

La nécessité d'un nouveau paradigme économique basé sur la biophysique



Olivier CHAUDRET



École de technologie supérieure

Université du Québec

CHAO29049701

olivier.chaudret.1@ens.etsmtl.ca

Montréal, le 28 juin 2020



Olivier Chaudret, 2020



RÉSUMÉ

La civilisation mondiale connaît des bouleversements sociaux et économiques, une détérioration de l'environnement et une baisse incontrôlable du PIB. La théorie économique traditionnelle n'a cessé de progresser, mais semble incapable de prévoir ces crises ou de fournir des politiques publiques et énergétiques adéquates pour y faire face. C'est pourquoi une version biophysique de la théorie économique, basée sur l'EROI, qui utilise les flux de masse et d'énergie ainsi que les contraintes environnementales permet de donner un sens à la situation de l'économie mondiale et prendre des décisions politiques.

L'énergie se voit être un facteur de production avec une élasticité dans le PIB à hauteur de 60% que les modèles économiques classiques tentent de nier. En mettant l'énergie au cœur du processus économique, des modèles réalistes permettent de se rendre compte que la baisse de l'EROI est le reflet d'un changement de paradigme.



INTRODUCTION

« Les économistes doivent changer leurs croyances. La théorie économique est devenue un monde autosuffisant, une fausse représentation de la réalité ». Cette citation de Joseph Stiglitz, économiste américain et lauréat du prix Nobel d'économie, témoigne de la prise de conscience que les modèles sur lesquels se fondent une grande partie de l'économie conventionnelle sont assez fragiles.



En effet, bien que cette théorie soit dominante, celle-ci semble ignorer les lois fondamentales de la thermodynamique. En outre, elle ne justifie pas ses propres fondements et porte une vision anthropocentrique du processus économique, dans le but de promouvoir une idéologie libérale. Par conséquent, lorsque la thermodynamique a révolutionné le monde de la physique avec la conservation de l'énergie et le concept d'entropie, les économistes et les énergéticiens proposèrent une autre méthode économique qui insiste sur le fait que l'économie est, essentiellement, un processus physique, et que la prospérité de la civilisation vient de l'utilisation des ressources de la planète et qui place l'énergie au centre du processus économique : l'économie biophysique.

L'objectif de cet article est de se pencher sur les incohérences du modèle économique actuel et sur les perspectives d'une économie biophysique pour mieux comprendre la situation énergétique mondiale.



CRITIQUE DE LA THÉORIE ÉCONOMIQUE NÉO-CLASSIQUE

LE MODÈLE NÉO-CLASSIQUE

L'économie néo-classique, née dans les années 1870 et qui dérive de l'École classique du XIX^{ème} siècle de Smith, Ricardo et Malthus, est une tendance de la pensée économique qui utilise des fondements microéconomiques fondés sur l'individualisme. En d'autres termes, il analyse les comportements individuels et déduit des phénomènes collectifs (macroéconomie), comme l'offre, la demande et l'équilibre du marché.

Ce courant de la science économique est basé sur un ensemble limité de fonctions et de paramètres pour analyser l'économie. En fait, les économistes orthodoxes traitent généralement l'économie comme un processus qui utilise essentiellement deux facteurs de production (le capital et le travail) pour produire des biens ou des services, et la plupart des autres paramètres sont considérés comme secondaires. Par conséquent, la production économique, ou PIB, est fonction du capital et du travail, c'est-à-dire du résultat de la combinaison de ces deux facteurs et de la façon dont cette combinaison évolue au fil du temps.

Ainsi, un des objectifs des économistes néoclassiques est de donner une structure mathématique rigoureuse via des modèles et axiomes au même titre que la physique de l'époque. L'un des modèles les plus répandues en macroéconomie est celui de Solow-Swan. Comme le montre la Figure 1, le modèle Solow-Swan suppose une économie peuplée de ménages et d'entreprises. Les ménages « possèdent » les deux facteurs de production (travail et capital) et les « rendent » aux entreprises pour les utiliser dans la

production. L'économie produit donc un bien, qui est à la fois consommé et utilisé comme capital pour une production supplémentaire.

