

À l'aube de l'effondrement : complexité, énergie et économie mondialisée

par David Korowicz

Article original : *On the cusp of collapse: Complexity, energy & the globalised economy*

Avant-propos du traducteur Vincent Pavard :

*Il existe en anglais une expression dont je n'arrive pas à trouver une traduction satisfaisante : "To connect the dots". Reconstituer une vision d'ensemble à partir des différents éléments fractionnels dont on dispose. Voici un article qui essaie donc de connecter les dots. C'est une synthèse actuelle des idées de Joseph Tainter, de *limits to growth* et de Donella Meadows.*

Cette approche de dynamique des systèmes fait ressortir une grille de lecture que je trouve particulièrement pertinente pour "la civilisation", "le développement". Cela relie ressources, développement, économie et entropie (notion physique entre énergie et complexité)

David Korowicz vit à Dublin est physicien (docteur en physique) et écologue des systèmes humains, si cette chose existe. Il est membre du comité exécutif de [Feasta](#) (foundation for the economic of sustainability) et est directeur de Risk-Resilience, une société de conseil spécialisée dans la gestion des risques à grande échelle et des risques systémiques. Il est également membre du conseil de Comhar, Commission Irlandaise du développement durable.

Plan de l'article

Fragments d'une économie mondialisée p.2

- L'économie mondiale est auto-organisatrice p.4
- L'économie mondiale a une dynamique dépendante de la croissance p.4
- La complexité de l'économie mondiale croît p.5
- L'économie mondiale augmente la co-dépendance et l'intégration p.7
- L'économie mondiale a une résilience limitée p.9
- Notre liberté d'évoluer peut être limitée par des verrouillages systémiques p.10
- L'adaptation de l'économie mondiale aux contraintes environnementales déplace et souligne les problèmes p.11
- Nos besoins locaux dépendent de l'économie mondiale p.12
- Monnaie et crédit intègrent l'économie mondiale p.13

La thermodynamique de l'économie mondiale

Le pic pétrolier p.17

Quelques idées fausses concernant le pic pétrolier p.19

- L'hypothèse de la courbe de déclin p.19
- L'indépendance énergétique p.21
- Nous pouvons combler l'écart p.21

L'économie du pic pétrolier p.22

Dynamiques de l'effondrement p.25

Les mécanismes de l'effondrement p.28

- Le système monétaire et financier p.28
- L'alimentation p.33
- Le primat du nécessaire et les économies d'échelle inversées p.34
- Les infrastructures essentielles p.36
- La dynamique du système financier p.36

Le problème du re-boot p.37

- Dégradation Entropique p.37
- Perte de coordination p.38
- La perte de résilience et de capacité d'adaptation p.38
- Objet de l'instant p.39

Conclusion p.39

À l'aube de l'effondrement: complexité, énergie et économie mondialisée

par David Korowicz

Les systèmes dont nous dépendons tous pour nos transactions financières, pour notre nourriture, notre carburant et autres moyens de subsistance sont si interdépendants qu'ils est mieux de les considérer comme des facettes d'un système global unique. La maintenance et l'exploitation de ce système mondial exige beaucoup d'énergie et, parce que les coûts fixes d'exploitation sont élevés, ce système n'est seulement rentable que s'il opère à pleine capacité. En conséquence, si son débit baisse parce que moins d'énergie est disponible, il ne se contracte pas d'une manière douce et contrôlable. Au contraire, il est sujet à un effondrement catastrophique.

Fragments d'une économie mondialisée

- L'éruption du volcan Eyjafjallajökull en Islande a conduit à la fermeture de trois lignes de production de BMW en Allemagne, à l'annulation d'opérations de chirurgie à Dublin, à des pertes d'emplois au Kenya, à des passagers bloqués dans le monde entier et à de sévères avertissements sur les effets que ces bouleversements aurait sur certaines économies déjà stressées.
- Pendant le blocus de dépôt de carburant au Royaume-Uni en 2000, les chaînes d'approvisionnement à flux tendu des supermarchés se sont interrompues et, comme les stocks fondaient, les étagères se sont immédiatement vidées. L'anxiété à ce sujet est montée à un point tel que le

ministre de l'intérieur, Jack Straw, a accusé le blocus des camionneurs de "menacer la vie des autres et de mettre l'ensemble de l'économie et de la société à risque ».

- L'effondrement de Lehman Brothers a contribué à précipiter un bref gel dans le financement du commerce mondial dans le même temps que les banques avaient peur d'accepter les lettres de crédit des autres banques. [1] Tout comme nous ne remarquons jamais le sol sous nos pieds à moins que nous ne trébuchions, nous n'entre-apercevons ces réseaux complexes d'interdépendances sur lesquelles repose la vie moderne que lorsqu'une partie de ces réseaux échoue. Lorsque la panne est corrigée, le rideau se referme et tout revient à la normale. Cependant, c'est cette "normale" qui est extraordinaire. Nos vies quotidiennes sont dépendantes de la cohérence de milliers d'interactions directes, qui sont elles-mêmes dépendantes de milliards d'interactions entre des choses, des entreprises, des institutions et des individus à travers le monde entier. Suivons une seule piste, chaque matin, je prend un café près de là où je travaille. La femme qui me sert n'a pas besoin de savoir qui a ramassé les grains de cafés, qui a moulé le polymère pour la cafetière, la façon dont le système municipal livre l'eau au café, comment les grains ont fait leur voyage ou qui a conçu la tasse. Le capitaine du navire qui a transporté les grains de café n'avait pas connaissance de qui a fourni l'assurance pour le crédit à l'exportation de l'expédition, qui a fait de l'acier pour la coque, ou encore les étapes dans les processus complexes qui lui permettent l'utilisation de la navigation par satellite. Et le sidérurgiste ne doit pas connaître les pompes qui ont servi pour la mine de minerai de fer, ou comment l'oxygène pour le four a été raffiné.

Chaque café a des clients, comme moi, qui ne peuvent acheter du café que parce que nous échangeons nos travaux à travers le monde de façons qui dépendent de l'infrastructure des systèmes informatiques globalisés, de transport et de la banque. Les systèmes et la multitude d'entreprises dont ils dépendent ne sont viables que parce qu'il y a des économies d'échelle. Notre infrastructure mondiale requiert des millions d'utilisateurs à travers le monde, le navire doit transporter plus que des grains de café, et mon café a besoin de plus d'un seul client. La viabilité de mon café du matin nécessite l'interactivité et les efforts productifs de l'économie mondialisée.

Penser de cette façon nous permet de voir que l'économie mondiale, et donc notre civilisation, est un système unique. La structure de ce système et sa

dynamique sont donc essentiels pour comprendre les implications des contraintes écologiques et, en particulier pour cette analyse, du pic pétrolier. [2] Voici certaines de ses caractéristiques principales.

L'économie mondiale est auto-organisatrice

La chorégraphie normalement transparente de l'économie mondiale s'organise d'elle-même. De par sa complexité, la compréhension, la conception et la gestion d'un tel système est bien au-delà de nos capacités. L'auto-organisation peut être une caractéristique de tout système adaptatif complexe, par opposition à «seulement» un système complexe comme par exemple, une montre. Les oiseaux ne se sont pas mis «d'accord» ensemble sur le fait que les formes en flèche font sens pour l'aérodynamique, et ensuite ils ne se mettent pas d'accord sur qui vole où. Chaque oiseau s'adapte simplement à son environnement local et suit le chemin du moindre effort, avec un certain sens inné de la volonté et la hiérarchie, et ce qui émerge est une macro-structure sans dessein intentionnel. De même, notre système global apparaît comme le résultat de chaque individu, entreprise et institution, avec leurs histoires communes et distinctives, jouant leur propre rôle dans leur propre créneau, et interagissant entre-eux par des canaux biologiques, culturels et structurels. L'auto-organisation nous rappelle que les gouvernements ne contrôlent pas leurs propres économies. Ni la société civile. Les secteurs financiers ou entrepreneuriaux ne contrôlent pas les économies dans lesquelles elles opèrent. Le fait qu'ils puissent détruire l'économie ne doit pas être considérée comme une preuve qu'ils peuvent la contrôler.

L'économie mondiale a une dynamique dépendante de la croissance

Nous en sommes venus à considérer la croissance économique continue comme normale, comme une partie de l'ordre naturel des choses. Les récessions sont considérées comme une aberration causée par la faiblesse humaine et institutionnelle, la reprise de la croissance économique étant seulement une question de temps. Toutefois, en termes historiques, la croissance économique est un phénomène récent. Angus Maddison a estimé que le produit intérieur brut mondial (PIB) a progressé de 0,32% par an entre 1500 et 1820; 0,94% (1820-1870); 2,12% (1870-1913); 1,82%

(1913-1950); 4,9% (1950 - 1973); 3,17% (1973-2003), et 2,25% (1820-2003).[3]

Nous avons tendance à voir la croissance économique mondiale en termes de changement. Nous pouvons l'observer à travers l'augmentation des flux d'énergie et de ressources, l'augmentation de la population, de la richesse matérielle, de la complexité et, tout cela ayant comme proxy, le PIB. Cela pourrait être considéré sous un autre angle. Nous pourrions dire que la croissance de l'économie mondialisée a connu une phase remarquablement stable pendant les 150 dernières années. Par exemple, elle n'a pas grandi de façon linéaire par un taux donné pour toute la période, elle n'a pas baissé de façon exponentielle, oscillé périodiquement, ou ne s'est pas retournée de manière chaotique. Ce que nous voyons est une tendance à la croissance de quelques pour cent par an, avec des fluctuations autour d'une bande très étroite. A ce rythme de croissance, le système peut évoluer, sans surprise, à un taux qui nous permet de nous adapter. La sensibilité ressentie par les gouvernements et la société en général à de très petits changements dans la croissance du PIB montre que nos systèmes sont adaptés à une gamme étroite de variations. Sortir de cette gamme peut provoquer des stress majeurs. Bien sûr, de petites différences dans la croissance exponentielle globale peut avoir des effets majeurs au cours du temps, mais ici, nous nous concentrons seulement sur le problème de stabilité. Le processus de croissance lui-même a beaucoup de stabilisateur intrinsèques : dans le comportement humain, dans la croissance de la population, dans la nécessité de maintenir les infrastructures existantes et dans la réaction à la pression entropique, dans la nécessité d'employer des personnes déplacées par la technologie; dans la réponse à de nouveaux problèmes, et dans la nécessité de rembourser la dette qui constitue le fondement de notre système économique.

La complexité de l'économie mondiale croît

La complexité peut être mesurée de plusieurs façons - comme le nombre de connexions entre les personnes et les institutions, l'intensité des réseaux hiérarchiques, le nombre d'items distincts produits et l'étendue des chaînes d'approvisionnement nécessaires à leur production, le nombre de professions spécialisées, la quantité d'effort requis pour gérer les systèmes, la quantité d'informations disponibles et les flux d'énergie nécessaires pour les maintenir. Par toutes ces mesures, la croissance économique a été associée à une

complexité croissante. [4]

En tant qu'espèce, nous avons eu à résoudre des problèmes pour répondre à nos besoins fondamentaux, pour faire face à l'anxiété vis à vis du statut social ou pour répondre aux nouveaux défis posés par un environnement dynamique. Le problème à résoudre peut être simple comme prendre le bus ou acheter du pain, ou il peut être complexe, comme le développement d'une infrastructure énergétique pour l'économie. Nous avons tendance à exploiter les solutions les plus simples et les moins coûteuses en premier. Nous ramassons d'abord les fruits les plus bas ou le pétrole le plus facile à extraire en premier. Au fur et à mesure que les problèmes sont résolus les nouveaux problèmes ont tendance à exiger plus d'effort et des solutions encore plus complexes.

