversité des acteurs, soit la plasticité des écoulements, soit les trois à la fois. Par conséquent, plus le sous-système tend à l'efficacité restreinte, moins il est adaptable et résilient. Les chocs interviennent sur un système à nombre d'acteurs réduit, faible diversité et gros flux circulants, sont plus intenses que lorsque la concentration et le débit sont moindres et la diversité supérieure. Ce qui ne constitue pas une surprise écosystémique. D'une façon concise, les écosystèmes naturels apparaîtraient plutôt comme structurellement résilients sauf perturbation extérieure forte, tandis que les financystèmes actuels apparaîtraient plutôt comme structurellement vulnérables sauf régulation extérieure forte.

La plupart des défaillances des financystèmes –bulles, assèchements et accumulations, alignement du réel et du virtuel, court-termisme, aléa moral¹⁰⁰...- semblent bien liées à ces failles systématiques, dont les différents termes interagissent. Ces logiques contribuent en outre à mettre en danger les sur-systèmes, dont les régulations écosystémiques de la planète, avec une ampleur inégalée du fait

⁹⁹ Kelber et Monnet, 2014

¹⁰⁰ Haldane, 2009

de l'irréversibilité physique et biologique de ces destructions, une fois enclenchées, sur des millénaires, et de leur impact vital et simultané sur l'espèce humaine à la dimension du globe. Au-delà de dimensions éthiques qui ne font pas l'objet de cet article, l'atténuation des cycles financiers et de la contagion de leur logique aux sur-systèmes est donc devenue nécessaire.

Les pistes de travail pourraient donc comporter les tests d'éléments tels que :

- un travail français de modélisation selon la méthode de Ulanowicz et Goerner (théorie de l'information) pourrait être mené par la Banque de France à partir des données bancaires réelles pré- et post-choc de 2008, afin de tenter de dimensionner la fenêtre de viabilité du financystème et d'estimer la mesure du coefficient de résilience nécessaire ; en outre, un travail de simulation effectué selon la méthode de May pourrait être reproduit. Les informations résultant des deux voies sont en effet pour une part complémentaires, pour une autre part recoupables.
- des pistes de régulation maintenant les flux dans des limites viables : plafonnement technique de la fréquence de trading et du nombre de produits dérivés, diagnostic de vulnérabilité au regard d'enjeux du sur-système (comme le carbone fossile ou la consommation d'eau), compartimentation des domaines de validité des produits financiers, métriques des limites, plafonnement de la composition des intérêts, plafonnement des taux d'intérêts et de rendement par le taux de croissance, ...
- la recherche d'une plus grande plasticité et d'une moindre substituabilité : extension de l'article 224 de la loi dite « Grenelle 2 » de 2010 à l'ensemble des investisseurs institutionnels sur la base des indicateurs du GSC¹⁰¹, extension du mandat de gestion aux critères du GSC et intégration de ces critères dans la responsabilité fiduciaire¹⁰², voies de réduction de la substituabilité artificielle des objets et processus réels par les logiques monétaires
- le renforcement de la diversité : modulation des normes IFRS en fonction des enjeux de long terme, diversité statutaire des activités et types d'établissements financiers et analyse de leurs contributions¹⁰³, effets économiques du développement de monnaies complémentaires notamment fondantes, effets d'un plafonnement de taille d'acteurs au sein des modélisations ci-dessus (Ulanowicz, May)...
- le développement de tests de résilience systémique aux stress des sur-systèmes¹⁰⁴ faisant intervenir des financeurs de statuts et objectifs divers,

¹⁰¹ German Sustainability Code

¹⁰² Réponse des autorités françaises au Livre Vert sur le financement à long terme de l'économie européenne, juillet 2013

¹⁰³ idem

¹⁰⁴ ibidem

- la sécurisation d'une réalimentation des stocks : effets d'une actualisation strictement négative des biens environnementaux, d'une différenciation monétaire, de l'affectation de ressources aux investissements réels ...

Conclusion

La longévité des écosystèmes, leur capacité à préserver leurs fonctions de base sur longue période malgré les déséquilibres internes et des perturbations externes (pour autant que ces dernières ne deviennent pas globales et continues comme c'est le cas aujourd'hui), sont liées à des caractéristiques bien identifiables. Il semble que les financystèmes actuels présentent des spécificités structurelles qui sont l'inverse de ces caractéristiques. Il serait donc légitime de se poser la question de la transposabilité aux financystèmes de certains mécanismes régulateurs dont la réussite a été éprouvée sur très longue période pour les écosystèmes. A plusieurs périodes de l'histoire et dans divers endroits, des systèmes financiers plus proches de ces caractéristiques auto-stabilisatrices ont été documentées.

Il serait imprudent de considérer que le seul contrôle de la compétence et de la moralité des individus suffirait à réduire les risques propres au financystème actuel. En effet, nous avertit René Thom, « *Un paradigme survit beaucoup à son efficacité, surtout pour des raisons sociologiques* »¹⁰⁵. En outre, il semble que les symboles monétaires activent les mêmes zones du cerveau humain que les impulsions associées à un souhait de satisfaction immédiate, comme le sexe et la violence, de façon encore plus intense, et incitent aussi les individus à réduire leur coopération¹⁰⁶. S'en remettre à la vertu de chacun paraît dans ces conditions peu réaliste. Les raisons d'une confiance renouvelée devraient donc être profondément structurelles. L'observation des écosystèmes pourrait être l'occasion d'un renouvellement de la réflexion en la matière.