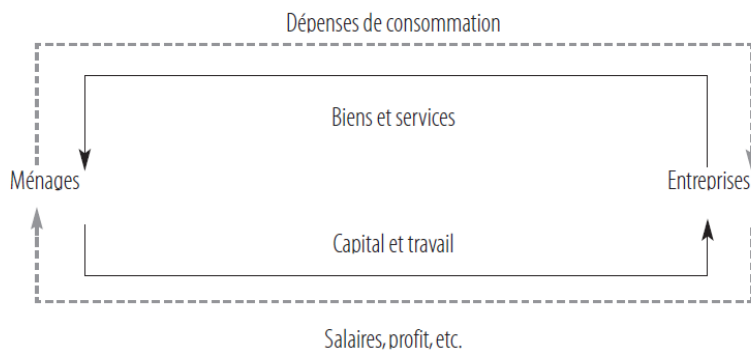


Figure 1- Le mouvement perpétuel de l'économie vue par la théorie néo-classique [1]

Au cœur de ce modèle se trouve une fonction de production, qui prend généralement la forme d'une Equation 1 Cobb-Douglas suivante :

$$Y \text{ (ou PIB)} = AL^{\beta}K^{\alpha}$$

avec Y la quantité annuelle de production finale, L la quantité de travail, K la quantité de capital et A un multiplicateur sans dimension considéré comme représentant le progrès technologique.

Equation 1 - Modèle de Solow sur la croissance économique [2], [10]

Dans ce modèle économique, la part contributive de chaque facteur dans la production est déterminée par son coût. Autrement dit, la valeur de la production Y est égale à la quantité de chaque facteur multipliée par sa productivité marginale. N

Un principe central de la théorie néoclassique de la distribution est que chaque facteur de production devrait recevoir un revenu proportionnel à sa productivité marginale [2], [10]. De ce fait, les exposants de la fonction de production sont censés être égaux au revenu part de chaque facteur. Ainsi, α représente la part du capital dans le revenu national et β celle du travail. Les deux s'additionnent, ce qui garantit un "rendement d'échelle constant", c'est-à-dire les changements d'entrée sont liés de manière linéaire aux changements de sortie. Nous reviendrons sur ces propriétés dans la suite.

UN MODELE CONTROVERSEE



La négligence des lois de la thermodynamique et du facteur Energie

Cependant l'activité économique n'est jamais, dans le monde réel, un système circulaire fermé dans lequel la production pourrait être une simple fonction du capital et du travail. De nombreux autres intrants importants doivent également être intégrés et étudiés dans les processus économiques. En ignorant ces autres intrants ou en minimisant leur contribution, l'économie dominante peut ne pas être en mesure de saisir certains aspects fondamentaux du fonctionnement réel de l'économie [1], [2].

L'énergie est l'apport le plus important dans le processus économique, et son rôle est souvent négligé ou mal compris par les économistes. Comme la plupart des gens le pensent, l'énergie n'est en aucun cas un intrant secondaire, c'est sans aucun doute un intrant de base indispensable à toutes les activités humaines. En fait, sans approvisionnement en énergie, le capital et le travail sont fonctionnellement inertes. Ce n'est qu'en utilisant l'énergie qu'ils peuvent se combiner pour produire et distribuer des biens et des services, de sorte que la productivité de leur utilisation dépend dans une certaine mesure de la quantité et de la qualité de cet apport énergétique [1], [2].

L'économie contemporaine n'accorde qu'une attention marginale aux première et deuxième lois de la thermodynamique. Il s'agit là d'un grave défaut conceptuel et d'un obstacle à la conception de politiques économiques capables de relever avec succès les défis de la pollution, de la pénurie de ressources et du chômage. En raison de l'inévitable production entropique, la partie précieuse de l'énergie, l'exergie, est transformée en chaleur inutile et généralement la matière est également dissipée. Il en résulte une pollution

et, finalement, l'épuisement des ressources de qualité supérieure que sont les combustibles fossiles et les matières premières. De plus, le travail humain a été et continue d'être remplacé par des machines à énergie dans la production de biens et de services. Bien que les première et deuxième lois de la thermodynamique déclarent explicitement qu'il est impossible d'avoir une machine à mouvement perpétuel, le modèle économique néoclassique de base est une machine à mouvement perpétuel, sans apport ni limite, comme le montre la FIGURE 1. La plupart des économistes acceptent ce modèle incomplet comme base de leurs analyses, prédictions et scénarios et attribuent de le rôle de l'énergie et d'autres ressources à l'arrière-plan de ces dernières. [1], [2].

Le PIB, un indicateur biaisé au niveau de l'énergie

Cependant quelques économistes hétérodoxes ont décidé d'étudier l'élasticité de l'énergie dans le PIB, l'indice le plus caractéristique de l'économie contemporaine, en passant d'une fonction de production $Y = F(K, L)$, telle décrite dans le modèle de Solow, à une fonction de production $Y = F(K, L, E)$ avec E l'énergie.

