

# L'économie soumise aux lois de la physique, une justification de la décroissance matérielle

Jean-Yves ROSSIGNOL

*Ingénieur ENSCT, docteur ès sciences, ingénieur conseil et chercheur indépendant,  
professeur associé à l'Institut National Polytechnique de Toulouse*

## Résumé

Sur une planète finie, la gestion des ressources devrait maximaliser le service rendu par quantité unitaire de ressources. Du point de vue énergétique, le rapport du flux utile sortant au flux primaire entrant est le rendement. Cette grandeur devrait constituer un indicateur privilégié dans le pilotage de l'économie. La loi de variation de la puissance en fonction du rendement énergétique passe par un maximum pour un rendement de 0,5. Les données statistiques de la France sur les énergies primaires et finales depuis 1973 vérifient cette loi. Le rendement décroît régulièrement, tandis que la puissance augmente, de moins en moins significativement cependant, au fil des décennies. La puissance peut s'exprimer en fonction de la productivité apparente du travail et de l'intensité énergétique finale. Par conséquent, une politique énergétique qui se proposerait d'inverser la tendance actuelle, en privilégiant la performance du rendement, instaurerait une diminution de la puissance énergétique globale, c'est-à-dire une réduction de la productivité. Une relecture de l'économie à l'aune de la physique peut conforter certains scénarios de décroissance.

## Mots clés

Économie biophysique, énergie, rendement, puissance, décroissance.

L'énergie est la réalité fondamentale qui sous-tend toute transformation, toute activité. Les systèmes vivants, anthropiques, et en particulier l'activité économique, peuvent donc être examinés sous l'angle thermodynamique (Roddier, 2012). Un des principaux pionniers de l'approche physique de l'économie, Nicholas Georgescu-Roegen, a vivement critiqué l'économie néoclassique en invoquant à bon escient le deuxième principe de la thermodynamique, qui stipule qu'au cours d'une transformation, l'énergie utile se dégrade et sa disponibilité diminue. Les processus énergétiques réels ne sont donc pas réversibles ; les rendements sont inéluctablement décroissants, etc. Cependant, même au niveau du premier principe de la thermodynamique, des enseignements majeurs restent à intégrer par l'économie.

Les économies nationales se réfèrent au produit intérieur brut pour évaluer leur performance. Cet indicateur représente la somme des valeurs ajoutées, c'est-à-dire la contrepartie de l'énergie apportée tout au long des chaînes d'activités. Le PIB exprime donc un flux annuel. L'objectif prioritaire est l'accroissement de ce flux. Cependant, un flux suppose une différence de potentiel ou, dit de manière plus

documentée. Cependant, la référence à l'unité de flux qu'est l'euro de PIB ne restitue pas une performance liée aux potentiels amont et aval du système économique<sup>14</sup>.

A titre d'exemple, dans son Livre vert sur la stratégie climatique pour 2030, l'Union européenne se demande toujours si la consommation d'énergie rapportée au PIB ne serait pas le meilleur indicateur<sup>15</sup> (European Commission, 2013). Dans le cas de la France, il est affirmé (Artus et al., 2010) que «*Il faut aujourd'hui, en France, un tiers de baril de pétrole pour produire mille euros de PIB, alors qu'il en fallait trois fois plus en 1973 pour produire la même valeur réelle.*», bien que la consommation d'énergie primaire et d'énergie finale augmente, en valeur absolue (avec un tassement cependant, depuis 2008), et en valeur par habitant, et bien que la facture énergétique du pays subisse une forte tendance haussière (SOeS, 2015). L'IDDRI, dans un article sur la transition énergétique (Bellevrat et al., 2013), affirme de son côté que «*...en l'absence de mesures fortes pour améliorer substantiellement l'intensité énergétique, toute croissance du PIB entraîne une hausse de la consommation énergétique.*», invoquant l'intensité énergétique comme indicateur pertinent et considérant la relation de cause à effet entre le PIB et la consommation d'énergie dans le sens orthodoxe et néanmoins contestable du point de vue de l'économie physique. Le rapport de l'intensité énergétique finale ( $i_F = E_F / \text{PIB}$ ) sur l'intensité énergétique primaire ( $i_P = E_P / \text{PIB}$ ) restitue de fait le rendement énergétique global ( $E_F / E_P$ ), mais les analyses économiques se bornent à interpréter l'intensité énergétique et non pas le rapport de ses deux expressions finale/primaire.