Une solution est cadrée par un réseau de contraintes. Une contrainte du système est définie par le tissu opérationnel, comprenant les conditions données à tout moment et le lieu qui supporte la fonctionnalité du système entier. Pour les économies modernes développées cela inclut des marchés en fonctionnement, une finance, une certaine stabilité monétaire, des chaînes d'approvisionnement opérationnelles, des infrastructures de transport, infrastructures numériques, de commande et de contrôle, des services de santé, des infrastructures de recherche et développement, des institutions de confiance et une stabilité socio-politique. C'est ce que nous supposons avec désinvolture comme ce qui existe et existera, et qui fournit les bases structurelles pour tout projet que nous souhaitons développer. Nos solutions sont également limitées par la connaissance et la culture, par les énergies à disposition, les matériaux et ressources économiques qui s'offrent à nous. La formation des solutions est également façonnée par les interactions entre la myriade d'autres agents interagissant, comme les personnes, les entreprises et les institutions. Ceux-ci ajoutent à la complexité dynamique de l'environnement dans lequel la solution est formée, et donc la complexité croissante est susceptible d'être renforcée au fur et à mesure que les éléments co-évoluent ensemble.

En conséquence, le processus de croissance économique et la complexité se renforcent mutuellement. La croissance de la taille des réseaux d'échange, le tissu opérationnel et l'efficacité économique, tout fournit une base pour une nouvelle croissance. La complexité croissante fournit la base pour développer une intégration encore plus complexe. Dans l'ensemble, comme le tissu

opérationnel évolue en complexité, il fournit la base pour construire des solutions encore plus complexes.

Les bénéfices nets d'une complexité croissante sont soumis à une baisse des rendements marginaux - en d'autres termes, le bénéfice de la complexité croissante est finalement compensé par son coût.

Un coût important est la destruction de l'environnement et l'épuisement des ressources. Il y a aussi le coût de la complexité elle-même. Nous pouvons voir cela dans les coûts de gestion de systèmes plus complexes, et l'augmentation du coût du processus de recherche et développement. [5] Lorsque l'accroissement de la complexité commence à avoir un coût net, alors répondre à de nouveaux problèmes par une complexité augmentant encore peut n'être plus viable. Une économie s'enferme alors dans des processus établis et des infrastructures, mais ne peut plus répondre à des chocs ou s'adapter au changement. Pour l'historien Joseph Tainter, c'est le contexte dans lequel les civilisations anciennes se sont effondrées. [6]

L'économie mondiale augmente la co-dépendance et l'intégration

Quand l'économie mondialisée croît, la population augmente, la richesse et l'intégration ouvre la possibilité à de nouvelles économies d'échelle et à des niches productives plus diversifiées. Lorsque de nouvelles technologies et modèles d'affaires (solutions ou ensembles de solutions) émergent, ils co-adaptent et co-évoluent avec ce qui est déjà présent. Leur adoption et leur diffusion par le biais des réseaux plus larges dépend de l'efficacité qu'ils fournissent en termes de réduction des coûts et de nouveaux débouchés. L'un des principaux moyens de gagner en efficacité globalement est de laisser les différentes pièces du système partager les coûts des transactions en partageant des plateformes d'infrastructures communes (réseaux d'information et de transport, réseau électrique, eau / eaux usées, systèmes financiers...etc). Ainsi, il y a une tendance qui se renforce à avantager ceux qui construisent la plate-forme ainsi que les utilisateurs de la plate-forme, qui grandit à mesure que le nombre d'utilisateurs augmente. Avec le temps, l'échelle du système devient un obstacle à une diversification vers des systèmes alternatifs puisque le coût initial et les économies d'échelle intégrés deviennent un obstacle plus important pour les nouveaux entrants, en particulier là où il y a une plaque tournante d'infrastructures complexes. Le

manque de diversité du système n'est pas nécessairement due à des monopoles d'entreprise. Par exemple, il y a une concurrence vigoureuse entre les fournisseurs de services de téléphone mobiles, mais ils partagent des plates-formes d'information communes et dépendent des réseaux d'électricité et du système monétaire, qui ont tous deux peu ou pas de diversité de système.

Nos systèmes d'exploitation sont intégrés dans l'économie globale. Des infrastructures coûteuses et un besoin continu pour des composants de remplacement signifie que les économies d'échelle et un grand nombre de personnes économiquement liées sont nécessaires pour les rendre viables. Par exemple, les ressources nécessaires pour maintenir l'infrastructure IT sur laquelle nous nous appuyons pour des services essentiels sont telles que cela requiert aussi que nous achetions des consoles de jeux, que nous envoyions des messages texte superflus et que nous regardions des vidéos sur YouTube. En d'autres termes, nos besoins non-discrétionnaires et les systèmes critiques qui les soutiennent sont abordables car ils sont subventionnés par des dépenses discrétionnaires, qui dépendent elle-même de nouvelles économies d'échelle générées par l'économie mondialisée qui nous fournit notre revenu discrétionnaire en premier lieu.

Dans cette perspective, poser des questions sur les besoins en ressources pour des produits individuels de l'économie (un ordinateur ou mon café du matin, par exemple) est équivalent à poser des questions sur les ressources nécessaires à votre doigt, cela n'a de sens que si le reste du corps est doté de ressources suffisantes .

Passage de l'énergie primaire à l'énergie finale pour la France

(source du graphique)

Chaque nouveau niveau de complexité dans les infrastructures implique de nouveaux coûts fixes en termes de flux d'énergie et de ressources nécessaires pour son entretien et son fonctionnement, et une économie d'échelle qui permet de subvenir à ces nouveaux flux. Cela verrouille également la co-dépendance entre les composantes de nos infrastructures essentielles qui intègrent le tissu opérationnel. Par exemple, si nos plate-formes informatiques échouaient, il en serait de même de nos systèmes financiers, de nos systèmes de connaissances et de nos systèmes énergétiques. De même, si notre système financier s'effondrait, il ne faudrait pas longtemps pour que

notre infrastructure informatique et nos chaînes d'approvisionnement ne s'effondrent aussi. L'Institut britannique des ingénieurs civils reconnaît que les relations complexes entre les infrastructures critiques co-dépendantes ne sont pas bien comprises. [7]

Enfin, au fur et à mesure que de nouvelles plate-formes d'infrastructures sont établies, les systèmes existants sont peu entretenus ou même laissés à l'abandon. Ainsi, si soudain, nous perdions l'infrastructure de communications introduites au cours des dix dernières années, on ne reviendrait pas au système que nous avons avant que cette infrastructure ait été introduite. Au lieu de cela, la plupart d'entre nous seraient laissés sans aucun système de communication de repli.

L'économie mondiale a une résilience limitée

Une communauté isolée, pauvre et auto-suffisante est vulnérable vis à vis de risques graves d'une défaillance générale de la production alimentaire à cause d'inondations ou de parasites, par exemple. Même la France relativement riche au XVIIIe siècle a connu 18 famines générales et des centaines de famines locales durant cette période [8]. Sans accès à des ressources monétaires, à des liaisons de transport, à des marchés et des communications, la production excédentaire d'ailleurs ne pouvait pas venir soulager les famines locales. La croissance de l'interdépendance, les infrastructures et les institutions de l'économie mondialisée signifiait que les risques locaux pourraient être partagés sur des réseaux plus larges, et cela améliora la résilience locale.

Une des grandes vertus de l'économie mondiale est que même si des usines échouent ou si des liens dans une chaîne logistique se rompent, l'économie peut s'adapter rapidement en se fournissant ailleurs ou en trouvant des substituts. Ceci est une mesure de la résilience de l'économie mondialisée et c'est une caractéristique naturelle de tout système délocalisé et en réseau adaptatifs complexes. Mais cela n'est vrai que dans un certain contexte. Il y a des plates-formes communes ou «hub d'infrastructure» qui maintiennent le fonctionnement de l'économie mondiale et son tissu opérationnel dans son ensemble, et l'effondrement de ces plates-formes est susceptible d'induire une défaillance systémique. Ces principaux “hub” sont le système monétaire et financier, les flux d'énergie accessibles, les infrastructures de transport, les économies d'échelle et les infrastructures intégrées de technologie de

l'information et de l'électricité.

Notre liberté d'évoluer peut être limitée par des verrouillages systémiques

Les verrouillages systémiques peuvent être définis en gros comme une incapacité à faire face à un problème en changeant un sous-système de l'économie sans modifier négativement les autres sous-systèmes dont nous dépendons. Par exemple, nous savons que notre système actuel d'approvisionnement en nourriture à flux tendu ou encore les pratiques agricoles actuelles sont extrêmement risquées. Alors que la crise économique se resserre, les personnes impliquées dans la production et la distribution alimentaires s'efforcent de faire des gains d'efficacité supplémentaires et des économies d'échelle en même temps que la déflation entraîne leurs prix vers le bas. La baisse des prix aide à maintenir le bien-être et la paix sociale, et aide à rendre plus facile pour les consommateurs le service de leurs dettes, ce qui soutient à son tour nos banques fragilisées, dont la santé doit être préservé ou alors le marché obligataire ne pourrait pas assurer la vente aux enchères des bons du gouvernement. En conséquence, même si nous savons qu'il serait préférable de changer, il est très difficile de faire une opération majeure sur nos systèmes alimentaires si cela nécessite une hausse des prix alimentaires, une baisse de productivité et un retour sur investissement médiocre.

Cependant, le principal processus de verrouillage est l'économie de croissance elle-même.

Nous tentons de résoudre les problèmes écologiques systémiques au sein de systèmes qui sont eux-mêmes dépendants de plus en plus de l'utilisation jusqu'à épuisement des ressources et de l'augmentation des déchets. Nous sommes intégrés dans des systèmes économiques et sociaux dont le bon fonctionnement est nécessaire à notre bien-être immédiat. Mais ces systèmes sont trop optimisés, interconnectés et complexes à comprendre pour qu'il soit possible de les contrôler et de les gérer de manière systémique pour permettre une contraction contrôlée, tout en conservant notre bien-être.

Le problème de verrouillage est en partie la raison pour laquelle il n'existe pas de possibilité de décroissance gérée.