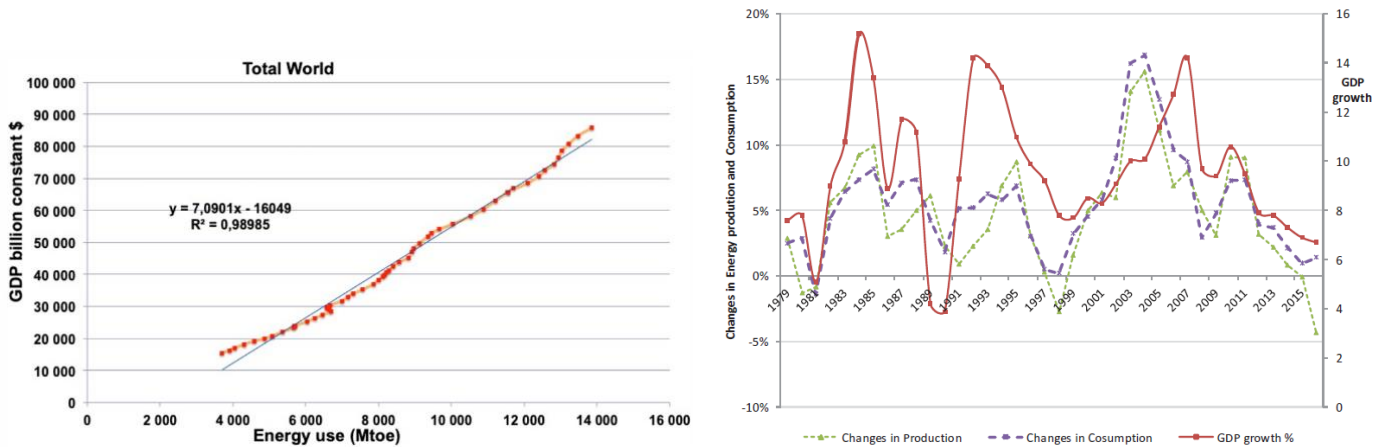


Figure 2 - PIB mondial rapporté à la consommation mondiale d'énergie en millions de tonnes équivalent pétrole de 1965 à 2014 (courbe gauche) et exemple d'évolution PIB/Consommation d'énergie pour la Chine entre 1979 et 2015 (courbe droite) [4], [12]

Sur les graphiques présentés Figure 2, on voit bien qu'il existe une corrélation évidente et linéaire entre croissance économique et consommation d'énergie.

En effet, on peut lier les deux quantités par l'équation de Kaya :

$$\Delta \frac{Y}{Pop} = \Delta \left(\frac{E}{Pop} \times \frac{Y}{E} \right)$$

avec $\Delta \frac{Y}{Pop}$ la croissance du PIB par habitant, $\Delta \frac{E}{Pop}$ la croissance de la consommation d'énergie par habitant et $\Delta \frac{Y}{E}$ la croissance de l'efficacité énergétique

Equation 2 - Equation de Kaya [4]

Il existe donc bien un lien entre la croissance du PIB par habitant, la consommation d'énergie par habitant et l'efficacité énergétique. L'équation de Kaya montre également qu'il ne peut y avoir de croissance sans augmenter l'efficacité énergétique ou la consommation d'énergie par habitant.

A partir de cette relation tautologique, on peut se poser 2 questions : Une baisse de la consommation d'énergie implique-t-elle une baisse de la croissance économique voire même une récession ? Combien peut-on produire de richesse et quelle est la quantité

d'énergie primaire nécessaire pour y arriver ? La première est extrêmement importante car nos sociétés ne sont pas du tout faites pour décroître. Tentons de répondre à ces questions dans ce paragraphe.

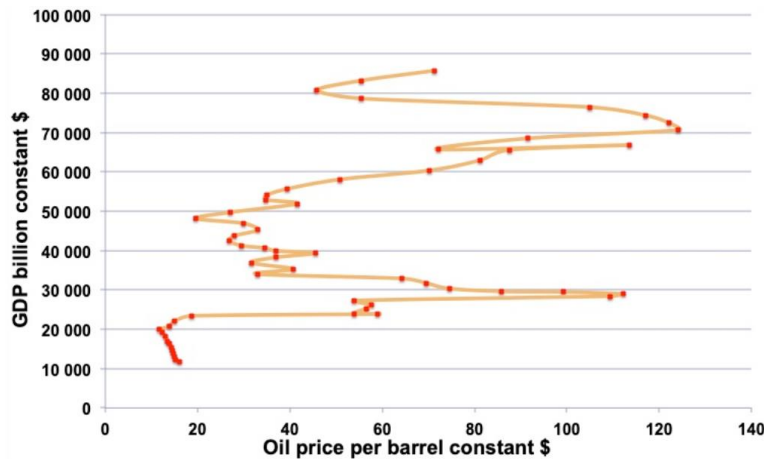


Figure 3 - PIB mondial en dollars rapporté au prix du baril de pétrole de 1960 à 2014 [5]

Alors que la plupart des économistes sont convaincus que l'indicateur fondamental est le prix, les données montrent qu'il n'y a pas de corrélation entre le prix du baril de pétrole et le PIB comme le montre la Figure 3.

