



Institut Veblen
pour les réformes
économiques

Pour une régulation écosystémique de la finance

DOMINIQUE DRON

OCTOBRE 2015

RESUME

Cette note propose des éléments conceptuels et des pistes pratiques pour une nouvelle approche de la régulation financière, fondée non sur une théorie *a priori* mais sur des enseignements tirés de l'étude des écosystèmes naturels. Les écosystèmes font partie des systèmes complexes au même titre que les systèmes financiers, les systèmes d'information ou les systèmes énergétiques. Puisque le fonctionnement de tout système peut se modéliser au moins partiellement en termes mathématiques, l'observation des écosystèmes permet d'identifier des principes de résilience dont il est légitime de penser qu'ils sont valables dans d'autres domaines.

Des travaux de recherche récents montrent que la longévité et la capacité d'autorégulation des écosystèmes reposent sur quatre principes de résilience : l'existence de rétroactions permettant de maintenir le système 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 ; enfin, des cycles bouclés de matière et d'énergie permettant d'entretenir les stocks vitaux.

Dans le cas du système financier actuellement dominant, ces sources de résilience s'avèrent absentes ou fortement lacunaires. En conséquence, son fonctionnement est loin du compromis résilience/efficacité établi par les écosystèmes, et son évolution spontanée va plutôt dans le sens inverse. Pour y remédier, la note introduit des pistes de régulation 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.

Il ne s'agit pas d'appliquer une modélisation écosystémique au système financier, ce qui ne serait qu'analogie et réductionnisme, mais au contraire de percevoir façon plus objective les traits structurels des financystèmes grâce à l'éclairage fonctionnel d'autres systèmes complexes, dégagés des interprétations théoriques de l'économie classique.

* Ingénieure des Mines. L'auteur s'exprime à titre personnel. Cette note reprend et complète la présentation faite lors d'un séminaire de la Banque de France/ACPR le 26 janvier 2015

« Pour une régulation écosystémique de la finance »

DOMINIQUE DRON

OCTOBRE 2015

L'institut Veblen œuvre pour une société où le respect des limites physiques de la planète va de pair avec une économie inclusive et plus démocratique. Il est soutenu par la Fondation Charles-Léopold Mayer pour le Progrès de l'Homme.

www.veblen-institute.org



1. LA FINANCE COMME SOUS-SYSTEME

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 (l'année de la crise des tulipes hollandaises) à 1929. Cette instabilité intrinsèque du système financier actuel vient d'être rappelée par la crise financière mondiale de 2008, et elle contraste fortement avec le fonctionnement d'un autre type de système complexe, les écosystèmes naturels.¹ Ces derniers ont développé et sélectionné sur un temps très long des principes de régulation suffisamment efficaces pour résister ou se restaurer après de nombreux chocs d'origine physique, chimique ou biologique. L'efficacité de ces régulations a été démontrée par la longévité des écosystèmes et leur capacité de se maintenir en équilibre – du moins jusqu'au siècle dernier, lorsque l'impact des activités humaines a commencé à affecter aussi bien le climat et les espèces vivantes que les habitats, les sols et les océans.

Une précision sémantique préalable s'impose au sujet de cette comparaison. Il est possible de parler de l'écosystème planétaire au singulier, car tous les milieux sont interdépendants : exemple parmi d'autres, la majeure partie de l'oxygène de l'atmosphère est fabriquée par le plancton marin, lui-même dépendant entre autres des nutriments et du pH des eaux marines, ce dernier influencé notamment par la teneur de l'air en CO₂, SO₂ et autres précurseurs d'acides. Cependant, un dérèglement dans un milieu donné – une forêt boréale par exemple – ne se répercute pas instantanément partout car le système planétaire n'est ni isotrope ni homogène, et chaque milieu dispose de capacités « tampons ». L'écosystème planétaire présente donc une compartimentation relative en écosystèmes régionaux et locaux, le singulier et le pluriel coexistent et ont un sens. De même, le système financier mondial est composé de sous-compartiments plus ou moins intensément connectés, selon par exemple la convertibilité des devises ou le degré d'ouverture des marchés financiers. Même si l'évolution des dernières décennies va vers une homogénéisation et des interconnexions accrues, on peut donc là-aussi parler du ou des système(s) financier(s).

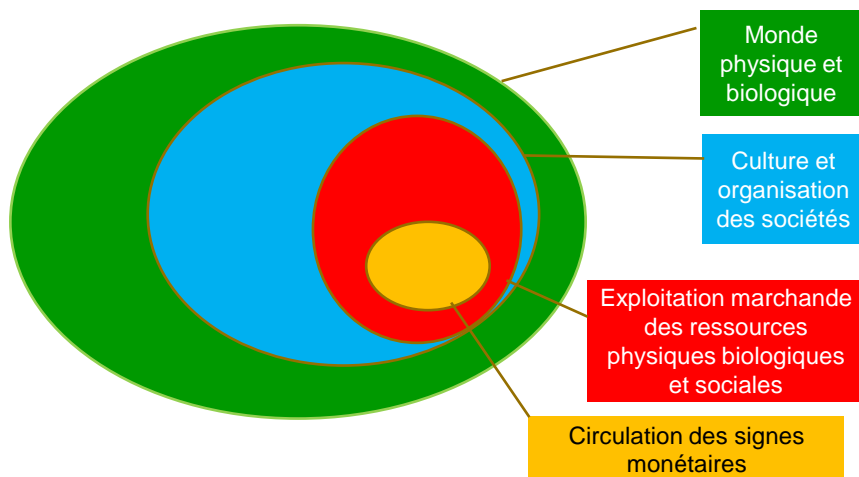
L'observation des régulations écosystémiques pourrait donc enrichir le débat actuel sur les conditions de résilience des systèmes financiers, appelés ici par symétrie « financystèmes ». Des pistes de recherche récentes, qui associent la théorie de l'information, l'analyse des réseaux pondérés, l'observation des écosystèmes et l'histoire des sociétés, viennent renouveler la réflexion théorique et pratique consacrée à ce sujet. Parallèlement, à l'échelle des institutions internationales, l'ONU et le G20 se préoccupent

¹ 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, comme un « système écologique en autopilotage spontané », par opposition aux systèmes anthropisés où l'influence humaine est déterminante

désormais de l'impact du dérèglement climatique sur la stabilité du système financier², mais aussi des impacts de ce dernier sur la résilience des autres systèmes³.