L'adaptation de l'économie mondiale aux contraintes environnementales déplace et souligne les problèmes

Le pic pétrolier devrait être la première contrainte écologique à avoir un impact significatif sur l'infrastructure de l'économie mondialisée. Toutefois, c'est seulement une partie d'un réseau de plus en plus intégré de contraintes, notamment les pénuries d'eau douce, la perte de biodiversité, l'érosion des sols et la fertilité des sols réduite, la pénurie des principaux minéraux et les changements climatiques. En conséquence, cela n'a guère de sens de compartimenter notre attention comme nous le faisons à travers la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques, par exemple. La nature interdépendante de notre situation est clairement

démontrée par la Révolution verte des années 1960 qui est censé avoir «résolu» la pression croissante sur la production alimentaire d'une population croissante. La technologie a été mobilisée pour mettre la production alimentaire dans une logique de combustibles fossiles, ce qui a permis une explosion de la population et donc une croissance encore plus intense dans les demandes de ressources. Le résultat est que encore plus de gens sont encore plus vulnérables puisque leurs exigences de bien-être accru dépendent d'une base de ressources moins diversifiée et plus fragile. Au fur et à mesure que les limites se resserrent, nous répondons au stress sur une ressource clé (par exemple, réduire les émissions de gaz à effet de serre ou contourner les contraintes de carburant en utilisant les biocarburants) en plaçant les contraintes sur d'autres ressources clés qui sont elles-mêmes déjà sous pression (nourriture, eau). Que nous ayons à faire cela montre alors que la capacité d'adaptation qui nous reste est réduite.

Nos besoins locaux dépendent de l'économie mondiale

Nos besoins de base et nos besoins facultatifs sont tributaires d'un tissu d'échanges mondialisé.

Notre capacité à échanger notre travail pour payer ces besoins l'est aussi. Les conditions qui maintiennent notre bien-être sont réparties sur le globe.

Nous nous sommes adaptés à la stabilité de la croissance de la mondialisation au cours des décennies. Nos compétences et nos connaissances sont devenues de plus en plus affinées afin de contribuer à la diversité des niches au sein de l'économie mondiale. Les outils avec lesquels nous interagissons - ordinateurs et logiciels, téléphones portables, machines et systèmes de paiement - maintiennent notre productivité. C'est aussi le cas des chaînes d'approvisionnement qui nous nourrissent, fournissent les intrants

à nos processus de production et maintiennent le fonctionnement des systèmes dont nous dépendons. Notre productivité dépend aussi d'une économie d'échelle d'envergure mondiale, pas seulement celle dont bénéficie nos clients directs, mais aussi les conditions qui favorisent leur activité économique dans l'économie en général. Nous sommes tous liés. Pour cette raison, nous pouvons dire qu'il n'y a plus de production totalement autochtones.

Monnaie et crédit intègrent l'économie mondiale

Si un côté de l'économie mondiale est constituée de biens et services, l'autre côté est constitué d'argent et de crédit. L'argent n'a aucune valeur intrinsèque, c'est un morceau de papier, on pourrait prendre l'image d'un condensateur chargé dans un circuit intégré. Il ne représente pas la richesse, mais une créance sur la richesse (l'argent n'est pas la maison ou la nourriture, nous pouvons les acheter avec elle). Partout dans le monde on échange quelque chose d'intrinsèquement précieux pour quelque chose d'intrinsèquement inutile. Cela fonctionne uniquement si nous jouons tous le jeu, les gouvernements mandatent la loi et la stabilité monétaire et la confiance est maintenue. L'hyper-inflation dans l'Allemagne de Weimar et au Zimbabwe, jusqu'à ce qu'y soit adopté le dollar américain montre ce qui arrive quand la confiance est perdue.

La thermodynamique de l'économie mondiale

Tout comme les êtres humains et la vie sur terre, les économies nécessitent des flux d'énergie pour fonctionner et pour maintenir leur structure. Si nous ne maintenons pas les flux d'énergie (directement ou par l'entretien et le remplacement) les systèmes dont nous dépendons, se désintègrent. Les humains obtiennent leur énergie quand ils transforment les réserves d'énergie concentrée dans les aliments en métabolisant, en réfléchissant ou en travaillant physiquement, et en dispersant l'énergie sous forme de chaleur et d'excréments. Notre économie mondialisée n'est pas moins contrainte par l'énergie limitée, mais il y a une différence cruciale.

Lorsque les humains arrivent à maturité, ils cessent de croître et leur apport énergétique se stabilise.

Notre économie s'est adaptée à la croissance continue, et cela signifie des flux croissants d'énergie.

L'auto-organisation et la biodiversité de la vie sur terre est maintenue par le flux d'énergie solaire d'entropie faible qui irradie notre planète puis se transforme en chaleur rayonnante dans l'espace d'entropie élevée. Notre civilisation complexe s'est formée en transformant de la matière vivante et des réserves fossiles d'énergie solaire en travail utile, et l'entropie de l'énergie thermique résiduelle, les gaz à effet de serre et la pollution sont les conséquences nécessaires du fait qu'aucun processus n'est parfaitement efficace.

La première loi de la thermodynamique nous dit que l'énergie ne peut pas être créée ou détruite.

Mais l'énergie peut être transformée. La deuxième loi de la thermodynamique nous dit comment elle est transformée. Tous les processus suivent le mouvement qui va d'un état plus concentré et organisé vers un autre plus désorganisé, autrement dit un mouvement qui va d'un état d'entropie faible vers un état d'entropie élevée. Nous voyons cela lorsque notre tasse de café chaud se refroidit à la température ambiante ou quand les humains et leurs artefacts se désagrègent en poussière. La deuxième loi définit la direction dans laquelle les processus se produisent. En transformant l'énergie à partir d'un état de faible entropie vers un état supérieur d'entropie, un travail peut être produit, mais ce processus n'est jamais efficace à 100%. De la chaleur sera toujours perdue et ne sera donc pas disponible pour travailler. Ce travail est ce qui construit et maintient la vie sur terre ainsi que notre civilisation.

Alors, comment ce peut-il qu'un îlot de civilisation concentré et complexe à faible entropie puisse se former dans un univers où la tendance au désordre est universelle ? La réponse est que de l'énergie de plus en plus concentrée doit circuler à travers lui de façon à maintenir le système local de plus en plus loin du désordre vers lequel il tend.

L'évolution et l'émergence de structures complexes maximise la production d'entropie de l'univers (système local plus partout ailleurs) dans son ensemble. Clairement, si faire croître la complexité et la maintenir coûte de l'énergie, alors l'approvisionnement en énergie est la plate forme principale dont toutes les formes de complexité dépendent. [9]

Le tissu opérationnel évolue avec de nouveaux niveaux de complexité. Comme l'intégration et la co-dépendance augmentent, et que les économies d'échelle sont établies, des coûts fixes de plus en plus grands sont nécessaires

pour maintenir ce tissu opérationnel. Ce coût est inclus dans les flux d'énergie et de ressources. Par ailleurs, quand les infrastructures, installations et machines qui sont nécessaires pour maintenir la production économique à chaque niveau se développent, celles-ci sont sujettes à des coûts d'amortissement plus grand, en termes thermodynamiques, elles sont soumises à une usure entropique.

La corrélation entre la consommation d'énergie et le changement économique et social ne devrait donc pas surprendre. Les transitions majeures dans l'évolution de la civilisation humaine, des chasseurs-cueilleurs jusqu'aux révolutions agricole et industrielle, ont été fondées sur des révolutions dans la qualité et la quantité des sources d'énergie utilisées.

Nous pouvons voir cela dans un exemple. Selon le Recensement de 1911 de l'Angleterre et au Pays de Galles, les trois principaux groupes professionnels étaient les services domestiques, l'agriculture et les mines de charbon. En 2008, les trois plus grands groupes sont le personnel de vente, les cadres intermédiaires et les enseignants. [10] Ce que nous pouvons d'abord remarquer est qu'il y a 100 ans, une grande partie du travail effectué dans l'économie était du travail humain direct. Et beaucoup de ce travail était associé directement avec l'acquisition d'énergie sous forme de combustibles fossiles ou de nourriture. Aujourd'hui, les grandes multinationales ont peu à voir avec la production, mais sont davantage axées sur la gestion de la complexité, directement ou indirectement en fournissant les connaissances de base requises par les personnes vivant dans un monde de rôles professionnels de plus spécialisés et diversifiés.

Ce qui a évolué au cours du siècle intermédiaire est que l'effort humain dans la production directe d'énergie a été remplacé par des combustibles fossiles. Le contenu énergétique d'un baril de pétrole équivaut à 12 années de travail pour un adulte à 40 heures par semaine. Même à 100 dollars le baril, le pétrole est remarquablement bon marché par rapport au travail humain ! Comme l'utilisation des combustibles fossiles a augmenté, l'effort humain dans l'agriculture et l'extraction de l'énergie a baissé, de même que le prix réel des aliments et du carburant. Ces chutes de prix ont libéré un revenu discrétionnaire, ce qui a rendu les gens plus riches. De plus, les travailleurs libérés pouvaient fournir les compétences requises plus sophistiquées pour construire une économie moderne et complexe qui reposait sur un afflux de combustibles fossiles, d'autres ressources et d'innovation.

En termes d'énergie un certain nombre de choses se sont passées. Premièrement, nous avons eu accès à de grands stocks d'énergie hautement concentrée en quantité croissante.

Deuxièmement, les combustibles fossiles requièrent peu d'énergie pour les extraire et les traiter, c'est à dire que l'énergie nette qui reste après que le coût énergétique de l'obtention ait été payé, est très élevé. Troisièmement, les combustibles utilisés étaient de haute qualité, en particulier le pétrole, qui est concentré et facile à transporter à température ambiante ; de même les carburants pouvaient être convertis pour fournir de l'électricité de manière très polyvalente. Enfin, notre dépendance a co-évolué avec la croissance des combustibles fossiles, de sorte que nos réseaux routiers, nos chaînes d'approvisionnement, nos modes de peuplement, et le comportement des consommateurs, par exemple, sont devenus adaptés à des vecteurs d'énergie particuliers et basés sur l'hypothèse de leur disponibilité future.

La croissance et la complexité de notre civilisation, dont le PIB est un indicateur de croissance économique primaire, est par nécessité un système thermodynamique et donc soumis aux lois fondamentales.

Dans les modèles économiques néo-classiques de croissance économique, l'énergie n'est pas considérée comme un facteur de production. Il est supposé que l'énergie est non-essentielle et sera toujours remplaçable par du capital. Cette hypothèse a

été contestée par les chercheurs qui reconnaissent que les lois de la physique doivent s'appliquer à l'économie et que la substitution ne peut continuer indéfiniment dans un monde fini. De telles études voient une relation très étroite entre l'énergie et la croissance. Ils voient des flux croissants d'énergie comme une condition nécessaire pour la croissance économique, ce dont ils ont fait la preuve à la fois historiquement et en théorie. [11] [12] [13] Il a été noté qu'il y a eu un certain découplage du PIB de la fourniture totale d'énergie primaire depuis 1979, mais beaucoup de cette perception de découplage est annulée lorsque l'on tient compte de la qualité de l'énergie qui est plus élevée [14].

Il est parfois suggéré que l'intensité énergétique (énergie / unité de PIB) se stabilise ou baisse un peu dans les économies avancées, un signe pour certains qu'un découplage local peut se produire. Cela confond ce qui tient des effets locaux avec le fonctionnement d'une économie de plus en plus globale et intégrée. Les économies avancées du savoir et des services ne font pas autant qu'avant de production à forte intensité d'énergie et de matières premières, mais leurs économies restent tributaires de l'utilisation de produits à forte intensité d'énergie fabriqués ailleurs, et de la prospérité des fabricants à qui ils vendent.