Les économistes évacuent le sujet grâce au théorème du « Cost-Share » : il s'agit d'un raisonnement théorique et mathématique basé sur les axiomes du modèle de Solow :

- Il existe une fonction de production Y qui permet de prédire le PIB.

- Cette fonction est à rendements d'échelle constants. Et si on considère que le coût de chaque paramètre correspond à sa productivité marginale, alors le théorème du « Cost-Share » est vérifié.

$$\begin{aligned} \max_x Y(x) - p \cdot x & \quad (a) \\ \varepsilon_i = \frac{x_i}{Y(x)} \times \frac{\partial Y}{\partial x_i}(x) = \frac{p_i x_i}{p \cdot x} & \quad (b) \\ \beta = \frac{L}{Y} \times \frac{\partial Y}{\partial L} & \quad (c) \end{aligned}$$

Equation 3 - Théorème du Cost-Share, (a) maximisation du secteur productif, (b) élasticité ou Cost-Share de l'intrant i dans le PIB et (c) exemple de l'élasticité du capital dans le PIB selon le modèle de Solow [5]

Pour rentrer un peu plus dans le détail de théorème, le secteur productif se résume à une fonction où x sont les intrants (énergie, travail, capital etc.), $Y(x)$ est le profit qui va en être tiré et $p \cdot x$ le coût de la production. Dans le monde des économistes classiques, le secteur productif doit maximiser le profit avec moins de coût.

Le nombre ε_i donne l'augmentation du PIB en fonction de l'augmentation de la consommation d'énergie. Si ce théorème est vraie, la dépendance du PIB par rapport à la consommation d'énergie primaire se mesure par le ratio $\frac{p_i x_i}{p \cdot x}$ qui est en général faible.

Selon beaucoup d'économistes influents, le problème d'une éventuelle récession liée à une baisse de la consommation d'énergie n'existe pas. La raison repose sur l'observation suivante : si l'énergie était si importante dans la croissance, alors son prix serait beaucoup plus élevé. En effet, la part des dépenses associées à la consommation d'énergie primaire dans la PIB est très faible, de l'ordre de 10% et 8% pour les Etats-Unis tout au plus comme le montre la Figure 4 [4].

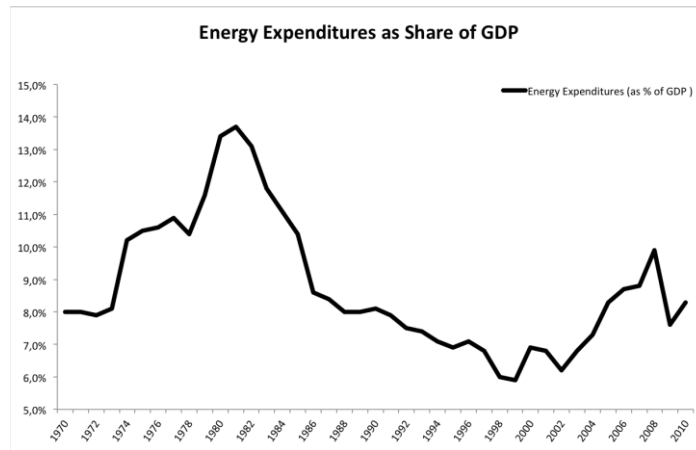


Figure 4 - Part du coût de l'énergie dans le PIB aux Etats-Unis entre 1970 et 2010 [4]

Une augmentation de 1 % de la consommation d'énergie primaire ne ferait augmenter le PIB que de 0,1 %. Dans l'autre sens, une diminution de la consommation d'énergie primaire aurait peu d'impact sur le PIB. Par conséquent la consommation de l'énergie est un non-sujet pour les économistes [5].

Le problème de ce raisonnement, c'est que les hypothèses ne sont pas très solides. En effet, ce modèle ne résiste pas à d'éventuelles contraintes techniques, géologiques, politiques, légales, éthiques ou sociales.

Or, l'analyse de séries temporelles longues de consommation d'énergie primaire sur une trentaine de pays montre qu'en fait elle est durablement et structurellement proche de 60 – 70 % [5]. Ainsi, lorsque la consommation d'énergie primaire augmente de 10 %, le PIB tend à croître de 6 – 7 % en moyenne. Bien sûr, ce constat doit tenir compte du fait que beaucoup d'autres variables interviennent en même temps que la consommation d'énergie, lesquelles ont aussi une influence sur le PIB. Il faut donc interpréter cela avec précaution. Par ailleurs, le ratio de 60 % varie selon les pays et les époques : il est plus faible aujourd'hui en Europe qu'aux États-Unis, et il est plus faible aujourd'hui qu'avant les deux chocs pétroliers des années 1970. Mais une chose est sûre : nos économies sont beaucoup plus dépendantes de l'énergie que les économistes « orthodoxes » ne veulent bien l'admettre.