Le développement soutenable est souvent représenté par ses trois « piliers » que sont l'économie, la société et l'environnement (on y note l'absence de la finance, implicitement incluse dans le domaine économique), plaçant sur le même plan ces trois domaines. Mais si l'on considère chacun de ces domaines (nature, société, économie, finance) du point de vue de leurs conditions d'existence, la représentation de leurs relations devrait plutôt prendre la forme de sphères emboîtées, comme l'ont déjà suggéré des auteurs comme René Passet ou Herman Daly. 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 ne constitue qu'une sous-partie, d'importance variable, de la vie des sociétés. Enfin, le secteur financier, qui manie les symboles monétaires reliés à cette activité économique, ne peut exister qu'autant qu'il est porté par ses sous-jacents ; il s'agit donc du sous-système le plus restreint et objectivement le plus dépendant des autres (voir figure 1.)

Figure 1. Quels liens entre les systèmes?



1

Ces différentes sphères interagissent-elles les unes avec les autres de façon soutenable et cohérente ? Le degré de diversité et d'information s'appauvrit considérablement en

² Par exemple : <http://sustainability.thomsonreuters.com/2014/11/11/executive-perspective-g20-greening-global-finance/>

³ Par exemple : "Inquiry : Design of a financial sustainable system", UNEP 2014

passant des sur-systèmes⁴ au dernier sous-système, et le fonctionnement de l'ensemble exigerait une bonne congruence des critères des sous-systèmes avec ceux des sur-systèmes. Or, l'observation montre plutôt une contagion inverse de logique, depuis le sous-système financier vers les sur-systèmes. La cybernétique enseigne que le contrôle d'un système diversifié, riche en informations et boucles de rétroactions, par un sous-système plus pauvre aboutit alors à la perte de cohérence d'ensemble et à la destruction du système. En biologie, une faible sensibilité d'un sous-système par rapport aux signaux des sur-systèmes n'est pas synonyme de robustesse mais de vulnérabilité⁵.

Dans l'histoire de la discipline économique, cet appauvrissement informatif vient d'une recherche de commodité pour la modélisation et le calcul : le fondateur de la modélisation économique Léon Walras expliquait qu'il avait par facilité représenté l'économie comme un système physique en équilibre et évincé, pour des raisons pratiques, les activités non marchandes du champ des calculs. Ces raisons furent par la suite occultées dans les raisonnements des économistes, introduisant une rupture quasi-épistémologique entre le champ des calculs économiques et le reste du monde⁶. On le voit à travers les concepts d'externalité et d'internalisation, conçus comme une monétarisation d'enjeux non financiers voire non économiques. Ces concepts apparaissent ambigus : ils reconnaissent la myopie des marchés financiers, mais leur utilisation même introduit une substituabilité illusoire entre des temporalités, des dynamiques et des phénomènes non comparables, à la façon du lit de Procuste⁷ dans la mythologie grecque. En effet, s'il a été fort utile de traduire en langage monétaire des phénomènes qui échappaient à l'analyse financière⁸, cette traduction reste 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 financier⁹. 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

⁴ Dans le reste de cette note, on appellera sur-système (respectivement : sous-système) un système incluant (respectivement : compris dans) le système considéré.

⁵ Dron, 2013

⁶ 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 » 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 géré. 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).

⁷ Procuste était un géant brigand qui arrêta les voyageurs et les allongea 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.

⁸ Voir par exemple Cohen de Lara et Dron, 1998

⁹ 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.

l'introduction de substituabilités erronées via la simplification monétaire peut créer une confiance excessive dans la représentativité des résultats en situation réelle.¹⁰

Plus largement, de nombreux exemples montrent que l'autonomisation du sous-système financier par rapport aux sur-systèmes a été progressivement construite par la théorie et le jargon des économistes.¹¹ Vis-vis de la société d'abord, la croyance en « l'harmonie naturelle des intérêts » a permis au domaine d'échapper aux interrogations morales collectives. Par rapport à l'économie ensuite, la « loi de la demande » agrégée au niveau d'un marché ne fonctionne que dans un univers à une seule marchandise et un seul consommateur dit représentatif, ce qui est rarement le cas dans la réalité.¹² Vis-à-vis de la nature enfin, les modèles d'équilibre ignorent les temporalités du monde réel, alors que celles-ci constituent une limite fondamentale à la substituabilité du capital économique avec le capital physique. A. Pottier montre ainsi que les scénarios du Club de Rome ne pouvaient être compris par les économistes standard du fait d'un certain nombre d'hypothèses non démontrées mais persistantes¹³ : la théorie économique standard traite les biens consommés comme s'ils disparaissaient dans l'acte d'achat, alors que les déchets et les polluants en fait demeurent. En outre, les conséquences sociales et économiques des dommages environnementaux ou des pénuries de ressources sont souvent largement sous-estimées par disqualification ou rejet des autres domaines du savoir¹⁴. Dernier exemple, mesurer l'influence d'un processus ou d'une ressource sur le fonctionnement économique fut longtemps assimilé à mesurer sa seule part dans le PIB : d'où la sous-estimation énorme de l'impact économique et sociétal des aléas liés par exemple à l'énergie.¹⁵

Cette 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 le monde lui-même. Par exemple, la généralisation de la gestion au benchmark¹⁶, 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-accélétratrice. 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 réelles¹⁷. May et Haldane¹⁸ rappellent ainsi 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* ». Enfin, l'autonomisation du

¹⁰ 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.