Figure 1 : évolution de l'intensité énergétique finale en France depuis 1981 (kWh/€).



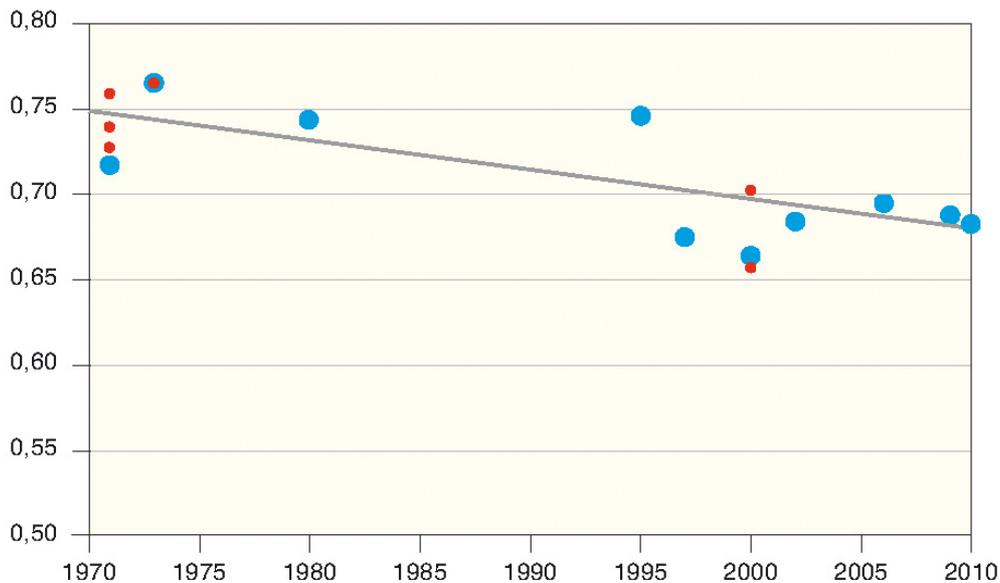
<sup>14</sup> L'équation aux dimensions de l'énergie est  $ML^2T^{-2}$ . Le PIB exprime un flux monétaire annuel, qui a sa contrepartie en flux matériel, dont la dimension serait celle d'un débit  $MT^{-1}$ . La dimension du rapport exprimant l'intensité énergétique est  $L^2T^{-1}$ , qui est celle de la viscosité cinématique.

<sup>15</sup> «*It will also be necessary to consider if the metric for such a target should continue to be absolute energy consumption levels or whether a relative target related to energy intensity would be more appropriate (e.g. energy consumption relative to GDP or gross value added)*».

## Rendement énergétique final des économies nationales

Les données statistiques de l'Agence internationale de l'énergie révèlent un rendement énergétique global régulièrement décroissant depuis au moins 1970 (fig. 2). En 40 ans, le rendement énergétique global moyen est passé de 0,75 à 0,68.

*Figure 2 : rendement énergétique global des pays du monde<sup>16</sup>*



En France, depuis plusieurs décennies, la consommation d'énergie augmente, plus fortement pour l'énergie primaire que pour l'énergie finale (fig. 3), ce qui entraîne une diminution du rendement énergétique global (fig. 4), qui passe de 0,69 à 0,58 entre 1981 et 2011 (en 1973, le rendement valait 0,74). Cette décroissance est plus importante qu'en moyenne mondiale, ce qui vaut pour les pays qui ont le plus intensifié leur économie.