Le pic pétrolier

Le phénomène de pic - que ce soit en matière de pétrole, gaz naturel, de minéraux ou encore de pêche - est une expression de la dynamique suivante.

Lorsque l'on a une ressource finie comme le pétrole, on constate en général que ce qui est le plus facile à exploiter est utilisé en premier. Quand la demande de pétrole augmente, et que les connaissances et les technologies associées à l'exploration et l'exploitation progressent, la production peut monter en puissance. Toute nouvelle production bon marché encourage de nouveaux produits dérivés du pétrole, les nouveaux marchés et bénéfiques génèrent à leur tour des revenus pour les investissements dans la production. Pendant un temps, c'est un processus qui se renforce de lui-même, mais finalement ce renforcement s'affaiblit parce que les coûts énergétiques, matériels et financiers pour trouver et exploiter la nouvelle production commencent à augmenter. Ces coûts augmentent parce que, comme le temps passe, les nouveaux champs pétroliers deviennent plus coûteux à découvrir et à exploiter puisqu'ils sont trouvés dans des petits dépôts, dans les eaux profondes et en plus leurs conditions géologiques sont plus exigeantes techniquement. Dans certains cas, tels que les sables bitumineux, le pétrole nécessite, pour être rendu utile, un traitement très avancé et de grandes dépenses en énergie et en eau. Ce processus est un autre exemple de la baisse des rendements marginaux.

La production d'un puits individuel atteindra un pic et commencera à décliner. La production d'un gisement tout entier, d'un pays et du monde entier montera et chutera. Deux tiers des pays producteurs de pétrole ont déjà passé leur pics individuels. Par exemple, les États-Unis ont atteint un sommet en 1970 et le Royaume-Uni en 1999. La baisse s'est poursuivie dans les deux cas. Il est à noter que les deux pays ont parmi les "meilleures universités, les marchés financiers les plus dynamiques, les sociétés de production et d'exploration les plus technologiquement capables et des environnements politiques stables et parmi les plus "pro-business". Néanmoins, dans aucun cas cela n'a arrêté le recul.

Quand les grands champs anciens produisant du pétrole bon marché reculent, un effort de plus en plus grand doit être fait pour maintenir la production à l'aide de la découverte et de la production de champs plus petits et plus chers. En termes financiers, ajouter chaque nouveau baril de production (le baril marginal) devient plus cher. Sadad al-Huseini a déclaré en 2007 que le plancher technique (le coût de base de la production pétrolière) était d'environ 70 \$ le baril sur la marge, et que cela augmenterait de 12 \$ par an (en supposant que la demande soit maintenue par la croissance économique).

[15] Cette escalade rapide du coût marginal de production du pétrole est récente. Au début de 2002, le coût marginal d'un baril était de 20 \$.

Il est parfois affirmé qu'il y a une énorme quantité de pétrole dans les dépôts tels que les sables bitumineux canadiens. Les questions que cette allégation devrait soulever sont "Quand cela sera-t-il mis en service?", "A quel taux peut être mis à disposition le pétrole?", "Quel est le rendement énergétique net ?" Et "la société peut-elle se permettre ce coût d'extraction?" Si moins d'énergie nette était disponible à partir de ce pétrole, cela nous rendrait beaucoup plus pauvres, et on pourrait encore moins se permettre de se le payer. Finalement, la production ne serait plus viable puisque les économies ne pourraient plus payer le coût marginal d'un baril. Dans une veine similaire, nos mers contiennent d'énormes réserves d'or, mais il est tellement dispersé que le coût énergétique et financier de son raffinage serait largement supérieur aux avantages (les eaux territoriales irlandaises contiennent environ 30 tonnes).

Quelques idées fausses concernant le pic pétrolier

L'hypothèse de la courbe de déclin

L'image désormais familière d'une courbe représentant la production mondiale de pétrole montrant une baisse de la production de 2-3% par an (EGross), a conduit les commentateurs à penser que c'est ce qui sera disponible à l'avenir pour l'économie mondiale. Intuitivement, cela peut sembler une contrainte très gérable. L'hypothèse sur laquelle cette courbe est basée, l'hypothèse de la courbe de déclin, est incorrecte pour trois raisons. Premièrement, elle ne tient pas compte du coût de l'énergie croissant de l'extraction du pétrole, l'énergie nette (ENET) à la disposition de nos sociétés va diminuer à un rythme plus rapide que la baisse représentée.

Deuxièmement, les exportateurs de pétrole, pour le moment du moins, sont de plus en plus consommateurs de pétrole, et favoriseront leur consommation intérieure par rapport aux exportations. Cela réduira le volume de pétrole échangé au niveau international.

Un approvisionnement en énergie trop petit pour permettre la croissance économique.

***Figure 1:** Dans cette projection d'un avenir possible, la quantité croissant régulièrement d'énergie nécessaire pour une

croissance économique continue est montrée par la ligne EGrowth . Alors que la quantité brut d'énergie qui pourrait être disponible est indiquée par la ligne de EGross et la quantité net d'énergie (après que l'énergie nécessaire pour fournir cette énergie ait été déduite) est marquée ENet. En théorie, l'écart entre l'énergie disponible et l'énergie nécessaires à la croissance (EGAP) grandit en douceur et progressivement comme le montre le graphique, mais cela ne tient pas compte des rétroactions puissantes provoquées par l'écart lui-même. En conséquence, l'écart est susceptible de croître beaucoup plus rapidement et de façon erratique.

La troisième raison est au coeur du pourquoi nous devons adopter une approche globale de systèmes face au pic pétrolier. L'hypothèse d'une courbe de déclin suppose qu'il n'y a pas de rétroaction forte entre la baisse de la production, l'économie, et la production de pétrole. Les hypothèses modélisées pour la baisse de production, même si l'on tient compte de la baisse de l'énergie nette et de la consommation des producteurs, supposent une économie et des infrastructures stables. Dans laplupart des modélisations, la courbe de production (EGross) est dérivé des «réserves prouvées» ou «prouvées et probables". "Réserves prouvées" impliquent qu'on peut se les permettre en les payant aux prix actuels réels et en déployant des technologies existantes, pour les réserves "prouvées et probables» elles sont estimées sur la base d'hypothèses sur la croissance des technologies et sur l'idée que l'augmentation de la richesse pourrait nous permettre de payer des prix plus élevés plus confortablement. En d'autres termes, au minimum, la courbe de la production future suppose que la technologie actuelle et les prix réels du pétrole permettraient de mettre en production de nouvelles réserves pour contrer certains des effets du déclin de la production établie. Sans cette hypothèse, le soi-disant taux de déclin naturel pourrait être supérieur à 7% par an. [16]Une baisse de la production de pétrole sape la production économique, réduisant ainsi la capacité de la société à payer pour le pétrole. Une baisse aussi, comme nous allons le voir, sape le tissu opérationnel, qui à son tour limite la capacité de la société à produire, à commercer, et à utiliser le pétrole (et autres vecteurs d'énergie) dans une boucle de rétroaction qui se renforce d'elle-même. Les flux d'énergie à travers l'économie sont susceptibles d'être imprévisibles, erratiques et sujets à un effondrement soudain et sévère. Cela implique que beaucoup du pétrole (et autres vecteurs d'énergie) qui est supposé être disponible pour l'économie mondiale restera

dans le sol puisque le pouvoir d'achat réel, la demande productive, les infrastructures énergétiques et les systèmes économiques et financiers ne seront pas disponibles pour l'extraire et l'utiliser.

L'indépendance énergétique

Une autre idée fautive est que l'apport des sources d'énergie autres - gaz naturel, charbon, nucléaire et énergies renouvelables - est largement indépendant du pétrole, même si le pétrole est partie intégrante du tissu systémique de l'économie mondiale. Au niveau le plus direct, le pétrole est utilisé pour le transport du charbon et le ravitaillement de l'infrastructure du gaz naturel et du charbon.

Plus généralement, alors que le pétrole est principalement un carburant de transport, la demande en est liée à la production dans l'ensemble de l'économie, qui dépend du gaz naturel et du charbon. Une réduction forcée de la consommation de pétrole réduirait la production économique, ce qui induirait une réduction à l'échelle du système dans l'électricité et la demande de chauffage. À un niveau plus large, toutes les sources d'énergie interagissent pour maintenir l'économie mondiale. S'il y avait un défaut majeur dans cette économie, la continuité de la production, la transformation, le commerce et la distribution de toutes les sources d'énergie peut être mis en péril. Il n'y aurait de source d'énergie indépendante que s'il y avait possibilité de substitution en temps réel et que s'il y avait un excédent net dans une ou plusieurs des sources alternatives.

Nous pouvons combler l'écart

Si le pic de production mondiale de pétrole est imminent, ou survient dans la prochaine décennie, nous n'avons ni le temps ni les ressources pour trouver des substituts, ou pour investir dans la conservation et l'efficacité. Ce point a été fait récemment par le Conseil britannique de recherche énergétique [17] et beaucoup d'autres [18], [19].

Nous pouvons décrire les raisons générales comme suit. Ce n'est pas simplement que nous remplaçons les sources d'énergie de haute qualité avec celles de moindre qualité, tels que les sables bitumineux et les énergies renouvelables. Ce n'est pas non-plus que les coûts de telles alternatives sont généralement supérieurs à ceux des sources historiques établies. Ce n'est pas non-plus que la base productive pour le déploiement d'infrastructures

d'énergie alternatives est petite, avec peu de montée en puissance, ou qu'elle est en concurrence avec l'alimentation, ni même que la crise mondiale du crédit se poursuit avec des risques de plus long terme. Faire monter en puissance le financement de ces alternatives restera difficile si de nombreux pays aux prises avec des déficits ballonnants et des préoccupations immédiates. Le point principal est que, une fois les effets du pic pétrolier devenu évidents, nous allons perdre beaucoup de ce que nous avons appelé le tissu opérationnel de notre civilisation. Par exemple, toute dégradation ou effondrement du tissu opérationnel dans un avenir proche pourrait signifier que nous avons déjà mis en place une fraction importante de l'infrastructure en énergie renouvelable qui ne sera jamais mise en place au niveau mondial.

L'économie du pic pétrolier

Les bases thermodynamiques de l'économie mondiale s'expriment à travers des prix de l'énergie.

Bien que le prix du pétrole dépende de beaucoup de choses, l'offre et la demande sont les plus fondamentaux. La spéculation peut être un facteur majeur dans la fixation des prix aussi, mais elle ne peut avoir des effets qu'à court terme et, si le monde était inondé de pétrole, il y aurait peu d'incitation à spéculer. Du côté de l'offre, le prix payé pour le pétrole doit être supérieur au coût marginal d'un baril de pétrole, sinon la production n'en vaut pas la peine. Du côté de la demande, le prix que les utilisateurs peuvent se permettre de payer dépend de la santé de leur économie, qui peut être sapée par les prix élevés du pétrole.