¹¹ La plupart des exemples de ce paragraphe sont tirés du livre de Steve Keen « L'imposture économique » (2014), ou de la thèse d'Antonin Pottier « L'économie dans l'impasse climatique » (2014).

¹² Keen St. (op.cit.) p82-95

¹³ Pottier A. (op.cit.) p127-132

¹⁴ Keen St. (op. cit p225-9, Pottier A. (op. cit.) p282-284, de Lara et Dron (1998).

¹⁵ Pottier A. (op. cit.) p130-9, 148-9

¹⁶ Cette tendance se poursuit : les Echos (12 octobre 2015) relèvent en couverture une « ère de volatilité extrême des marchés » liée notamment à « une montée en puissance de la gestion passive » indicielle. C'est-à-dire le contraire d'une reconnexion aux sur-systèmes.

¹⁷ 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* ».

¹⁸ May et Haldane, 2011

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-systèmes¹⁹. L'effet est le même que celui de la monétarisation des externalités conçue comme résumant ces dernières : les réalités ainsi « représentées » deviennent interchangeableables.

2. MODÉLISATION DES RÉSEAUX COMPLEXES

Les similitudes structurelles entre écosystèmes, infosystèmes et financystèmes ont été examinées dans la littérature²⁰ : dans les trois cas, il s'agit de réseaux de flux (pondérés ou non) organisés sur la base des mêmes principes d'échange, de connexion et d'interdépendance, mais qui se différencient entre eux par la nature et le rythme des quantités échangées, ainsi que par les détails des relations entre espèces ou acteurs au sein de chaque réseau. Pour ce qui concerne les écosystèmes, les premiers essais de description dynamique de leur comportement remontent à plusieurs décennies. Ils y apparaissent comme des réseaux aux maillons fortement interdépendants entre lesquels circule – entre autres – l'énergie contenue dans la matière vivante, au long des chaînes trophiques²¹ allant des proies, végétales ou animales, aux consommateurs successifs, puis aux détritivores et aux sols. Dans une vision thermodynamique, l'énergie est utilisée à chaque étape avec une efficacité (rendement nutritionnel) plus ou moins élevée (voir figure 2.)

L'immense diversité du vivant rend les tentatives de modélisation a priori délicates : celles-ci sont donc fondées sur et corroborées par l'observation in situ et, depuis récemment, en vastes installations d'expérimentation, les Ecotrons. Des centaines d'observations réalisées à différentes périodes de l'année ont permis de décrire et de quantifier les relations entre espèces en unités énergétiques. Chaque espèce est caractérisée par son abondance, ses proies et ses prédateurs ; la connaissance scientifique de leur physiologie et de leur écologie permet l'interprétation de leurs abondances

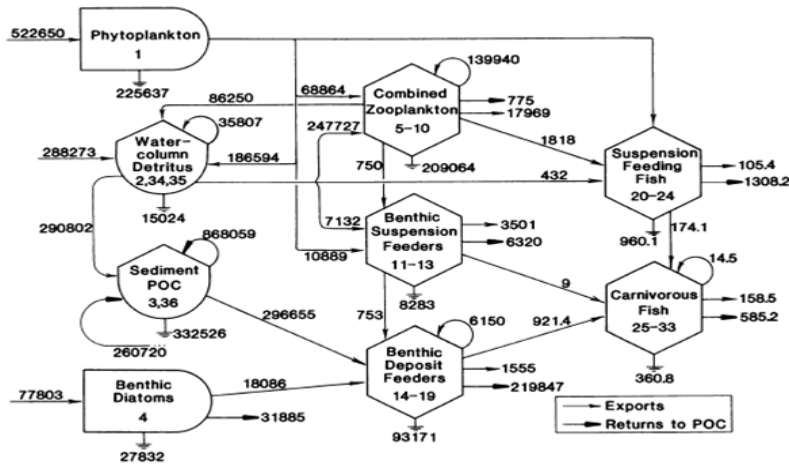
¹⁹ Il est à noter que le développement exponentiel du secteur du numérique, accueilli très favorablement par le monde financier car ayant notablement accru ses moyens de créer des évolutions exponentielles non régulables par les sur-systèmes (cf Gayraud 2014) consiste souvent à capter une part croissante 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.

²⁰ Allesina et al., 2005

²¹ 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 en 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.

relatives, fluctuantes, à travers des jeux d'interdépendances. Les écosystèmes sont ainsi représentés sous forme de réseaux de flux pondérés.

Figure 2: L'écosystème comme un réseau de flux pondérés. (D'après Ulanowicz & Baird, 1989)



2

Pour évaluer la complexité des écosystèmes et les rôles qu'y jouent les diverses espèces ou groupes d'espèces, des chercheurs ont eu recours aux notions de flux, de nœuds et de connectivité utilisées dans les systèmes informationnels.²² 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. Ces chercheurs ont découvert que les écosystèmes en bon état se situaient toujours dans une « fenêtre » de connectivité et de diversité (voir figure 3), que les réseaux ne sont pas isotropes en densité de liens et qu'une certaine compartimentation intérieure peut y être observée.²³ 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, n'est que possible si les relations A-C et B-C existent déjà, ou du moins si A, B et C coexistent. L'autre condition nécessaire est que les dommages dont A serait victime n'affectent pas également B. A cette condition, la circulation de l'énergie et des diverses