### Remarque

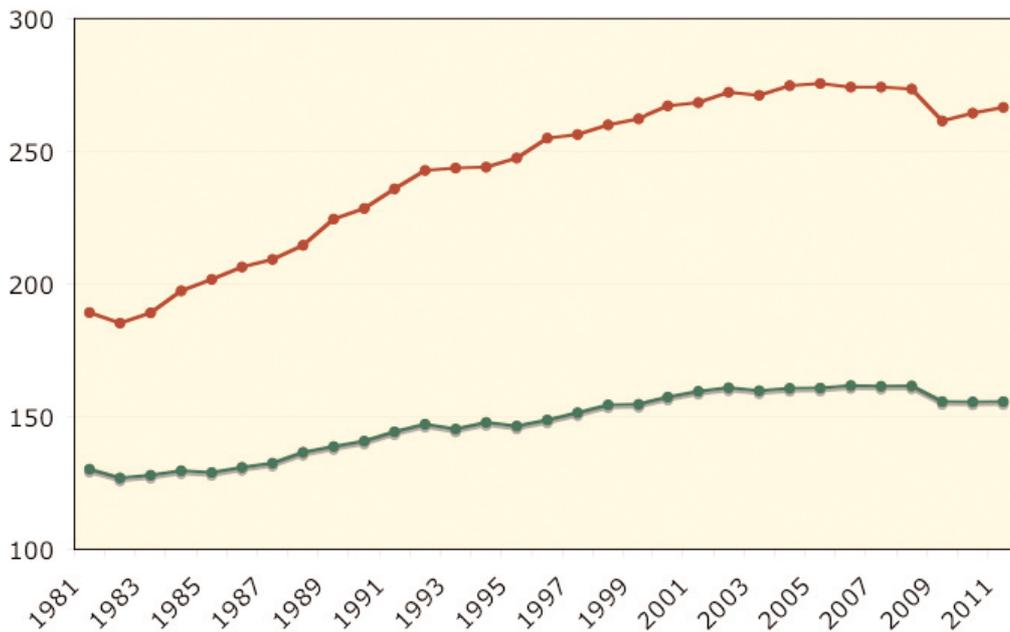
Pour la France, les données utilisées proviennent de la base Pégase, du Service de l'observation et des statistiques. Une série continue est disponible pour la période 1981-2011. Les données énergétiques de 1973 proviennent des statistiques de l'INSEE (le rendement énergétique était de 0,74 cette année-là)<sup>17</sup>.

<sup>16</sup> Rapport «World Primary Energy Demand / World Total Final Consumption». Pour une même année, les valeurs diffèrent quelque peu selon les sources et il peut manquer un des termes du couple [énergie primaire ; énergie finale]. Le graphique présente, en rouge, les rendements calculés avec les couples (Ep, Ef) disponibles et, en bleu, le rapport des moyennes obtenues pour chaque énergie (MoyEp/MoyEf) sur une année.

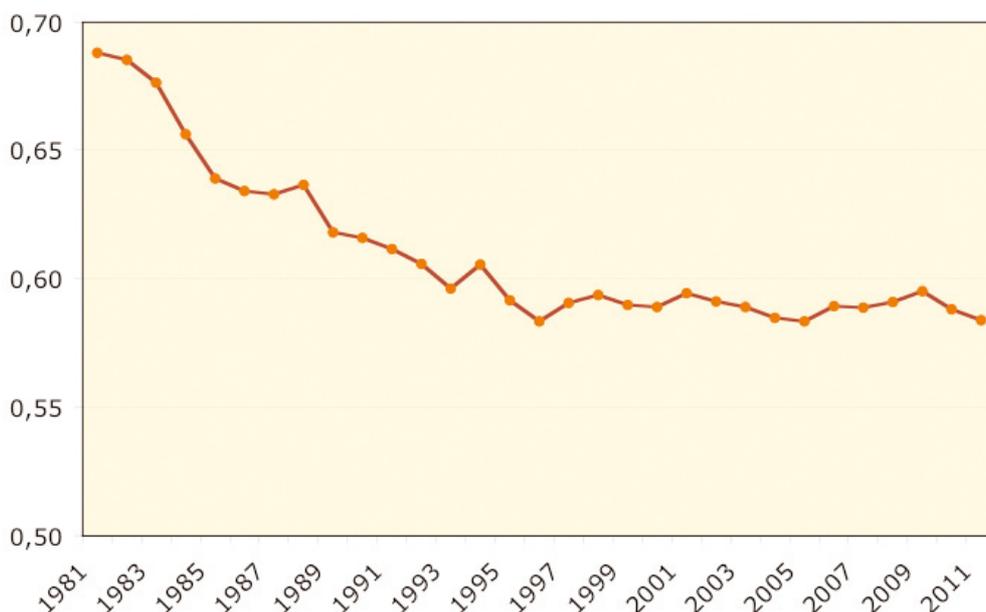
<sup>17</sup> La base de données Pégase ne fournit pas de chiffres pour la période antérieure à 1981. La Banque mondiale remonte à 1960, mais seulement pour la consommation d'énergie primaire. La base Eurostat fournit des données ultérieures à 1990. L'INSEE ne propose pas de série annuelle continue (1973 seulement, avant 1990).