Des signes alarmants

Des ressources rares

De plus, les sources d'énergie comme le pétrole tendent à se raréfier. La production mondiale de pétrole conventionnel a atteint un pic en 2011. Toute l'augmentation de la production pétrolière depuis lors est due à l'extraction croissante, en particulier en Amérique du Nord, de pétrole "non conventionnel", tels que les sables bitumineux. L'extraction du pétrole non conventionnel nécessite une pression supplémentaire et tend à être nettement plus coûteuse, plus complexe, plus énergivore et plus polluante que celle du pétrole conventionnel ce qui explique une tendance à la hausse en termes d'investissements en exploration et en production comme le montre la Figure 5.

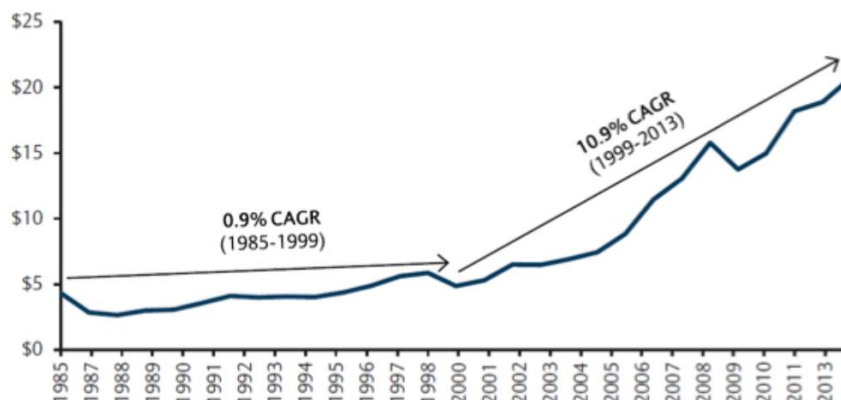


Figure 5 - Tendances des dépenses d'investissement en exploration et production (E&P Capex) par baril de pétrole dans le monde [1]

Instabilité économique et instabilité politique

Cette chute de l'EROI induit une baisse ou un ralentissement de la croissance économique notamment dans les pays de l'OCDE. Cette évolution alimente un sentiment de colère comme le montre la Figure 7, des citoyens de ces pays et favorise la montée de partis populistes comme en 2016 en Europe, qui devient l'épicentre du risque géopolitique mondial et où les craintes d'une désintégration de l'Union européenne (UE) s'accroissent, en particulier à la suite du Brexit. Au total, 67 pays ont subi une baisse nette des droits politiques et des libertés civiles en 2016, contre 36 qui ont enregistré des gains.

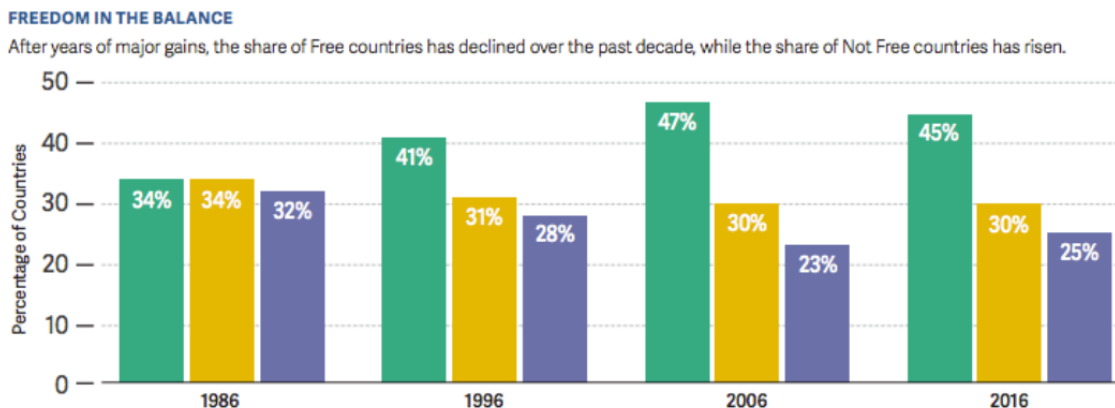


Figure 6 - Part des "pays libres", "pays partiellement libres" et "pays non libres", 1986-2016.[1]

REPENSER LA THÉORIE DE LA CROISSANCE ÉCONOMIQUE D'UN POINT DE VUE BIOPHYSIQUE

L'ÉCONOMIE BIOPHYSIQUE : DÉFINITION

La dépendance énergétique est forte et le déclin net de l'énergie montre que la théorie économique néoclassique semble être à la fin d'un cycle. L'économie biophysique est sa critique de la méconnaissance de l'aspect biophysique de la production par l'économie dominante, en particulier pour sa composante énergétique. Les décideurs ont besoin de comprendre l'impératif biophysique: le rendement de l'énergie nette disponible pour la société diminue. D'où la nécessité d'une économie prenant en compte sa base biophysique, et pour les décideurs politiques de comprendre ce message fondamental.