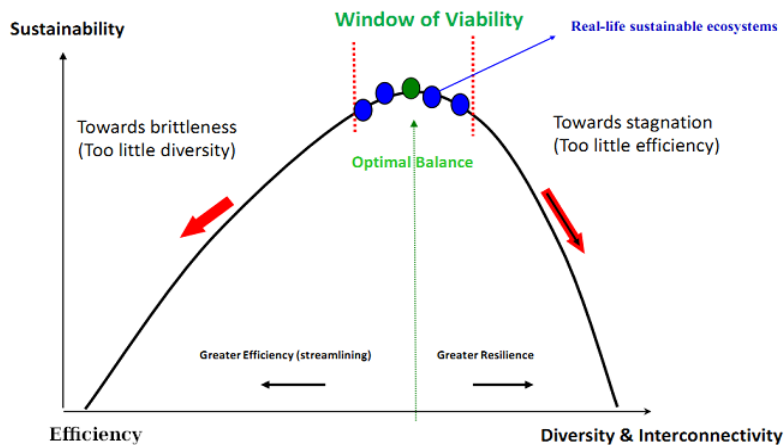
²² Zorach et Ulanowicz, 2002

²³ Ulanowicz et al., 2009 ; Allesina, Bondoni et Bondavali, 2005

substances (eau, carbone, azote, phosphore...) dans l'ensemble du réseau peut se réajuster et se maintenir.

Figure 3: diversité et résilience

(D'après Goerner et al. 2009)



3

En effet, cette résilience dépend d'une configuration du réseau où les différentes voies trophiques ne sont pas vulnérables aux mêmes stress. Par exemple, si une espèce intermédiaire est décimée par la maladie ou la chasse mais qu'une autre est capable de prendre le relais et donc assurer la circulation de l'énergie, l'écosystème sera résilient. 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 les visant toutes (limicoles ou passereaux d'une région, poissons carnivores d'un bassin océanique...) de façon prolongée, alors il reste peu ou aucun 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, des « niches écologiques » en biologie) qui fait la résilience.

En somme, un écosystème est d'autant plus vulnérable que les acteurs/espèces exposés ont des modes communs de vulnérabilité et se situent à la convergence des 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).

Quant aux analyses des réseaux financiers, elles décrivent souvent des expositions en chaîne²⁴, c'est-à-dire des tensions sur le patrimoine et la solvabilité des acteurs induites par la défaillance de l'un d'entre eux. L'enjeu principal est alors de mesurer à quel point

²⁴ Cf. Allen et Gale, « Financial contagion » Journal of Political Economy, 2000

et sous quelles conditions les défaillances probables sont ou non systémiques. La réponse dépendra du fonctionnement des acteurs entre lesquels circulent (ou pas) des flux financiers ayant certaines caractéristiques. Ce sont ces caractéristiques que le reste de la présente note se propose d'observer, en s'appuyant sur les analyses de fonctionnements d'écosystèmes longévifs.

Des écosystèmes au système financier

La littérature académique n'a pas attendu la crise financière de 2008 pour examiner les parallèles possibles entre le fonctionnement des écosystèmes et ceux du système financier.²⁵ Une première approche²⁶, apparue dès les années 1980, part de la théorie systémique de l'information. Elle assimile l'adaptabilité d'un système à la capacité des liens qui relient ses différents composants à prendre une configuration inédite. On constate ainsi que cette dernière grandeur est intrinsèquement commensurable et supérieure 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.

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 situé en amont (dit inférieur) et un échelon situé en aval (dit supérieur) de l'écosystème permet aux certaines chaînes de prendre le relais lorsque un ou plusieurs maillons d'autres chaînes interrompent ou ralentissent leur activité.²⁷ L'activité des espèces qui demeurent s'en voit alors accrue²⁸. En langage économique, ces chaînes et espèces répondent par une activité contra-cyclique à l'appauvrissement du flux à travers les chaînes endommagées.²⁹

²⁵ Comme présenté dans le numéro des Annales des Mines consacré à cette notion, « *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 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. (...).* » 'La résilience, plus qu'une mode', 2013

²⁶ Ulanowicz et al., 2009

²⁷ Ibid.

²⁸ 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).

²⁹ Ulanowicz et al., 2009

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, ces différences permettent la cohabitation de divers types d'acteurs sans que cela ne se traduise par une relation de concurrence ni par l'exposition simultanée des agents et des liens trophiques aux mêmes atteintes ou pénuries, même si ces derniers se situent au même niveau trophique : certains maillons peuvent donc prendre le relais lorsque d'autres sont 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. 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 grand flux ou ne se trouve en situation de privation. La borne supérieure de connectivité implique l'existence d'une compartimentation relative et non 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. La « fenêtre » de connectivité et de diversité 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.

Une deuxième approche de la résilience financière est issue de la littérature strictement financière. Historiquement, la résilience y fut mesurée établissement par établissement, dans l'idée que si chaque acteur individuel était résistant, le système gagnerait lui-même en solidité. C'est dans le sillage de la crise financière de 2008, qui avait rendu manifeste le risque systémique, que certains régulateurs ont commencé à examiner la résilience du réseau lui-même. La méthode consiste à réaliser des simulations de réseaux bancaires et de marchés en y introduisant des chocs : une faillite bancaire liée à ses actifs, une crise de liquidité, une chute des prix, une chute du commerce interbancaire, etc. Par exemple la modélisation purement financière de May et Haldane³⁰ s'appuie sur l'évolution des situations réelles des banques britanniques avant et après 2008. L'étude conclut qu'une grande connectivité entre des banques avec un profil semblables atténue le risque de faillite lorsque le choc est circonscrit, mais entraîne une plus grande part du système vers l'effondrement si l'impact est trop fort ou expose un même type de vulnérabilité présent chez tous les acteurs. 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. *A contrario*, 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 type commun de vulnérabilité ou de

³⁰ May et Haldane, 2011

comportement, touchant de la même façon les différents acteurs ou un trop grand nombre d'entre eux.