Du point de vue de l'économie physique, la performance énergétique de la France diminue. La réduction de l'intensité énergétique, dont on peut se réjouir a priori, montre seulement que le taux de croissance du PIB (environ 70 % sur 30 ans) est supérieur au taux de croissance de la consommation d'énergie (40 % sur la même période) et confirme que cet indicateur ne donne pas d'information utile pour une gestion patrimoniale des ressources énergétiques.

*Figure 3 : évolution des consommations d'énergie primaire et d'énergie finale en France depuis 1981 (Mtep).*



*Figure 4 : rendement énergétique global (final/primaire) de la France depuis 1981.*

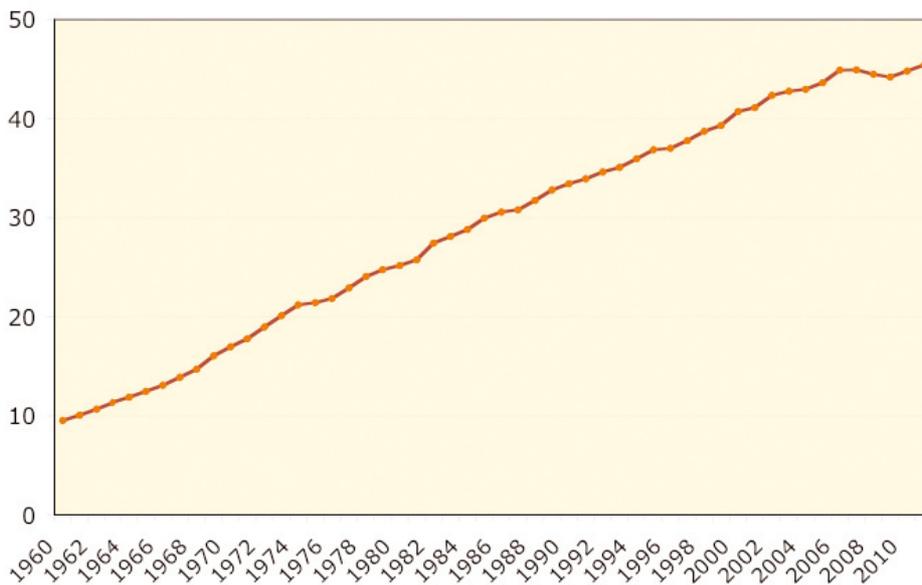


La constante K peut être explicitée en termes économiques. Soit  $\varpi$  la productivité apparente du travail et T le volume d'heures travaillées cumulées :

$$\varpi = \text{PIB} / T$$

La tendance de l'économie est d'accroître la productivité, en particulier la productivité du travail. Il s'agit d'augmenter les flux tout en diminuant le temps requis pour les produire. La productivité apparente du travail augmente régulièrement depuis des décennies, à l'échelle mondiale et en France en particulier (figure 7).

Figure 7 : évolution de la productivité apparente du travail en France depuis 1960 (€/h).