Charles A.S Hall, dans son livre "Energy and wealth of Nations", explique que l'économie est un système et doit soutenir des processus durables en produisant des intrants et des extrants énergétiques, en distribuant et en consommant des biens et des services. Or, la croissance économique dépend de l'acquisition et de l'utilisation de l'énergie. La définition généralisée de l'économie biophysique est qu'il s'agit d'une focalisation scientifique sur la façon dont la matière et l'énergie se transforment pour maintenir la survie de l'homme et promouvoir le développement social. L'économie biophysique est une étude économique liée à l'énergie [1], [12].

LE MODELE DE LECONOMIE BIOPHYSIQUE

Ainsi les économistes écologiques et biophysiques proposent un nouveau modèle conceptuel en remplacement du flux circulaire dominant. Il est basé sur l'idée de coupler économie et flux énergétiques.

Dans ce modèle biophysique, l'économie est un sous-système de la société, et la société est un sous-système de la nature. En tant que sous-système, l'économie doit obéir aux règles de la nature et être soumise à ses limites. En termes de théorie des systèmes, l'économie est un système ouvert, échangeant de la matière et de l'énergie avec le système fermé de la Terre, qui échange de l'énergie, mais pas de matière avec l'univers environnant [13].

Le nouveau modèle Figure 7 conceptuel commence donc par une économie intégrée et un flux d'énergie. Une énergie du soleil qui effectue des travaux tels que le mouvement des fluides, la respiration des plantes et la photosynthèse. L'énergie utile se dégrade au fur et à mesure en chaleur, qui ne peut plus effectuer de travail utile, et finit par s'échapper du système dans l'espace.

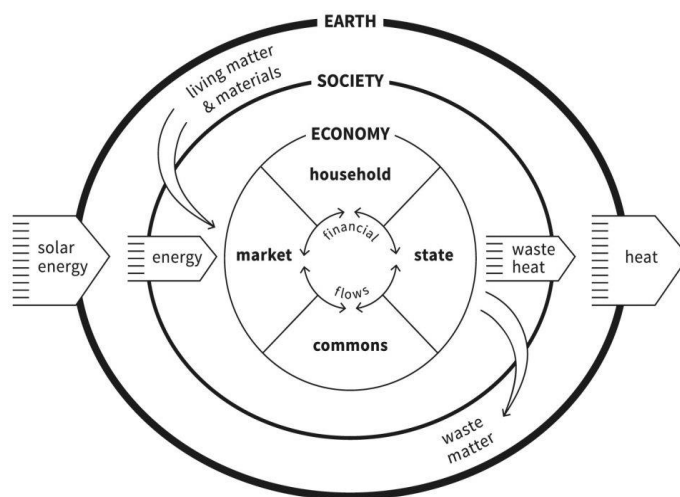


Figure 7 - . Le mode de l'économie biophysique [13]

L'EROI, L'INDICATEUR À PRIVILÉGIER

A partir de ce modèle, une lecture biophysique du processus économique permet de donner un sens à la situation de l'économie mondiale et de prendre des décisions politiques mieux informées, fondées sur une compréhension des systèmes sous-jacents et qui tiennent compte des contraintes et des incertitudes associées, en mettant notamment l'accent sur l'importance de l'EROI, indicateur permettant de suivre et d'évaluer la capacité de la civilisation à se maintenir au-delà du simple niveau de survie.

Pour les partisans de l'économie biophysique, il ne fait aucun doute que le développement des sociétés industrielles a été largement tributaire des combustibles fossiles, et en particulier de leur EROI élevé et de leur capacité conséquente à fournir de grandes quantités d'énergie nette à la société [6],[7].

De nombreux économistes se sont intéressés à la dynamique des EROIs des systèmes énergétiques dans la croissance économique. Des études récentes suggèrent que l'EROI des combustibles fossiles a régulièrement diminué depuis le début du XXe siècle, ce qui signifie que nous utilisons de plus en plus d'énergie pour obtenir de l'énergie en plus [8], [11].