Cette modélisation montre par ailleurs que, quand la perturbation initiale 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 accidents modélisés par May et Haldane, sur la valeur des avoirs (mesurée au prix de marché) et sur les prêts interbancaires (liquidité), présentent une capacité supérieure de propagation et d'amplification. Pour traiter le risque systémique, les auteurs proposent 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.

En somme, les deux approches convergent autour de l'idée que la robustesse des systèmes 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 interdépendantes³¹.

Ces deux pôles désignent une tension entre les principes d'efficacité (ou d'efficience³²) et de résilience. Or dans le domaine de la finance, le critère d'efficacité est généralement utilisé sans considération de résilience, ni des impacts sur les sur-systèmes : le sous-système financier est observé isolément. L'efficacité va donc croître nominalement, soit en faisant gonfler le flux monétaire, soit en réduisant le nombre des acteurs³³ ou/et des voies d'écoulement. Ainsi, lorsque l'efficacité d'un système est évaluée point par point, le premier type de structure paraît plus efficient car il maximise les flux passant par chaque nœud du réseau qui demeure. En outre, la définition de l'efficience est compatible avec une croissance des volumes indépendamment de l'activité économique sous-jacente.³⁴ 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

³¹ Ulanowicz et al., 2009

³² Efficacité ou efficience (efficiency ou effectiveness en anglais) sont généralement évoquées comme objectifs du fonctionnement du système financier. L'efficience est définie comme la capacité à atteindre des objectifs prédéterminés au prix d'une consommation optimale de ressources (humaines, matérielles, financières). L'efficacité qualifie la capacité d'une personne, d'un groupe ou d'un système à parvenir à des objectifs fixés.

³³ Certains travaux montrent que des acteurs moins nombreux et de plus grande taille (qui n'atteint pas toutefois l'échelle du « 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 qui oppose le modèle relationnel (« *relationship lending* ») qu'autorise au modèle concurrentiel (*arm's length finance*). Encore faut-il que ces relations de long terme, qui ne reposent que sur la volonté de ces acteurs, soient effectivement développées. Ce qui ne semble pas être le cas actuellement puisque la concentration des acteurs s'est accompagnée d'une volatilité renforcée et d'une réduction de la résilience du système (voir les Echos du 12/10/15).

³⁴ 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.

faciliterait et accélérerait la découverte d'un « vrai » prix.³⁵ Après la défaillance majeure de 2008, la focalisation sur la liquidité renforce encore cette tendance aux grands volumes circulants. Or le cas du *trading* à haute fréquence (*high frequency trading*, HFT) par exemple montre qu'un tel raisonnement poussé aux limites devient absurde : parce qu'il exige des ordinateurs puissants, le HFT n'est accessible qu'aux plus gros opérateurs, ce qui réduit de fait la concurrence, et il introduit des possibilités systématiques de fraude.³⁶

La réduction du nombre d'acteurs est parfois présentée comme un facteur de stabilité (relations de long terme) et d'efficience (économies d'échelle) du système. A l'extrême, au regard de ce critère, le réseau le plus efficace serait composé d'une seule chaîne et comporter très peu de niveaux. Mais un tel système monopolistique aurait, premièrement, peu de chances de survivre aux chocs puisqu'il présente beaucoup de modes communs de vulnérabilité et peu de plasticité. 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. Troisièmement, la volatilité et la vulnérabilité systémiques 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 ; cette dynamique autoalimentée impose donc une action équilibrante qui ne pourra venir spontanément des financystèmes.

³⁵ Un marché est dit efficace si les prix y reflètent toute l'information pertinente (en particulier les profits futurs des entreprises) et ne varient qu'en fonction de celle-ci, donc aléatoirement par rapport au temps (Steeve Keen, op.cit. p318)

³⁶ Gayraud, 2014, l'assimile à une « légalisation du délit d'initié ».

3. QUATRE PRINCIPES DE LA RÉSILIENCE

La résilience des écosystèmes est liée à quatre caractéristiques fondamentales présentées dans cette section : l'existence de rétroactions assurant le maintien du système dans les 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 ; enfin, des cycles de matière et d'énergie bouclés permettant d'entretenir des stocks vitaux.

Des rétroactions assurant le respect des limites viables

Les écosystèmes se maintiennent dans la fenêtre de viabilité grâce à des régulations internes comme les relations prédateur-proie. La déstabilisation y est souvent due à 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, devenues trop toxiques pour permettre une reconstitution naturelle. Ces sorties hors du domaine viable ne sont pas linéaires : face à la perturbation continue, les écosystèmes peuvent paraître se maintenir un long moment pour ensuite s'effondrer en très peu de temps.

L'autorégulation des écosystèmes contraste avec les phénomènes exponentiels observés au sein du sous-système financier, mesurés par la quantité de produits financiers en circulation³⁷ ou les masses monétaires.³⁸ Divers processus alimentent ces évolutions ; certains sont anciens, d'autres plus récents, mais ils sont tous amplifiés par l'usage des techniques numériques, notamment par la démultiplication des transactions à la nanoseconde et l'effet d'informations simultanées sur des acteurs aux comportements mimétiques. De même, la quantité de produits dérivés en circulation paraît très supérieure à ce que requerrait un relatif équilibre du système financier ; cette situation produit des points singuliers autour desquels le marché diverge³⁹. Enfin, le mécanisme des intérêts composés induit par construction une évolution exponentielle de leur montant⁴⁰.

³⁷ 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%.

³⁸ 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.

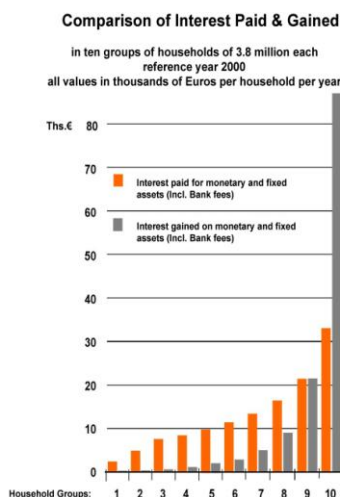
³⁹ May et Haldane 2011

⁴⁰ Lietaer et al. 2012 p 181

A moins de supposer un effacement suffisant des dettes par inflation ou restructuration, 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 supposait 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 se double d'un appauvrissement d'une partie des ménages et entreprises.