L'intensité énergétique finale de l'économie ( $i_F$ ) est l'énergie finale par unité de valeur ajoutée produite :  $i_F = E_F / \text{PIB}$

Il vient :  $E_F = \varpi i_F T$

La puissance finale est donc :  $P_F = \varpi i_F T / t$  (b)

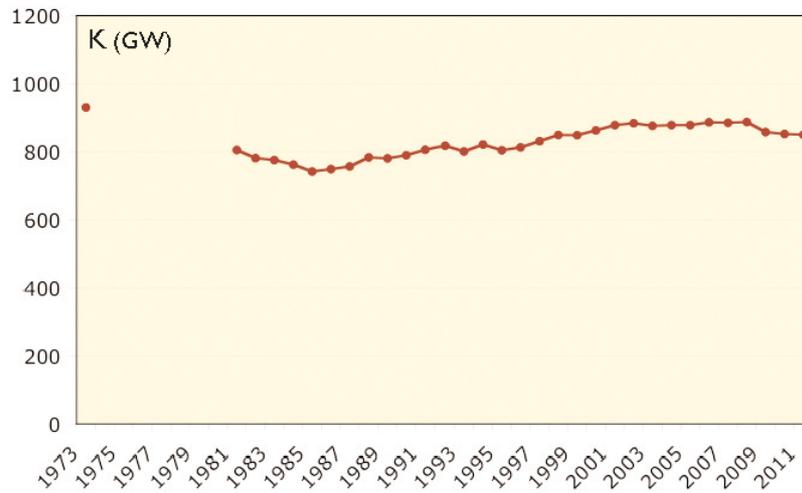
En combinant les égalités (a) et (b), il vient :  $K = \varpi i_F T / t (1-\eta) \eta$

La restitution d'une valeur constante pour K, à partir des données statistiques, est nécessaire pour valider la présente interprétation. De fait, tel est bien le cas, à peu de chose près<sup>18</sup> (voir figure 8).

Pour la France :  $K = 825 \text{ GW} \pm 10 \%$  (écart-type 46 GW)

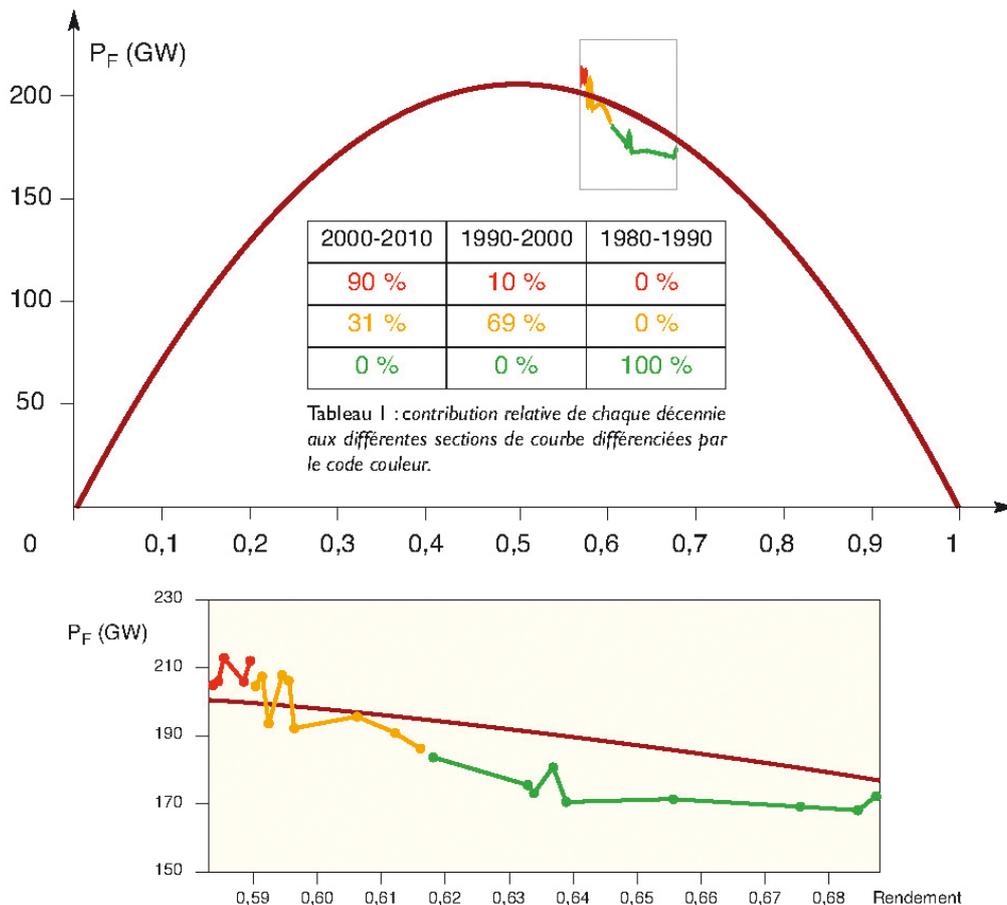
<sup>18</sup> K est une constante pour un «générateur» d'énergie donné. Un examen plus poussé serait nécessaire pour étudier les éventuelles modifications du système éco-énergétique qui expliqueraient les fluctuations constatées pour K.