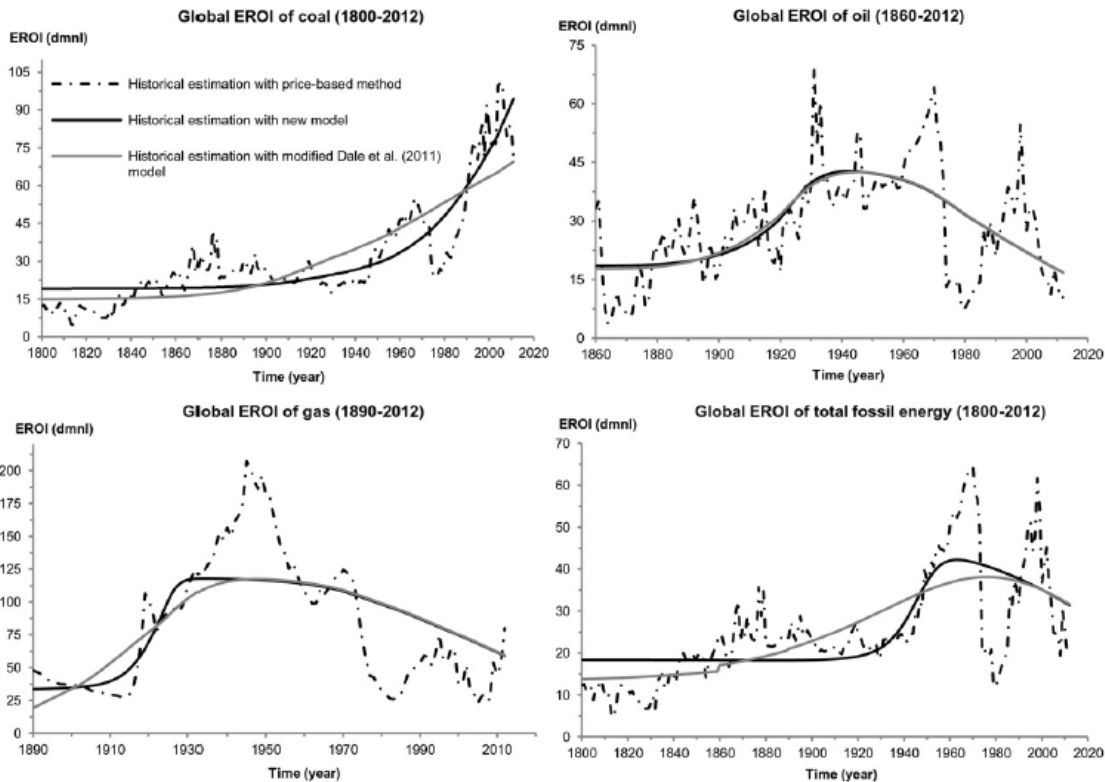


Figure 8 - Estimations historiques de l'EROI mondial du charbon, du pétrole, du gaz et de tous les combustibles fossiles à partir de modèles théoriques. [11]

Les valeurs de l'EROI appliqué à la production mondiale de pétrole et de gaz ont atteint leurs pics maximaux dans les années 1930 et 1940. La production mondiale de pétrole a atteint le pic EROI à 50 : 1, alors que la production mondiale de gaz a atteint le pic EROI à 150 : 1. Depuis lors, l'énergie globale que nous pouvons extraire de ces ressources pour chaque unité d'énergie que nous y mettons est inexorablement en déclin.

Ces tendances s'expliquent par le fait que l'EROI est la compétition entre progrès technologique et raréfaction des ressources comme le montre la Figure 9.

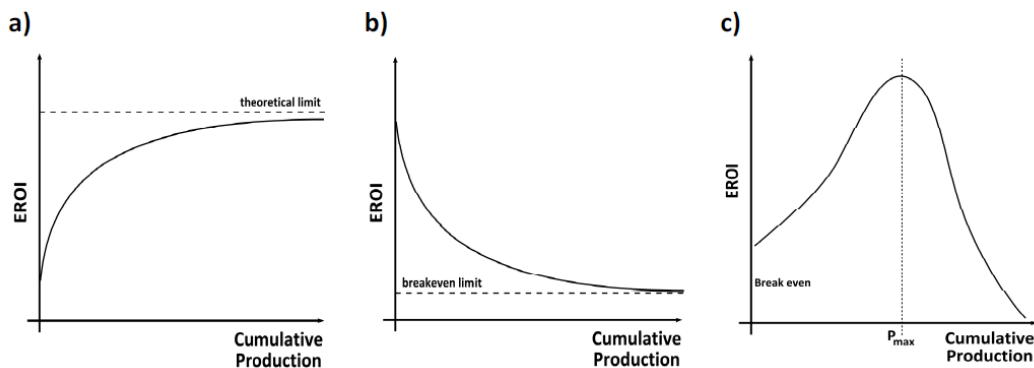



Figure 9 - Les rendements énergétiques dans le modèle biophysique a) augmentent en raison des améliorations technologiques, b) diminuent en raison de l'épuisement des ressources physiques et c) le produit en tant que fonction de pointe de la production [11]

Ainsi l'économie biophysique, de part l'EROI, nous donne les clés pour construire l'économie de demain. De nombreux économistes comme Sekera, pense à une nouvelle politique qui stimulera les innovations scientifiques et technologiques de pointe qui permettront de résoudre les "problèmes de besoins communs" en se fondant sur "la prise de décision répartie et l'action collective".