Le modèle de déclin oscillant est une tentative de décrire l'effet du pic pétrolier sur l'économie. Dans ce modèle, la production de pétrole contraint ou en déclin conduit à une escalade des prix du pétrole et des aliments par rapport au revenu disponible, qui se propage à l'économie tout entière.

Mais les économies ne peuvent pas payer ce prix pour un certain nombre de raisons. Tout d'abord la hausse des prix laisse les gens avec moins d'argent à dépenser pour des articles facultatifs, causant des pertes d'emplois et des fermetures d'entreprises parmi les fournisseurs. Deuxièmement, pour un pays qui est un importateur net d'énergie, l'argent envoyé à l'étranger pour payer l'énergie est perdue pour l'économie à moins qu'elle ne stimule l'exportation de biens de valeur équivalente (hautement improbable dans cette analyse).

La croissance contrainte conduit à la hausse des défaut sur les prêts et à

moins d'échanges internationaux qui soutiendraient le service de la dette externe. Cela augmenterait les taux d'intérêts puisque les perspectives d'avenir économique deviendraient plus précaires. Il y aurait une tendance à épargner contre les risques accrus de chômage. L'effet général serait déflationniste puisque l'offre de monnaie chuterait par rapport aux biens et services disponibles. Cela s'ajouterait aux déjà énormes pressions déflationnistes découlant du désendettement dû à l'expansion de l'hyper-crédit des deux dernières décennies. La hausse du coût du service de la dette, en plus de la hausse des prix de la nourriture et de l'énergie, resserrerait encore la consommation. Le modèle de déclin oscillant assume que ces contraintes ne sont pas suffisantes pour causer une défaillance systémique terminale du système bancaire mondial ou un effondrement monétaire majeur.

Le déclin de l'activité économique entraîne une baisse du pouvoir d'achat et une baisse de toutes les formes de la demande en énergie et une baisse des prix. La chute ou la volatilité des prix de l'énergie signifie que toute nouvelle production est moins susceptible d'être mise en route. Les investissements dans les énergies, dans le pétrole, les énergies renouvelables, le gaz naturel ou le nucléaire, par exemple, deviennent moins compétitifs non pas seulement parce que les prix de l'énergie sont plus faibles mais aussi parce que les infrastructures énergétiques existantes et l'approvisionnement serait en sur-capacité. Les revenus "réduits" des sociétés d'énergie et les conditions de crédit plus mauvaises limitent leur capacité à investir dans de nouvelles productions.

[20] La réduction des revenus signifie également que les coûts fixes de l'entretien des infrastructures énergétiques existantes (gazoducs, le réseau électrique, raffineries, etc) est un fardeau plus lourd en tant que pourcentage d'un chiffre d'affaires en baisse.

Si la production diminue de façon significative, les entreprises perdent les économies d'échelle qu'elles faisaient grâce à leur infrastructure. Par exemple, une fois que les recettes provenant des ventes de gaz naturel deviennent moins élevées que les coûts fixes d'exploitation des plate-formes de production et des pipelines, alors continuer à livrer du gaz n'est plus viable. Cela signifie que la perte des économies d'échelle peut conduire à un effondrement brutal de l'offre, conduisant à une réduction supplémentaire de la capacité de production, et donc de la production économique. C'est encore une autre boucle de rétroaction "positive".

Ces mêmes conditions limitent également l'adaptation énergétique. Par exemple, il serait plus difficile pour les consommateurs d'acheter des voitures électriques ou d'investir dans l'isolation, et plus difficile pour les gouvernements de les subventionner. Il serait également plus difficile pour les constructeurs automobiles d'effectuer une montée en puissance de la production et de réaliser des économies d'échelle (en plus de faire face à des approvisionnements de lithium serré). En général, plus les contraintes économiques et sociales sur une économie sont importantes, plus il est probable que les ressources seront déployées pour faire face aux préoccupations immédiates plutôt que d'être investies dans quelque chose qui apporte un avantage futur. Cela exprime la hausse généralement observée du taux de déclassement social en période de stress croissant.

Dans un tel environnement où l'énergie est limitée, on s'attendrait également à une hausse des risques géopolitiques. Les accords bilatéraux entre les pays pour sécuriser le pétrole et les aliments réduiraient la quantité disponible sur le marché libre. Cela accroîtrait également la vulnérabilité inhérente à des chocs très asymétriques de prix ou d'offre issues de l'action militaire d'états ou d'autres entités, issues de conditions météorologiques extrêmes, ou de tout autre événement « cygne noir » [« black swann » rare mais impactant].

Lorsque les prix du pétrole montent au-dessus du coût marginal de production et de livraison, mais peuvent encore être permis, malgré une diminution du pouvoir d'achat, l'énergie pour le retour de la croissance est à nouveau disponible. Bien sûr, les différences locales et nationales (par exemple, le degré de dépendance aux importations d'énergie ou à l'exportation de productions clés telles que la nourriture) affectent la façon dont les régions se comportent dans la récession et leur capacité générale à repartir. Même ainsi, la croissance commence à nouveau, en se concentrant peut-être sur des productions et consommations plus «durables».

Cependant, le retour de la croissance ne fera pas augmenter le pouvoir d'achat de l'économie à son niveau précédent, car la production de pétrole sera limitée par l'épuisement des ressources, par le manque d'investissement dans la production, par la dégradation entropique de l'infrastructure et de la capacité productive, et par le pouvoir d'achat plus bas qui réduira le prix que l'économie peut se permettre pour payer son pétrole. La reprise sera coupée court quand le pétrole, les denrées alimentaires et les prix de l'énergie créeront une autre récession.

La séquence des événements dans le modèle de récession oscillante est donc la suivante : augmentation de l'activité économique - hausse des prix de l'énergie - une récession survient - les prix de l'énergie chutent - l'activité économique reprend à nouveau, mais à un niveau plus faible délimité par la production de pétrole en baisse. En conséquence, l'économie oscille vers un niveau d'activité de plus en plus bas.

Il y a de bonnes raisons de croire que ce processus a déjà commencé. Au moins une autorité lie les prix record du pétrole en 2007 à l'éclatement de la bulle de crédit. [21]

Dynamiques de l'effondrement

Le modèle de contraction oscillatoire ne prend pas en compte correctement certaines des structures intégrées de l'économie mondiale qui, bien que relativement évidentes, ont été obscurcies par le fait qu'elles ont été adaptées à une économie en croissance. **Si la production de pétrole baisse, et que nous ne pouvons pas combler le fossé entre l'énergie nécessaire à la croissance et ce qui peut être produit, comme nous l'avons vu dans le modèle de contraction oscillante, cela limite la disponibilité d'autres types d'énergie, alors l'économie mondiale doit continuer à se contracter. En bref, l'humanité est aux limites ou a dépassé les limites de la croissance.**

Les structures intégrées qui échouent à se contracter d'une manière ordonnée s'effondreront.

Les structures qui se décomposeront, incluent le système monétaire et financier, les infrastructures essentielles, les économies d'échelle mondiale, et la

production alimentaire. Comme souligné plus haut, ces structures sont profondément interdépendantes. En conséquence, leur effondrement se renforceront mutuellement.

Leurs effondrements sapent l'ensemble du tissu opérationnel et le fonctionnement de l'économie mondiale et tout ce qu'elle supporte.

Il a été argumenté jusqu'à présent que notre civilisation est un seul système adaptatif complexe. Les systèmes adaptatifs complexes, et les sous-systèmes dont ils sont composés, sont une caractéristique de systèmes thermodynamiques ouverts. Et bien qu'il en existe une grande diversité, des marchés aux écosystèmes, ou au comportement d'une foule, leurs propriétés dynamiques ont des caractéristiques communes. La plupart du temps les systèmes adaptatifs complexes sont stables, mais beaucoup d'entre eux ont des seuils critiques appelés points de basculement, quand le système se déplace brusquement d'un état à un autre. Les points de basculement ont été étudiés dans de nombreux systèmes, y compris les crashes de marché, les brusques changements climatiques, l'effondrement de la pêche et les crises d'asthme. Malgré la complexité et le nombre de paramètres au sein de tels systèmes, le méta-état du système peut souvent être dépendant de seulement une ou deux variables clés d'état. [22]

Des recherches récentes ont indiqué que ces systèmes, à l'approche d'un point de basculement, commencent à avoir des caractéristiques comportementales communes, indépendamment du type particulier de système. [23] Cette unité entre les dynamiques de systèmes disparates nous donne un formalisme par lequel décrire l'état dynamique de la civilisation globalisée, via sa mesure approximative du produit mondial brut (PMB) et de sa variable d'état majeur, le flux d'énergie.

On donne le nom de bifurcation catastrophique à un type de transition, où une fois le point de basculement passé, une série de rétroactions positives conduit le système à un état contrasté. Par exemple, comme le climat se réchauffe, il augmente les émissions de méthane de la toundra arctique, qui entraîne un changement climatique encore plus fort, ce qui conduit à une croissance supplémentaire des émissions. Cela pourrait déclencher d'autres points de basculement, comme la mort de la forêt dans le bassin de l'amazone, ce qui conduirait à d'autres émissions. Ces rétroactions positives

pourraient signifier que tout ce que l'humanité pourrait essayer de faire n'aurait plus aucune importance puisque son impact serait submergé par l'accélération de processus de bien plus grande échelle.

De petits changements peuvent produire une grande réponse

Figure 2 : L'état d'un système réagit à tout changement de ses conditions. La ligne continue représente un équilibre stable. Dans le schéma A, un changement dans les conditions entraîne une réponse approximativement linéaire dans l'état du système, au contraire du schéma B où un seuil est franchi et la réaction au changement de condition devient très sensible. Les schéma a bifurcation pliée (C, D) ont trois équilibres pour la même condition, mais celui représentée par la ligne pointillée est instable. Cela signifie qu'il y a une gamme d'états du système qui sont dynamiquement instables quelle que soit la condition. Source [24].

La figure 2 montre comment l'état du système répond à un changement de conditions. L'état d'un système pourrait représenter la taille d'une population de poissons, ou le niveau de la biodiversité dans une forêt, tandis que les conditions pourraient représenter la charge en éléments nutritifs ou la température (les deux étant vecteurs d'énergie). La ligne continue représente un équilibre stable, la ligne en pointillé un équilibre instable. Dans un équilibre stable, l'état du système peut être maintenu une fois que la condition est maintenue. Dans la figure a) et b), nous voyons deux réponses différentes d'un système stable dans des conditions changeantes. Dans la première, un changement donné dans des conditions a un effet proportionnel sur l'état du système, dans le second, l'état est très sensible à un changement des conditions. En c) et d) le système est dit être proche d'une bifurcation catastrophique. Dans ces deux cas, il y a une région instable, où il existe une gamme d'états du système qui ne peut pas être maintenu. Si un état du système est dans un régime instable, il est conduit de manière dynamique à un autre état stable disponible. Si l'on est proche d'un point de basculement à une bifurcation catastrophique le moindre changement dans la condition peut provoquer un effondrement vers un nouvel état comme dans c), ou une petite perturbation peut conduire le système au bord de la frontière comme en d). L'état de notre civilisation dépend nécessairement de l'état de l'économie mondiale. J'ai mentionné précédemment que l'économie mondiale a été dans un état dynamique mais stable depuis 150 ans ou plus, parce qu'il y a eu, pendant cette période, une croissance économique d'environ 3% par an avec

une bande étroite de fluctuation . L'état de l'économie mondiale est indiqué par la croissance annuelle du PMB (Produit Mondial Brut) d'environ 3%, et le PMB est absolument dépendant de flux croissants d'énergie.