Figure 8 : constante K ( $P = K (1-\eta)\eta$ ) restituée par les données statistiques pour la France (GW).



La puissance finale exprimée en fonction du rendement restituée par les données statistiques annuelles, suit approximativement la loi théorique comme le montre la figure 9.

Figure 9 : puissance finale (GW) en fonction du rendement, recalculée avec la constante K moyenne (courbe rouge) et avec les valeurs annuelles des paramètres de K.

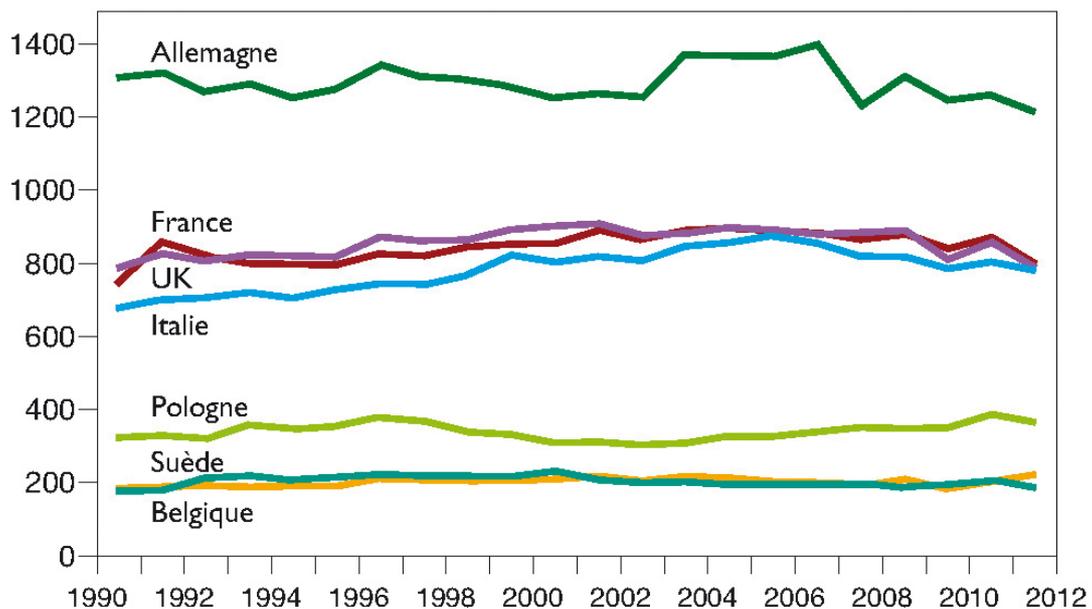


Depuis 1981, chaque décennie qui passe voit augmenter la puissance énergétique du système français au détriment du rendement. Cependant, comme le montre la figure 9, cette évolution se tasse, ce qui laisse présager une probable stagnation, voire une inversion de tendance dans les années à venir, ce qui serait bénéfique du point de vue de la gestion économe des ressources et synonyme d'une réduction de la productivité, par exemple.

## Cas d'autres pays européens

La base de données eurostat fournit des séries de données sur l'énergie pour la période 1990-2011. Un traitement similaire à celui détaillé ci-dessus pour la France dans le cas des trois autres premières puissances économiques de l'Europe et pour quelques pays de PIB moindre restitue une valeur sensiblement constante pour K (étude approfondie et exhaustive en cours).