¹⁰⁵ Thom, 1980

¹⁰⁶ Dagher 2007; King-Casa 2005

BIBLIOGRAPHIE

- Allesina, Stefano, Bondoni, Antonio et Bondavali, Cristina (2005), 'Ecological subsystems via graph theory : the role of strongly connected components', 'Oikos' 110, 164-176
- Amzallag, Nissim (2010), 'La réforme du vrai'
- 'La bioéconomie, élément clé des transitions énergétique et écologique' (2013), 'Réalités industrielles', Annales des Mines
- Cohen de Lara, Michel et Dron, Dominique (1998), 'Economie et environnement dans les décisions publiques', cellule prospective et stratégie, Documentation française, rapports officiels
- Dagher, Alain (2007), 'Shopping centers in the brain', 'Neuron' vol 53, 7-8
- Diamond, Jared (2006), 'Effondrement : comment les sociétés choisissent de survivre ou de disparaître'
- Dron, Dominique (2013), 'La résilience, objectif et outil de politique publique', 'La résilience: plus qu'une mode ?', 'Responsabilité et Environnement', Annales des Mines
- Dron, Dominique coord. (2013), 'Livre blanc sur le financement de la transition écologique', ministère de l'Economie et des Finances, ministère de l'Ecologie
- Dron, Dominique coord. expertise collective (2003), 'ATEPE : Agriculture, territoire, environnement dans les politiques européennes' (les marges de manœuvre environnementales des grands systèmes agricoles français), Dossiers de l'environnement de l'INRA 23
- Farhi, Emmanuel et Tirole, Jean (2012), 'Collective moral hazard, maturity mismatch and systemic bailouts', 'American Economic Review', 102(1): 60-93
- Foucart, Stéphane (2014, 26/09), 'La croissance est-elle l'ennemie du climat ?', Le Monde
- Gallopin, Gilberto C. (2006), 'Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity', 'Global Environmental Change' 16, pp. 293-303
- Gayraud, Jean-François (octobre 2014), 'Un nouveau capitalisme criminel : dérégulation aveugle, géantes scènes de crimes', RFCDP n°3, p77-98
- Girard, René (1977), 'Des choses cachées depuis la fondation du monde'
- Goerner, Sally J. et al. (2009), 'Quantifying economic sustainability: implications for free-enterprise theory, policy and practice', 'Ecological Economics' 69, 76-81

- Guesnerie, Roger (2012), 'La responsabilité envers les générations futures', conférence Collège de France
- Haldane, Andrew G. (2009, 10/02), 'Why banks failed the stress test', Marcus-Evans conference on stress-testing, London
- Hayek, Friedrich A. (1990), 'Denationalisation of money : the arguments refined – an analysis of the theory and practice of concurrent currencies', The Institute of International Affairs
- Kalinowski, Wotjek (2011, octobre), 'Currency pluralism and economic stability: the Swiss experience', Veblen Institute
- Kelber, Anna et Monnet, Eric (2014), 'Politiques prudentielles et instruments quantitatifs : une perspective historique européenne', 'Revue de stabilité financière' n°18, Banque de France 165-175
- King-Casa Brooks et al. (2005), 'Getting to know you: reputation and trusting in a two-person economic exchange', Science, 308, 78-83
- Leblanc, Nicolas (2011), 'Les monnaies locales dans les failles de l'économie', 'Territoires'
- Le Chatelier, Emmanuelle, Clément, Karine, et al. (2013), 'Richness of human gut microbiome correlates with metabolic markers', Nature 500 541-546, 29 août 2013
- Legendre, Pierre (2007), 'Dominium mundi : l'Empire du Management'
- Lietaer, Bernard, Ulanowicz, Robert E., Goerner, Sally J. et McLaren, Nadia (2010 avril), 'Is our monetary structure a systemic cause for financial instability? Evidences and remedies from nature', 'Journal of Future Studies', special issue on the financial crisis
- Lietaer, Bernard, Arnsperger, Christian, Goerner, Sally et Brunnhuber, Stefan (2012), 'Money and sustainability, the missing link' (version augmentée à paraître 2015)
- Lietaer, Bernard (2013), 'Au cœur de la monnaie'
- Masters, Michael W. et White, Adam K. (2008, 31/07), 'The accidental hunt brothers: How institutional investors are driving up food and energy prices', special report
- May, Robert M. et Haldane, Andrew G. (2011), 'Systemic risk in banking ecosystems', 'Nature' 469, 351-355
- Moulier Boutang, Yves (2010), 'L'abeille et l'économiste'
- Passet, René (2010), 'Les grandes représentations du monde et de l'économie à travers l'histoire'
- Rockström, Johan et al. (2009), 'Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity', 'Ecology and Society', vol14 n°2 art 32

- Sagoff, Mark (1980), 'The economy of the earth', Cambridge
- Smil, Vaclav (2013), 'Harvesting the biosphere'
- Suhr, Dieter (1989), 'The capitalistic cost-benefit structure of money', Studies in Contemporary Economics
- Thom, René (1980), 'Paraboles et catastrophes'
- Ulanowicz, Robert E. et Baird, Daniel (1989), 'The seasonal dynamics of the Chesapeake Bay ecosystems', 'Ecological Monographs' 59-4, 329-364
- Ulanowicz, Robert E. (2009), 'The dual nature of ecosystems dynamics', 'Ecological modelling' 220, 1886-1892
- Ulanowicz, Robert E. (2009), 'Quantifying sustainability : resilience, efficiency and the return of information theory', 'Ecological Complexity' 6, 27-36
- Zorach, Alexander C. et Ulanowicz, Robert E. (2003), 'Quantifying the complexity of flow networks : how many roles are there ?', 'Complexity' 8-3, 68-76