Pour prétendre que la civilisation est sur le point de s'effondrer, il est nécessaire de montrer que des rétroactions positives existent qui, une fois un point de basculement passé, entraîneront rapidement le système vers un autre état contrasté. Il est également nécessaire de démontrer que l'état de l'économie mondiale est entraîné vers un régime instable, où la force du processus de rétroaction est plus grande que tout processus de stabilisation. Il faut aussi reconnaître qu'il peut y avoir une période de déclin oscillant au début , mais une fois que les composants structurels majeurs (la finance internationale, la techno-sphère) chutent ou «gèlent» , un effondrement irréversible doit se produire.

Dans le nouvel état d'équilibre d'après l'effondrement, on pourrait s'attendre à une chute de la richesse matérielle et de la productivité, une localisation / dé-mondialisation forcée, et un effondrement de la complexité par rapport à avant - une expression de la réduction des flux d'énergie .

Les mécanismes de l'effondrement

Le système monétaire et financier

Au moment où j'écris, les craintes sont exprimées qu'un défaut souverain grec est peut-être inévitable et que, par conséquent, les marchés pourraient refuser de prêter à l'Irlande, au Portugal et à l'Espagne, les obligeant également au défaut. En Irlande, comme dans d'autres pays, la déflation se poursuit puisque la base monétaire se réduit, et les gens diminuent leurs dépenses en raison des craintes de chômage futur. Comme notre fardeau de la dette devient plus grand par rapport à notre revenu national, cela ajoute à l'instabilité dans la zone euro. Un défaut contagieux serait un coup majeur pour les banques allemandes et françaises, qui ont prêté à ces quatre pays. L'historien de l'économie Niall Ferguson a fait valoir que les déficits budgétaires américains pourrait conduire à un certain point dans le futur à un effondrement rapide de l'économie des États-Unis, notant que "la plupart des chutes impériales sont associées à une crise financière". [25] Une telle crise ferait glisser vers le bas toutes les économies, y compris celles de la Chine et de l'Arabie saoudite.

Ces exemples font ressortir trois choses. La première est que bien que

l'argent peut n'avoir aucune valeur intrinsèque, elle peut néanmoins décider du sort des nations et des empires. La seconde est que dans une économie intégrée globalisée, une crise dans une région peut devenir la crise de tout le monde. Enfin, **cela souligne que les risques découlant d'un endettement énorme (et de déséquilibres commerciaux induits) sont toujours bien présents, indépendamment des contraintes de ressources. Ce dernier point est assez ironique puisque jamais nous n'avons été aussi endettés, ce qui est essentiellement l'expression de notre foi dans la croissance économique future, alors même que cette croissance devient impossible en raison de contraintes de ressources.**

Précédemment, j'ai expliqué que le système monétaire et financier est une plaque tournante de l'infrastructure de l'économie mondiale, sans autre alternative opérationnelle. Il est basé sur le crédit, les intérêts et les monnaies fiduciaires. **Le crédit est à la base de notre système monétaire, du financement des investissements, du financement du déficit du gouvernement, des déficits commerciaux, des lettres de crédit, du marché obligataire et de la dette des entreprises et des personnes. Le crédit, et la promesse d'une croissance économique future, soutiennent notre marché boursier, la production, l'emploi et bien d'autres choses. Il s'agit d'une infrastructure primaire institutionnelle de l'économie mondiale.**

Sur l'ensemble de l'économie, pour que la dette soit remboursée avec intérêt, l'offre de monnaie doit augmenter d'année en année pour remplacer l'argent perdu pour l'économie lorsque les paiements d'intérêts sont faits [1]. L'argent est injecté dans l'économie lorsque des prêts supplémentaires sont retirés. En conséquence, le paiement des intérêts exige un niveau croissant de dette et, éventuellement, le niveau de dette deviendra insupportable à moins

que les revenus n'augmentent aussi, soit parce que l'économie a cru ou parce qu'il y a eu inflation. Si les remboursements de prêts y compris les intérêts dépassent la valeur des nouveaux prêts accordés, la base monétaire se contracte. Si elle le fait, moins d'affaires peuvent être faites, de sorte que des entreprises font faillite et qu'il y a moins de pouvoir d'achat dans l'économie ce qui entraîne aussi des difficultés croissantes avec le service des dettes. Cela incite les gens à dépenser moins, et les emprunts d'investissement baissent. En d'autres termes, une spirale déflationniste se développe. Au contraire, si la dette, et donc l'offre de monnaie, augmente sans une augmentation correspondante dans le PIB, le pouvoir d'achat de l'argent est réduit par l'inflation.

L'augmentation du PIB nécessite que les flux d'énergie et de matériaux augmentent. S'il y a une contraction des flux d'énergie, l'économie doit se contracter. Dans une économie en croissance, les dettes peuvent être remboursées à échéance, parce que les emprunteurs sont prêts à prendre des prêts supplémentaires suffisant pour couvrir le paiement du principal plus les intérêts sur les prêts anciens comme ils arrivent à terme. Dans une économie en contraction, le revenu qui diminue rend le paiement des intérêts de plus en plus difficile, puisque avec des niveaux d'emprunts inadéquats, la base monétaire baisse. Une autre façon d'exprimer cela est que la réduction des flux d'énergie ne peut pas maintenir la production économique nécessaire pour le service de la dette. La valeur de la dette doit être ramenée à un niveau approprié pour le nouveau niveau de production. Cette dépréciation peut être réalisée par un défaut en masse ou par l'inflation. Par conséquent, si l'on s'attend à ce que l'économie se contracte, année après année, le nombre de personnes prêtes à emprunter ou à prêter de l'argent de façon classique va se tarir, comme personne ne sera convaincu que les emprunteurs ont un revenu suffisant pour effectuer les paiements d'intérêts.

Les principaux actifs d'une banque sont les prêts notés dans ses comptes. Si même un dixième de ces prêts ne peut pas être remboursé, cette banque est anéantie car pour compenser les pertes il faudrait plus que le capital de ses actionnaires et des bénéfices non distribués. Les déposants ne pourraient pas être remboursés en totalité et le gouvernement ou la banque centrale aurait à intervenir pour réparer la perte et permettre à la banque de continuer à commercer. Si les pertes de la banque se poursuivent et que les revenus et la valeur des actifs baissent encore, le gouvernement est susceptible d'atteindre

la limite de sa capacité d'emprunt. Il resterait à la banque centrale à créer de l'argent à partir de rien pour combler le trou dans les livres de la banque, mais elle est susceptible d'être réticente à le faire de peur que la nouvelle monnaie soit une cause d'inflation.

Contrairement à des crises monétaires précédentes, une qui serait causée par la baisse des revenus et des valeurs d'actif serait systémique et globale. Il n'y aurait pas de prêteur «extérieur» de dernier ressort pour pourvoir au sauvetage, ou d'une devise externe forte pour constituer une réserve importante pour des importations. Le système ne pourrait pas non-plus être réinitialisé dans l'attente d'une croissance future, car ces attentes seraient peu fondées.

Comme les pressions déflationnistes se poursuivraient tant que la crise se développerait, les prix du pétrole, de la nourriture, et de la dette augmenterait par rapport aux revenus des gens qui auraient tendance à baisser. Il y aurait donc une augmentation de la fréquence des défauts souverains, des effondrements bancaires, une baisse de la production, des achats paniques et des finances publiques brisées. Dans un tel contexte, imprimer de l'argent (pas nécessairement par un assouplissement quantitatif classique) et des réévaluations monétaires sont susceptibles de devenir nécessaires. À moins que la question de l'argent ne soit étroitement contrôlée, cela pourrait ouvrir la porte à de l'hyper-inflation. Cependant, la prévision et le contrôle de l'offre de monnaie peut être très difficile en raison de l'incertitude intrinsèque de l'environnement monétaire et économique. Il y a en effet un risque d'inflation supplémentaire si les gens commencent à avoir des doutes sur leurs dépôts bancaires et sur la stabilité monétaire à venir, ils peuvent commencer à dépenser sur les biens de première nécessité et les actifs durables, ce qui augmenterait la vélocité de l'argent et accroîtrait encore l'inflation.

La confiance est le principe central qui sous-tend le système monétaire mondial et donc les réseaux de commerce sur lesquels nous nous appuyons. Les gouvernements peuvent, en théorie, imprimer de l'argent sans fin, sans presque aucun coût. Que nous l'échangions contre nos biens limités, ou notre travail fini, est une mesure de la confiance remarquable qui nous a été léguée par notre expérience de la croissance de la mondialisation. L'économiste Paul Seabright soutient que la confiance entre des êtres humains sans lien extérieur à leurs propres réseaux tribaux ne peut pas être considérée comme acquise. [26] Comme le commerce est, en général, à notre avantage, nous

avons développé des institutions de confiance et de dissuasion («règle», les systèmes juridiques, le FMI, la réglementation bancaire, les assurances contre la fraude, et l'Organisation mondiale du commerce, etc) afin de renforcer la coopération et de dissuader les escrocs. La confiance est à la base du respect dans les échanges, ce qui confère des avantages, ce qui renforce la confiance. Mais l'inverse est également vrai. Une rupture de la confiance peut provoquer des défections dans le respect des échanges, réduisant davantage la confiance. Parce que notre gouvernance et la politique monétaire sont nationales (l'euro est susceptible d'échouer), mais que nos besoins de base sont fournis globalement, les pays seront tentés de se livrer à des dévaluations prédatrices suivie par de l'inflation. Cela pourrait se produire même si les gouvernements émettaient de l'argent sans dette pour les citoyens. Les gouvernements agissent d'abord pour leurs propres citoyens. Dans une crise en évolution, ils sont également susceptibles de favoriser des avantages immédiats plus clairs à des avantages futurs incertains. Face à des besoins nationaux immédiats et projetés, à la perspective d'une baisse continue de la base de production mondiale et à des risques d'effondrement dans le tissu opérationnel, les gouvernements risquent d'être confrontés au choix suivant: maintenir la valeur de la monnaie par des émissions limitées en espérant qu'elle continuera à l'avenir à être plus acceptable pour les commerçants étrangers, ou imprimer de l'argent "furtif" pour essayer de mettre le grappin sur les actifs et les ressources internationaux avant il y ait une défaillance majeure du système. De plus, si les crises monétaires sont considérées comme inévitables, et que le troc d'actifs tangibles ou que les garanties de change [ex une monnaie garantie sur de l'or] sont susceptibles de les remplacer, alors la fin du dévouement d'un pays à la stabilité monétaire devient une question de quand, et non plus de si. De cette façon, la dynamique de confiance mondiale qui a évolué dans une certaine confiance dans la croissance future, commence à se décomposer.