*Figure 10 : constante K ( $P = K (1-\eta) \eta$ ) restituée par les données statistiques (eurostat) pour quelques pays européens (GW).*

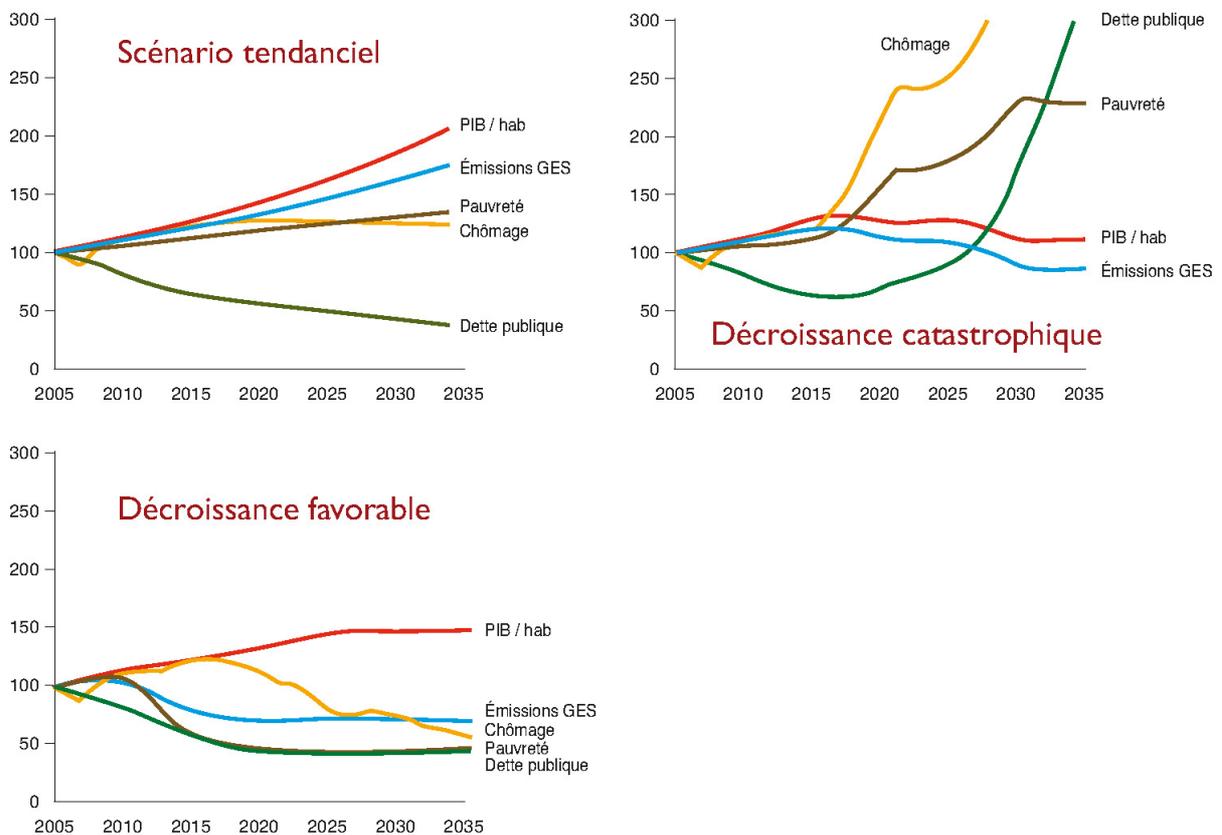


## Interprétation et justification physique de la décroissance

Avec la perspective de la raréfaction drastique des ressources fossiles et de la diminution du rendement énergétique de l'exploitation et donc de la rentabilité économique, il devient primordial de modifier les logiques économiques fondées sur l'abondance de l'énergie facile. Une économie patrimoniale devrait privilégier la maximalisation du rendement énergétique, c'est-à-dire renoncer à celle de la puissance. Du fait que le rendement global actuel est supérieur à 0,5, son accroissement se traduirait par une diminution de la puissance (figure 11).

- la faible croissance des dépenses de l'État,
- la stabilisation de la population,
- la taxe carbone,
- l'accroissement des dépenses de l'État dans la lutte contre la pauvreté,
- le renforcement de l'économie locale,
- la réduction de la consommation d'espace,
- la faible croissance de l'investissement et de la productivité,
- la réduction du temps de travail (avec partage plus équitable).