La transposition des rétroactions de type « prédateurs-proies » ou « être vivant-biotope » au système financier conduirait à examiner par exemple si et comment les taux d'intérêt (voir la figure 4) pourraient n'être globalement ni durablement supérieurs 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. Tenter d'étendre la valorisation marchande à d'autres types d'objets (espaces naturels, production de connaissances, etc...) ne résout pas cette difficulté, en affaiblissant par ailleurs un autre facteur de résilience, la non-substituabilité. Une autre piste serait la limitation des produits dérivés autorisés, notamment en matière de produits corrélés. Une troisième pourrait être le plafonnement physique des fréquences de trading électronique⁴¹, et autres façons d'accroître la viscosité des circulations monétaires afin d'en réduire la tendance aux turbulences et aux évolutions exponentielles.

Figure 4:
Concentration sociale
de la richesse et revenu
de capital
(D'après Lietaer et alli, 2010)



⁴¹ Qui par ailleurs ne représente pas d'apport à l'économie et (selon Gayraud, 2014) permet la anipulation auto-réalisatrice de marchés en grandes masses

Une plasticité sans substituabilité

Les écosystèmes puisent une part de leur résilience dans la 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, repris par d'autres liens ou espèces. Cette plasticité est proportionnelle à la présence de redondances ou de réserves par rapport à un réseau théorique d'efficacité maximale. Elle est liée aux deux caractéristiques rencontrées précédemment, à savoir d'une part la connectivité des nœuds du réseau, qui doit être suffisante sans être excessive, d'autre part la diversité des rôles joués par les nœuds (ou acteurs) du réseau.

La plasticité des chaînes trophiques ne signifie pas que les écosystèmes soient interchangeable, ni entre eux, ni avec des biens fabriqués : les rôles biologiques, physico-chimiques et climatiques des océans ne sont pas remplaçables par une succession de piscines, d'aquacultures et de ventilateurs géants. La monétarisation des services, des régulations et des ressources naturelles, si elle était considérée comme la clef de l'articulation avec les sur-systèmes, mettrait en œuvre une substituabilité souvent illusoire. Celle-ci est d'autant plus dommageable pour les processus du monde physique que de nombreux dégâts infligés de ce fait à celui-ci sont irréversibles à l'échelle humaine et potentiellement mortels pour nos sociétés voire notre espèce, alors que leurs symbolisations monétaires sont employées avec la même réversibilité et substituabilité que tout actif financier. Les outils financiers ne sont pas neutres vis-à-vis des sur-systèmes.

Pour continger les crises, une voie de réforme consisterait donc à différencier les traitements des domaines d'activité qui ne sont pas substituables les uns aux autres. S'il s'avère impossible d'imposer leur non-convertibilité pure et simple, du moins faudrait-il s'assurer que la convertibilité ne soit pas systématique dans les opérations, conventions et calculs. Le programme de TLTRO 2014 de la Banque centrale européenne, en « affectant » une certaine création monétaire au financement des entreprises, pourrait être interprété comme une tentative de compartimentation (avec peu de moyens de contrôle néanmoins). Plus fondamentalement, une différenciation organisée des acteurs, des outils ou/et des supports d'échange pourrait contribuer naturellement à réduire la substituabilité : ce qui nous amène à la troisième caractéristique des systèmes résilients, la diversité.

La diversité

En biologie, la diversité permet à d'autres espèces de remplacer provisoirement celle qui a été atteinte, ou de recoloniser un milieu naturel dévasté. 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 l'intérêt des forêts multi-spécifiques) ne soit pas ravagée par l'épidémie. Elle est même une source de l'abondance parce que chaque espèce ne prélève ni rejette exactement la même chose ni au même endroit, et échange

ses excédents avec ses voisins.⁴² Si les tous les membres d'un écosystème visaient les mêmes ressources, 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 compétition, notamment interspécifiques, grâce à la diversité des niches écologiques. C'est cette organisation, diverse et coopérative, qui a été sélectionnée par l'évolution.⁴³

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 et des analyses multi-critères⁴⁴ permettraient de rééquilibrer efficacité et résilience⁴⁵ en réduisant les risques systémiques. Dans le domaine financier, cette différenciation peut porter sur les acteurs (séparation des activités de dépôt et d'affaires, maintien de différences fonctionnelles entre acteurs financiers...), les utilisations des supports d'échanges (la compartimentation des usages de produits financiers par exemple⁴⁶), ou les supports eux-mêmes (monnaies complémentaires par exemple). Elle permettrait d'atténuer fortement les tendances à l'expansion systémique des risques. En somme, l'« intégration financière » peut être compatible avec une réduction des risques dans la mesure où elle signifie une « interconnexion » respectueuse des différenciations et des rétroactions évoquées précédemment ; en revanche, si elle signifie l'adoption des mêmes critères et des mêmes comportements partout dans le système, alors elle sera un accélérateur de crises systémiques.

Un premier champ d'application de ces principes concerne les modèles économiques. De petites compagnies pétrolières et gazières, présentant de moindres frais de structure que les majors, prennent souvent le relais quand il s'agit d'exploiter des puits devenant moins rentables. De même, des entreprises financières ayant des objets sociaux et des fonctionnements différents peuvent occuper des sphères d'activité distinctes : les repères rendements/risques ou les montants planchers des opérations (investissement, crédit) retenus pourraient varier notablement entre sociétés en fonction de leurs tailles, objectifs et positionnement stratégique. Des acteurs de logiques différentes sont moins substituables les uns aux autres : banques commerciales, banques coopératives, banques de crédit, banques d'affaires, banques publiques, « low profit limited liability corporations » (Etats-Unis), banques de monnaies complémentaires, fonds⁴⁷... Ils ont des

⁴² C'est la diversité qui permet d'accroître les rendements de la production biologique par hectare sans apports extérieurs, par exemple en mélangeant les légumineuses, les arbres et les céréales au sein des mêmes cultures.