Rappelez-vous, qu'on n'échange quelque chose avec une valeur intrinsèque contre de la monnaie que si l'on peut supposer que l'argent que nous obtenons peut être échangée ultérieurement pour autre chose avec une valeur intrinsèque. En d'autres termes, nous devons être en mesure de supposer que les taux de change seront stables et que l'inflation sera faible dans la période avant de dépenser de l'argent à nouveau. L'instabilité de l'argent-dette, des monnaies fiduciaires et des dévaluations compétitives retirent entièrement la

base de cette hypothèse. L'argent devient très difficile à évaluer dans l'espace (pour les devises étrangères et le commerce) et dans le temps (pour l'épargne et l'investissement). Nous pouvons dire que cela devient opaque.

L'intermédiation bancaire, le crédit et la confiance dans le fait que l'argent conserve sa valeur sont les fondements des réseaux commerciaux complexes sur lesquels nous comptons. L'inadéquation entre nos dépendances envers les chaînes d'approvisionnement mondiales, régionales et locales, les systèmes monétaires, et la politique économique nationalisée, qui n'a pas été un problème jusqu'à présent, va le devenir au fur et à mesure que la crise monétaire se développe. Un effondrement complet dans le commerce mondial en serait une conséquence extrême, mais pas improbable.

Même si les dettes étaient effacées ou dégonflées par l'inflation, une proportion beaucoup plus élevée des revenus réduits de tout le monde sera absorbée par la nourriture et les achats d'énergie.

Toutefois, un pays ne sera en mesure d'importer de l'énergie, de la nourriture et des intrants pour ses processus de production que pour exporter quelque chose de valeur égale, car il ne sera plus accordé de crédit pour un déficit commercial. L'incertitude sur la valeur de l'argent, et les craintes de dégradation future du tissu opérationnel, sont susceptibles de signifier que des produits tels que l'or, le pétrole, les céréales et le bois puissent être utilisés comme monnaie pour régler les comptes. Cependant, cette forme de paiement est mal adaptée à la complexité des échanges globaux.

Les exportations vont s'effondrer avec le niveau de production dans un pays, ce qui rendra encore plus difficile d'importer de l'énergie ou des matériaux pour augmenter la production. Comme je l'ai expliqué précédemment, les économies modernes ne produisent presque rien localement, quand la chaîne d'approvisionnement sera en panne cela provoquera de plus en plus fréquemment l'indisponibilité des intrants clés pour la production. Cela provoquera des problèmes de production supplémentaires et il est probable que les pays restent bloqués à un niveau très faible d'activité économique.

De plus, parce que nos chaînes d'approvisionnement sont si complexes et mondialisées, les défaillances locales en matière de stabilité monétaire, de manque d'intrants, ou de tissu opérationnel se propageraient à travers les liens des chaînes d'approvisionnement et d'autres structures opérationnelles nationales. De cette façon, les défaillances localisées deviendraient rapidement mondialisées.

L'alimentation

Les producteurs alimentaires mondiaux sont déjà en difficulté pour répondre à la demande croissante à cause du stress de la dégradation des sols, des pénuries d'eau, de la surpêche et des effets bourgeonnants du changement climatique. [28] Il est estimé qu'entre sept et dix calories de d'énergie fossile vont dans chaque calorie des aliments que nous consommons. Il a été estimé que sans engrais azoté, produit à partir de gaz naturel, pas plus de 48% de la population d'aujourd'hui pourraient être nourris au niveau insuffisant de 1900 . [29] Aucun pays n'est auto-suffisant en production alimentaire aujourd'hui.

La fragilité du système de production alimentaire mondiale sera exposée par une baisse de production du pétrole et des autres énergies. Ce n'est pas seulement l'apport d'énergie la plus directe, comme le diesel, qui seraient touchés, mais les engrais, les pesticides, les semences, et les pièces détachées pour les machines et le transport. Une structure opérationnelle défaillante peut signifier qu'il n'y a pas d'électricité pour la réfrigération, par exemple.

Il devrait être clair, grâce à l'aperçu ci-dessus qu'un effondrement financier majeur ne consisterait pas simplement en une production alimentaire réduite par rapport à la production actuelle, mais pourrait entraîner que les aliments pourrissent dans les champs, une incapacité à relier la production excédentaire à ceux qui en ont besoin, un manque de pouvoir d'achat et une incapacité à mettre en place des échanges alimentaires monétisés.

Notre dépendance critique envers la chaîne d'approvisionnement complexe en flux tendu signifie qu'il y a peu d'amortisseurs pour nous protéger contre les chocs d'offre. Dans le cas d'un choc, sauf si des précautions sont prises, il est probable que la faim pourrait se propager rapidement. Même dans un pays qui serait indépendant alimentaires ou un exportateur net, cela pourrait prendre des années pour mettre en place de nouveaux systèmes. Dans l'intervalle, les risques sont graves.

Le primat du nécessaire et les économies d'échelle inversées

Nous avons mentionné que de plus en plus du revenu en baisse des gens se reportera sur des achats non-discrétionnaires, en particulier les vivres et l'énergie. Qu'est-ce que cela signifie pour les économies développées, où la

plupart de l'énergie et une bonne quantité de la nourriture sont importées, et ou ces secteurs emploient seulement quelques pour cent d'une population ? Cela signifie non seulement un chômage de masse, mais aussi un petit pouvoir d'achat disponible pour les nécessités dont nous dépendons. Une situation similaire pourrait exister dans d'autres pays.

Importations et exportations chuteraient rapidement. Les chômeurs, les scolarisés et les adaptés aux rôles spécialisés et en grande partie de services de l'économie mondialisée, seraient tout à fait perdants pour une période considérable.

De plus nous serions confrontés à des économies d'échelle inversées. Quand la taille, l'intégration et la complexité de l'économie mondiale a augmenté, notre bien-être local est devenu de plus en plus dépendants des économies d'échelle mondiales. Les économies d'échelle travaillent à tous les niveaux et pas seulement dans les biens que vous achetez, mais dans l'ensemble des composants qui sont entrés dans sa réalisation, et ainsi de suite. De même, toutes les plate-formes d'infrastructures dépendent des économies d'échelle mondialisées. Les prix unitaires plus bas ont conduit à de plus grands volumes de vente et ont également libéré un revenu discrétionnaire pour être consacré à d'autres biens et services. Ainsi, notre pouvoir d'achat est trop dépendant des économies d'échelle.

L'évolution de nos économies et des infrastructures économiques a été fondée sur des économies d'échelle croissantes.

Si le processus de mise à l'échelle en place fait marche arrière, le pouvoir d'achat se réduit, et les consommations non discrétionnaires se contractent, et le chômage augmente. Moins de biens et services sont vendus, ce qui réduit les économies d'échelle, ce qui provoque une hausse des prix, entraînant de nouvelles baisses dans les ventes. Le problème est particulièrement aigu pour les produits très complexes et les services dont la substituabilité est limitée, et ceux qui ont des coûts opérationnels élevés.

Par exemple, comme peu d'utilisateurs peuvent se permettre de remplacer leurs téléphones mobiles ou leurs ordinateurs, ou les utilisent moins, le coût du matériel personnel et de l'entretien du réseau augmente par utilisateur. La hausse des coûts signifie utiliser moins et ainsi de suite. Ceci est une affaire sérieuse pour les opérateurs, car les plate-formes informatiques communes nécessitent un grand nombre d'utilisateurs pour maintenir les coûts par utilisateur faibles. En effet, l'utilisation la plus discrétionnaire (par exemple,

Facebook, les SMS et les Playstation) sert à réduire le coût pour des utilisations plus importantes telles que les opérations commerciales, bancaires, le réseau d'électricité et les services d'urgence. Retirez les utilisations discrétionnaires et le coût pour les entreprises et les services critiques commence à dégénérer. Par ailleurs, les grosses infrastructures ont un coût fixe de fonctionnement et d'entretien. Une fois que le revenu sera inférieur au coût d'exploitation, le système sera désactivé à moins d'être soutenu de l'extérieur. Comme le revenu du gouvernement est susceptible de tomber fortement, cela pourrait ne pas être possible.

Les infrastructures essentielles

Nous sommes profondément dépendants des réseaux, informatique et communications, transports, eau et assainissement, et des infrastructures bancaires. En général, ces produits sont parmi les plus technologiquement complexes et coûteux au sein de notre civilisation. Leur échelle et leur capacité sont déterminées par la croissance courante et projetée des économies, ce qui signifie qu'ils ont des coûts fixes élevés. Ils sont viables parce qu'il y a du pouvoir d'achat, des économies d'échelle, des chaînes d'approvisionnement ouvertes et une stabilité monétaire en général dans le monde entier.

En raison de leur complexité et de leur ampleur (ce qui implique des niveaux élevés d'usure entropique), cette infrastructure nécessite des apports continus d'entretien et de réparations. Ces entrées sont souvent très complexes, ont une durée de vie limitée et nécessitent des composants spécialisés qui dépendent de chaînes d'approvisionnement diversifiées et étendues. Pour les différentes raisons discutées, des substituts ou des sous-composants pour l'entretien peuvent ne pas exister, ce qui provoquerait une décomposition de ces infrastructures critiques. Ou encore, le fournisseur d'infrastructure ou le fournisseur de composants peuvent ne pas être en mesure d'acheter les intrants dus à la perte de pouvoir d'achat dans les économies, la perte des économies d'échelle ou de l'effondrement monétaire.

Le couplage étroit entre les différentes infrastructures amplifie le risque d'une défaillance en cascade dans nos infrastructures essentielles et donc un échec complet systémique de la structure opérationnelle dont notre bien-être dépend. Tout du moins, une infrastructure défaillante renforce la contraction de l'activité économique et de la consommation d'énergie, ce qui sape encore

la capacité à maintenir les infrastructures en l'état.

La dynamique du système financier

Notre connaissance et nos attentes sur le futur forme ce futur. Un domaine qui est des plus sensible à cette question est celui des marchés financiers. L'argent n'a de valeur que parce qu'il peut être échangé contre un véritable bien, comme de la nourriture, des vêtements ou un voyage en train. Tant que nous partageons la confiance dans la stabilité monétaire, nous pouvons économiser, commercer et investir. C'est un bien virtuel, car il représente seulement une créance sur quelque chose de physiquement utile. [27] Pour la plupart d'entre nous, obligations et actions sont virtuelles, puisque les actionnaires ont très peu d'accès significatif à tous les actifs physiques sous-jacent, l'argent sert d'intermédiaire. Cependant, la valorisation actuelle des actifs virtuels domine les actifs productifs réels sur lesquels leur valeur est censée être fondée. Une reconnaissance de dette est précieuse, car nous nous attendons à être remboursés avec intérêt dans quelques années; Payer 20 fois les bénéfices pour des actions dans une entreprise est une mesure de la confiance dans la croissance future de cette société. Inversement, si un actif productif ne peut être produit en raison des contraintes sur l'énergie et les ressources et le tissu opérationnel, elle perd sa valeur. Cela implique que la richesse virtuelle, y compris les fonds de pension, des garanties d'assurance et de la dette, vaudra beaucoup moins qu'à l'heure actuelle, ou même s'évaporerait [2].