Les solutions qui en résulteront nécessiteront "des investissements à long terme : des investissements sans rentabilité immédiate en termes de produits commercialisables, sans retour sur investissement visible, sans profit à court terme". De tels investissements ne peuvent être réalisés que dans un environnement non marchand, dans lequel le paiement est collectif et le profit financier n'est pas l'objectif". [9]

Les citoyens eux-mêmes, à toutes les échelles, ont la possibilité de travailler ensemble pour sauver et régénérer de nouvelles économies publiques basées sur la mise en commun de leurs actifs et de leurs ressources humaines, financières et physiques, afin de faciliter l'émergence de structures économiques plus viables et durables. Une partie de ce travail consistera à s'adapter aux sources d'énergie post-carbone. [9], [10]

CONCLUSION

L'économie biophysique est une grille de lecture qui laisse entrevoir un changement de paradigme énergétique et économique. Cette transition constitue une opportunité pour redéfinir ce qu'est la prospérité, au-delà de l'idée d'accumulation sans cesse croissante de biens matériels; et également de remettre la société en cohérence avec l'objectif qui est de répondre aux besoins physiques, psychologiques et spirituels des humains du monde réel. Dans les années à venir et au cours des prochaines décennies, la nécessité d'une nouvelle science économique reflétant bien l'imbrication de celle-ci dans l'environnement biophysique des choses, deviendra une réalité de plus en plus évidente. 

REFERENCES

- [1] Yves cochet (2005), Économie et thermodynamique
- [2] Charles A. S. Hall (2006), The Need to Reintegrate the Natural Sciences with Economics. *BioScience*, Etats-Unis, (volume 1): pages 4-22
- [3] BiophysEco, What is biophysical economy, <https://biophyseco.org/biophysical-economics/what-is-biophysical-economics/#The%20use%20of%20biophysical%20resources%20induces%20environmental%20degradation>, consulté le 20/05/20
- [4] Eureka, Croissance & énergie : l'erreur des économistes ? https://heu7reka.github.io/Episode_28.html
<https://lejournal.cnrs.fr/articles/la-croissance-une-affaire-denergie>, consulté le 20/05/20
- [5] Gaël Giraud, Lien entre le PIB et l'énergie, http://www.perceval-le-gallois.fr/spip.php?article26#outil_sommaire, consulté le 28/05/20
- [6] Harvey Mead <http://www.harveymead.org/ecrits-2/ecrits/>, consulté le 28/05/20
- [7] Charles A. S. Hall, Will EROI be the Primary Determinant of Our Economic Future? The View of the Natural Scientist versus the Economist, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435117300831>, consulté le 28/05/20
- [8] Charles A. S. Hall (2013), Energy, EROI and quality of life, <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0301421513006447?token=AFFD935C572231F0F26C93BE9C7DBC0FF227043B03B844CD3066856004245E7CE1A01E5172379C72E8D81D967FF29DC1>, consulté le 03/06/20
- [9] Nafeez Ahmed (2017), Inside the new economic science of capitalism's slow-burn energy collapse, *Insurgence Intelligence*, <https://medium.com/insurge-intelligence/the-new-economic-science-of-capitalisms-slow-burn-energy-collapse-d07344fab6be>
- [10] Sergio Ulgiati (2011), Understanding the global economic crisis : A biophysical perspective, (volume 223), pages 4-13, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380011002997?casa_token=qVjOoM5YHNwAAAAA:D14-Ua10DLZpYCvyWMX453zte_KExC8aGW76N1MfHF7gg2BLaUtoJykxyNP_agYLt0IQ0-pYNqQ#fig0020, consulté le 25/05/20
- [11] Florian Fizaine (2017), Long-Term Estimates of the Energy-Return-on-Investment (EROI) of Coal, Oil, and Gas Global Productions, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304380087900445>, consulté le 20/05/20
- [12] Biophysical economy as a new paradigm, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01900692.2019.1645691>, consulté le 20/05/20
- [13] Kent Klitgaard (2019), Sustainability as an Economic Issue: A BioPhysical Economic Perspective