⁴³ Aingrain, in Passet 2010 p 625.

⁴⁴ Livre Blanc pour le financement de la transition écologique, 2013

⁴⁵ Haldane, 2009

⁴⁶ 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 des domaines qui auraient dû continuer à réagir de façon distincte.

⁴⁷ 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.

« rôles » différents au sens des réseaux de flux. La diversité des modèles économiques des agents est ainsi une condition indispensable à la résilience du système financier ; au contraire, des comportements mimétiques, éventuellement pour raisons stratégiques⁴⁸, sont à l'origine de risques systémiques.

Maintenir cette diversité des modèles présuppose une régulation adéquate du réseau lui-même, car les évolutions de ce dernier le poussent plutôt en sens inverse. Le maintien dans la fenêtre de viabilité suppose notamment un plafond de connectivité et donc de taille, car une concentration excessive de liens sur un type de nœud transforme ce dernier en point d'accumulation au détriment de la circulation générale au sein du système, et porte en germe le risque systémique en cas de défaillance.

Un autre champ d'application du même principe de la diversité concerne le système monétaire, et l'idée d'une pluralité de monnaies complémentaires au sein d'un même espace monétaire. Un exemple de contra-cyclisme structurel est fourni par la monnaie complémentaire interentreprises créée en 1934 en Suisse, le WIR, pour permettre aux PME de surmonter la crise économique et financière de l'époque. Cette monnaie est émise par une banque coopérative, sous le contrôle de la banque nationale helvétique, et utilisée aujourd'hui par 20% des PME-ETI du pays, pour des montants cumulés de l'ordre de 2 milliards francs suisses.⁴⁹ L'expérience montre que la demande en WIR croît en période économique difficile et décroît en période calme : cet effet contra-cyclique par rapport au franc suisse permet de maintenir l'activité et renforce la stabilité économique du pays.⁵⁰

De nombreux exemples de monnaies complémentaires existent en Europe et dans le monde (environ 200 au Brésil, une centaine au Japon... environ 4000 dans le monde, dans cinquante pays et touchant environ un million de personnes⁵¹), visant BtoB, BtoC ou CtoC. Elles peuvent être émises par une collectivité dans des buts précis⁵². Elles peuvent avoir des supports matériels (billets en circulations) ou virtuels (écriture sur compte). Certaines peuvent porter intérêts (ex : banque Palmas créée en 1998 à Fortaleza⁵³), d'autres pas mais être fondantes⁵⁴ afin de favoriser l'irrigation de l'économie. Elles sont souvent affectées à un domaine ou un territoire particulier, ce qui introduit une autre compartimentation par rapport au benchmark et à la substituabilité cités plus haut.

⁴⁸ Farhi E. et Tirole J. 2012

⁴⁹ <http://monnaiesassociatives.blogspot.fr/2008/06/une-monnaie-de-secours-le-wir-en-suisse.html> ; http://fr.wikipedia.org/wiki/Banque_WIR ;

⁵⁰ Kalinowski, 2011

⁵¹ Leblanc, 2011

⁵² Lietaer et al., 2012, Suhr, 1989

⁵³ « *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)

⁵⁴ 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))

Il est tentant de poser la question de l'efficacité d'un système monétaire fondé sur une pluralité de monnaies comparée à celle du système conventionnel ; mais ce serait manquer l'objectif-même de ces monnaies complémentaires, qui est d'augmenter la résilience. En période difficile, nombre des transactions qu'elles autorisent n'auraient pas eu lieu sans elles. Pour l'illustrer avec un parallèle écosystémique, certaines terres sont réputées trop pauvres pour être cultivées lorsque la mesure de leur intérêt productif repose sur un critère unique : le rendement d'une seule variété cultivée (monoculture). 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.⁵⁵ Le choix de mesurer l'efficacité d'un système agricole par le seul critère d'efficacité en tonnage spécifique, par exemple en quintaux 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 par rapport au climat, 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.⁵⁶ L'indicateur détermine l'orientation.

Un bouclage des cycles entretenant les stocks

Le bouclage des cycles (carbone, eau, azote, phosphore...) est le quatrième principe fondamental de la résilience des écosystèmes. Les concentrations énergétiques temporaires que sont les organismes sont rediffusées à leur mort dans l'ensemble de l'écosystème. 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. Le fonctionnement financier présente au contraire des processus d'accumulation locales favorisées par des boucles amplificantes⁵⁷, 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 « rebouclage » des

⁵⁵ Voir par exemple les travaux de M. Meuret, INRA, in Dron, 2003

⁵⁶ AFTERRES 2050 : un scénario soutenable pour l'agriculture et l'utilisation des terres en France à l'horizon 2050.

⁵⁷ Voir la répartition par décile des intérêts perçus et payés dans la population allemande (Lietaer et al. op. cit. p. 155), ou le patrimoine médian nul des Américains en 2007, suivant une courbe en quasi-Dirac (source Federal Reserve).

circulations⁵⁸. Les intérêts se retrouvent en effet dans les produits et services, dont la vente alimente le remboursement du capital investi.