La reconnaissance généralisée par les participants du marché (et les gouvernements) que le pic pétrolier est sur nous, couplée à une compréhension de ses conséquences, est susceptible de crasher le système financier mondial. Au début, seulement quelques acteurs du marché vont commencer à remettre en question leur foi dans la stabilité globale et dans la croissance continue du système et donc dans la valeur probable de leurs actifs virtuels. Cependant, la transition peut être très rapide entre quelques acteurs du marché acceptant l'idée que le système pourrait se briser définitivement, et une acceptation à grande échelle. Une rétroaction positive, axée sur la crainte, pourrait se développer entraînant la conversion vers des actifs réels d'une montagne d'actifs de papier virtuel.

Cela aiderait à précipiter une chute irrémédiable du système financier et économique.

Le problème du re-boot

L'occasion de re-démarrer l'économie mondialisée depuis un creux dans le modèle de contraction oscillant, ou depuis un état effondré, dans le but de retourner à l'état opérationnel actuel, est susceptible d'être profondément problématique. Nous pouvons considérer cela à partir de quatre points de vue.

Dégradation Entropique

Quand l'Allemagne a été touché par la crise économique mondiale, il y a eu une baisse importante de la nécessité pour le transport commercial. Cela a eu comme résultat que des trains et des locomotives ont été mis hors d'usage. Un an plus tard, alors que l'économie s'est redressée, les trains étaient à nouveau nécessaires. Mais dans l'intervalle, des cylindres et des moteurs avait rouillé. Les trains n'étaient plus d'aucune utilité tant que les réparations ne pouvaient être effectuées, ce qui nécessitait des finances, du temps et des chaînes d'approvisionnement disponibles. Il y a eu une pénurie coûteuse pendant un certain temps, mais une structure opérationnelle entièrement fonctionnelle et l'économie en général ont assuré qu'il n'y ait pas eu de catastrophe [30].

Si nous avons un effondrement économique majeur, plus il durera, plus grande sera la désintégration entropique de notre infrastructure critique et productive, et plus il sera difficile de redémarrer.

Perte de coordination

L'économie mondiale que nous avons maintenant est le résultat d'un processus d'auto-organisation qui a émergé au fil des générations. Si elle s'effondrait, nous perdriions l'infrastructure qui a permis à ce système d'auto-organisation d'émerger. Après l'effondrement, nous aurions à recommencer une patiente reconstruction de haut en bas, ce qui suffirait pour des projets simples mais pas pour les produits hyper-complexes issus de la mondialisation dont nous dépendons aujourd'hui.

La perte de résilience et de capacité d'adaptation

Dans ce papier, je me suis concentré sur certains mécanismes d'effondrement bien définis qui sont

nécessaires à des degrés divers, mais ils ne sont nullement exclusifs. Des tensions sociales, des crises sanitaires, ou les effets du changement climatique peuvent tous s'ajouter à nos difficultés.

À titre d'illustration, nous pouvons envisager le changement climatique. Nous sommes susceptibles d'assister à une baisse majeure (forcée) des émissions de gaz à effet de serre anthropique.

Cependant, la température peut continuer à augmenter pendant de nombreuses décennies. Par ailleurs, on se retrouve avec une incertitude quant à savoir si nous avons franchi les points de basculement dans le système climatique qui pourraient accélérer les émissions terrestres.

Peu d'études sur l'impact économique du réchauffement présupposent que nous serons beaucoup plus pauvres dans le futur. Les effets physiques du changement climatique, sous la forme d'inondations ou de productivité alimentaire réduite, va amplifier les effets des processus d'effondrement. Être beaucoup plus pauvres, et sans notre tissu opérationnel actuel, signifie que le coût relatif de l'adaptation et de la récupération face à un choc climatique induit va augmenter au-delà de notre capacité à payer, et ceci, beaucoup plus tôt que si notre économie continue à croître au rythme actuel. Par ailleurs, nous allons perdre l'étayage que fournissent les assurances, les chaînes d'approvisionnement ouvertes et la forte économie mondialisée qui pourrait redistribuer les surplus alimentaires venant d'ailleurs.

Objet de l'instant

Dans le stress croissant de l'instant, les ressources disponibles sont plus susceptibles d'être investies dans le traitement des besoins immédiats que dans des investissements de plus long terme. La stabilité de l'économie mondialisée a fourni le contexte dans lequel la planification et l'investissement pouvaient se produire. L'incertitude inhérente au processus de l'effondrement aura aussi tendance à privilégier les actions à court terme. Cela aura pour conséquence de réduire encore les ressources nécessaires pour re-démarrer le système à son état antérieur.

Conclusion

Cette synthèse entre le modèle de baisse oscillante et le modèle d'effondrement a été offert comme un guide plutôt qu'une prédiction. L'ironie est que les gens peuvent rarement s'apercevoir qu'ils vivent sous contrainte énergétique. La rétraction d'une partie de l'énergie de l'économie mondiale peut être obtenue par des baisses de production ou par un effondrement de la demande, mais comme nous l'avons vu, tout cela est profondément lié. Nous pouvons percevoir l'effondrement de la consommation d'énergie non pas comme une contrainte énergétique, mais comme un effondrement bancaire systémique et une contraction du pouvoir d'achat. Alors que l'énergie est généralement considérée comme non discrétionnaire, la consommation d'énergie peut chuter considérablement alors que le bien-être peut, dans une certaine mesure, être maintenu. L'alimentation représentera un défi beaucoup plus persistant avec des prix fort réels soutenus. Un effondrement dans l'approvisionnement alimentaire et / ou de la demande pourrait bien être associé à de la famine.

Tainter, en s'appuyant sur des précédents historiques, a défini certaines des caractéristiques de l'état des sociétés après effondrement :

- un moindre degré de stratification et de différenciation sociale;
- une moindre spécialisation économique et professionnelle;
- moins de contrôle du comportement;
- moins de flux d'information entre individus, entre groupes politiques et économiques, entre le centre et sa périphérie;
- moins de partage, d'échange et de redistribution des ressources;
- moins de coordination générale et d'organisation des individus et des groupes;
- des territoires plus petits intégrés dans une seule unité politique.

L'intégration et la vitesse des processus (informations financières, les mouvements de capitaux, les chaînes d'approvisionnement, la durée de vie des composants, etc) au sein de l'économie mondialisée suggèrent qu'un effondrement sera beaucoup plus rapide que ceux qui les ont précédés. Par ailleurs, le niveau de délocalisation et de complexité dont nous dépendons, et notre manque de systèmes locaux de repli et des connaissances [afférentes], suggèrent que les impacts peuvent être très graves pour les

économies les plus avancées. Aucun pays ou aucun aspect du bien-être humain n'échappera à un impact significatif.

Notre compréhension et nos attentes du monde ont été façonnées par notre expérience de la croissance économique. La stabilité dynamique de cette croissance nous a habitué à ce qui est « normal ». Cette normalité pourrait bientôt être ébranlée. *La Belle Epoque* de notre espèce est passée et son avenir semble plus incertain que jamais.

= = = = =

Notes

1. Here we are referring to the 95% drop in the Baltic Dry Shipping Index. See <http://www.globaleconomicanalysis.blogspot.com/2008/10/baltic-dry-shipping-collapses.html>.
2. Korowicz, D. (2010) Tipping Point: Near-term Systemic Implications of a Peak in Global Oil Production. www.feasta.org/Riskresilience/tipping_point.
3. Maddison, A. (2007) *Contours of the World Economy 1-2030AD*. Page 81 Oxford Univ. Press.
4. See Beinhocker, E. (2005) *The Origin of Wealth: Evolution, Complexity, and the Radical Remaking of Economics*. Rh Business Books.
5. Jones, B. (2009) The Burden of knowledge and the Death of the Renaissance Man: Is Innovation Getting Harder? *Review of Economic Studies* 76(1).
6. Tainter, J. (1988) *The Collapse of Complex Societies*. Cambridge University Press.
7. State of the Nation: Defending Critical Infrastructure. Institute of Civil Engineers (2009).
8. Braudel, F. (1981). *The Structure of Everyday Life (Vol. 1): The limits of the possible*. Collins. Page 74.
9. Chaisson, E. (2001) *Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature*. Harvard Univ. Press.
10. Kinsella, T. Politics must liberate itself for revolution to succeed. *The Irish Times*. 16th March 2009.
11. Cleveland, C. et al. Energy and the US Economy: A biophysical Perspective. *Science* 255 (1984).
12. Ayres, R., Ayres, L., Warr, B. Energy, Power, and Work in the US Economy, 1990-1998. *Energy* 28 (2003).
13. Ayres, R., Warr, B. (2009) *The Economic Growth Engine: How Energy and Work Drive Material Prosperity*. Cambridge, Edward Elgar Publishing.
14. Cleveland, C., Kaufmann, R., Stern D., eds, *Aggregation and the Role of Energy in the Economy*. *Ecological Economics* 32. Elsevier (2000).
15. Al-Huseini, S. In conversation at www.davidstrahan.com/audio/lastoilshock.com-sadad-al-huseini-29.10.07.mp3
16. World Energy Outlook (2008). The International Energy Agency estimates a 'natural' decline rate of 6.7%, which would be expected to rise as production became more dependent upon smaller fields.
17. Sorrell, S. and Speirs, J. (2009) *Global Oil Depletion: An Assessment of the Evidence for the Near-Term Physical Constraints on Global Oil Supply*. UKERC Report.
18. Heinberg, R. (2009) *Searching For a Miracle: Net Energy Limits and the Fate of Industrial Society*. Forum on Globalisation and The Post Carbon Institute.
19. Trainer, T. (2007) *Renewable Energy Cannot Sustain a Consumer Society*. Springer.
20. The evolving credit crisis has led to a drop of 19% in energy investments in 2008 according to the International Energy Agency and the cancellation of many projects that depended upon high oil prices such as the tar sands.
21. Hamilton, J. (2009) *Causes and Consequences of the Oil Shock 2007-2008*. Brookings Papers on Economic Activity. March.
22. Scheffer, M. (2009) *Critical Transitions in Nature and Society*. Princeton Univ. Press.
23. Scheffer, M et al. (2009) Early-warning signals for critical transitions. *Nature* Vol. 461 3 Sept.
24. <http://www.stockholmresilience.org/download/18.1fe8f33123572b59ab800016603/planetaryboundaries->

[mentary-info-210909.pdf](#)

25. Ferguson, N. (2010) Complexity and Collapse: Empires on the Edge of Chaos. Foreign Affairs March/ April.
26. Seabright, P. (2005) The Company of Strangers: A Natural History of Economic Life. Princeton Univ. Press.
27. Soddy, F. (1926) Wealth, Virtual Wealth and Debt: the Solution of the Economic Paradox. George Allen and Unwin.
28. Godfray, H et al. (2010) Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. Science Vol. 327.
29. Smil, V. (1999) Long-Range Perspectives on Inorganic Fertilisers in Global Agriculture. International Fertiliser Development Centre.
30. Germany Faces Freight Train Shortage as Growth Picks Up. Der Spiegel Online. 4th May 2010. <http://www.spiegel.de/international/business/0,1518,687291,00.html>