Les ressources financières créées « en creux » par l'emprunt à intérêt ou par la création monétaire (QE), bouclent-elles par ailleurs ? Par exemple, alimentent-elles l'offre à défaut de la demande, les salariés et l'investissement à défaut des consommateurs ? Cela ne semble pas être le cas dominant.⁵⁹ De plus, la finance menace la préservation des stocks primaires en appliquant des taux d'actualisation qui supposent que les générations futures seront plus riches que la génération actuelle, ce qui est manifestement faux si l'on parle des biens environnementaux.⁶⁰

4. QUELS ENSEIGNEMENTS POUR LA REGULATION FINANCIERE ?

Le système financier présente aujourd'hui des caractéristiques inverses des conditions de résilience observées dans les écosystèmes :

- peu de rétroactions régulatrices (internes ou reliant la finance aux sur-systèmes), produisant des phénomènes exponentiels non maîtrisés (masses monétaires, marchés des changes, quantité de produits dérivés, intérêts composés, bulles, etc...);
- une substituabilité généralisée par 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 ;

⁵⁸ 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)

⁵⁹ Selon Martin Wolf, la création monétaire 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 ». <https://postjorion.wordpress.com/2014/05/09/289-wolf-soutient-le-smart/> Voir aussi les Echos du 13/10/15 : les QE et les taux d'intérêt bas aboutissent à « gonfler d'énormes bulles spéculatives un peu partout dans la finance » (p12)

⁶⁰ Dans ce cas, selon Roger Guesnerie, le taux d'actualisation du sujet environnemental considéré doit être non seulement nul mais même strictement négatif.

- 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.
- la maximisation de l'efficacité dans un sens trop étroit du terme conduit à affaiblir trois des conditions de résilience repérées, à savoir le maintien dans des limites viables, la diversité des acteurs et la plasticité. Par conséquent, plus le sous-système tend vers cette efficacité restreinte, moins il est adaptable et résilient. Les chocs qui 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.

La plupart des défaillances des financystèmes – bulles, assèchements et accumulations, alignement du réel et du virtuel, court-termisme, aléa moral⁶¹... – semblent liées à ces lacunes. Ces logiques contribuent en outre à mettre en danger les sur-systèmes, avec une ampleur inégalée du fait notamment de l'irréversibilité physique et biologique de ces dégradations une fois enclenchées, et de leur impact vital et simultané à la dimension du globe.

La loi française⁶² a récemment instauré trois mesures ayant trait à la structure du système monétaire et financier : le statut des monnaies complémentaires, le cadre du financement participatif et l'extension aux investisseurs institutionnels d'un rapport extra-financier accompagné des informations correspondantes sur l'exercice des droits de vote. En poursuivant dans cette direction, la réflexion pourrait rapprocher structurellement le système financier des principes de résilience présentés dans cette note. Divers outils se rapportant à chacun des quatre axes évoqués pourraient ainsi être testés :

- pour rester dans des limites viables : le plafonnement technique de la taille des acteurs, de la fréquence de trading et du nombre de produits dérivés ; un diagnostic de vulnérabilité au regard d'enjeux des sur-systèmes (comme le carbone fossile ou la consommation d'eau)⁶³ ; des métriques des limites ; un plafonnement à la composition des intérêts ; un plafonnement des taux d'intérêts et de rendement par le taux de croissance ; des tests de résilience systémique aux stress des sur-systèmes;
- pour renforcer la plasticité et réduire la substituabilité : une extension du mandat de gestion à des spécifications sociales et environnementales, par exemple de type GSC⁶⁴, et leur intégration dans la responsabilité fiduciaire⁶⁵ ; une réduction

⁶¹ Haldane, 2009 ; rapports Kay (2011), OCDE...

⁶² Loi sur la transition énergétique (2015), loi sur l'économie sociale et solidaire (2014), ordonnance sur le financement participatif (2014)

⁶³ La loi de transition énergétique prévoit ainsi un test de « résistance climatique » pour les entreprises

⁶⁴ German Sustainability Code, un standard de reporting promouvant la transparence sur une vingtaine de critères de soutenabilité sociale et environnementale des entreprises.

⁶⁵ Réponse des Autorités Françaises au Livre Vert sur le financement à long terme de l'économie européenne, juillet 2013

de la substituabilité en différenciant les logiques monétaires selon les caractéristiques des processus réels monétarisés ; une meilleure compartimentation des domaines de validité des produits financiers ;

- le renforcement de la diversité : une modulation des normes IFRS en fonction des enjeux de long terme⁶⁶ ; une diversité statutaire des activités et types d'acteurs financiers⁶⁷ avec analyse de leurs contributions ; l'analyse des effets économiques de divers types de monnaies complémentaires ;
- la réalimentation des stocks de base : une actualisation strictement négative des processus et sujets environnementaux, l'introduction de monnaies complémentaires, l'affectation de ressources à des investissements réels ciblés...

En conclusion, il peut paraître surprenant de vouloir modéliser et réguler le système financier en s'appuyant sur des principes de fonctionnement de systèmes réels, surtout lorsqu'il s'agit de systèmes qui ne sont pas des productions humaines. Néanmoins, l'analyse des écosystèmes converge avec un nombre croissant d'analyses financières quant au diagnostic des problèmes structurels provoquant des accidents récurrents de plus en plus graves. Il paraît donc judicieux de sortir des cadres conceptuels qui ont produits ces résultats ou n'ont pas pu les endiguer, et de se tourner vers des systèmes ayant depuis longtemps prouvé leur résilience. Ce travail ne fait que commencer.

⁶⁶ Livre Blanc pour le financement de la transition écologique, 2013.

⁶⁷ Ibid.

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 (2015), 'Le climat ne se réduit pas à un prix', *le Monde* 13/06/15
- 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 adaptative 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, Wojtek (2011), 'Currency pluralism and economic stability: the Swiss experience', note de l'Institut Veblen, octobre.
- Keen, Steve (2014), 'L'imposture économique', Ed de l'Atelier
- 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'
- Pottier, Antonin (2014), 'L'économie dans l'impasse climatique', thèse
- 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., Goerner, Sally J., Lietaer, Bernard et Gomez, Rocio (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