Figure 12 : simulation de deux scénarios de décroissance comparativement au scénario tendanciel, d'après Peter A. Victor (2008).



Il est intéressant de noter que certaines conditions propices à une décroissance économiquement favorable, (faible croissance de l'investissement, de la productivité, réduction du temps de travail), sont tout à fait conformes à ce que l'amélioration du rendement énergétique conseille.

Pour pallier la défaillance du bon sens, prenons acte de ce que le premier principe de la thermodynamique, tout comme le second, enseignent que la croissance infinie de quoi que ce soit est une idéalité dont il convient de prendre la mesure. Si l'économie

continue de ne pas s'arrimer au réel physique, la décroissance inéluctable imposée par la nature se fera récession, voire régression dévastatrice, bien documentée par les scénarios prospectifs de Dennis Meadows et al. (Meadows et al., 2012) pour le XXI<sup>e</sup> siècle et par les considérations de François Roddier sur la thermodynamique de l'évolution (Roddier, 2012). En revanche, le retour au « bon sens » physique suggère d'enclencher sciemment une décroissance qui génère une prospérité d'un autre ordre, qui soit un nouveau progrès, selon Tim Jackson (Jackson, 2010), fondé sur une attention au bien-être humain et à la pérennité des environnements.

La relecture de l'économie du point de vue énergétique devrait désormais être privilégiée, comme le prônent divers auteurs : «*La négligence des ressources énergétiques et matérielles ou leur présumée agrégation dans les facteurs primaires (pour les fonctions K,L) constitue une faiblesse centrale de la théorie néoclassique de la production. Cette difficulté ne sera pas surmontée simplement par l'ajout, à la théorie existante, de nouveaux facteurs de production (fonctions KLE et KLEM) et de nouvelles relations de production. La théorie doit être substantiellement reformulée. Traiter les flux énergétiques et matériels de façon compatible aux principes physiques conduira à une théorie différente*» (Christensen, 1987).

Le postulat de Jean-Baptiste Say est nul et non avé et il s'avère urgent et impérieux de concevoir une vision nouvelle de l'économie pilotée par des indicateurs humains et physiques, notamment énergétiques, afin d'orienter le devenir de nos sociétés vers l'apaisement et l'harmonie avec la planète.

Au-delà de la seule transition énergétique, il convient d'opérer une révision des théories économiques, trop déconnectées des contextes physiques, écologiques, anthropologiques, culturels, etc., voire carrément fausses (Keen, 2014), pour réorienter le modèle de développement.

## Références bibliographiques

ARTUS P., D'AUTUME A., CHALMIN P., CHEVALIER J.M (2010), *Les effets d'un prix du pétrole élevé et volatil*, Direction de l'information légale et administrative, ISBN : 978-2-11-008213-8, 2010

BELLEVRAT E., RUDINGER A., COLOMBIER M., GUERIN E. (2013), *Scénarios de transition énergétique pour la France : définir un espace de discussion pour le débat*, IDDRI, Working paper n° 09/13, Juin.

CHRISTENSEN P.P (1987), *Classical Roots for a Modern Material-Energy Analysis*, Ecological Modelling, 38, 1987, pp 76-77 ; cité par Sylvie Faucheux, dans *Le rôle des fonctions de production dans les politiques de rationalisation énergétique : une analyse critique*, <http://www.akademia.ch/~sebes/1993.html#SF>

DEDEURWAERDERE T. (2013), *Les sciences du développement durable pour régir la transition vers la durabilité forte*, Université catholique de Louvain et Fonds National de la Recherche Scientifique, FSR-FNRS, 11 janvier.

- DIEMER A. (2009), *Du développement soutenable aux programmes de décroissance : La naissance d'un véritable programme scientifique pour l'écologie politique*, 3<sup>e</sup> Journées du Développement du GRES, juin.
- EUROPEAN COMMISSION (2013), *Green Paper, A 2030 framework for climate and energy policies*, Brussels, 27mars, Com(2013) 169 final.
- FERRARI S., ROSSIGNOL J.Y, ROUILLON S. (2014), *Biophysical foundations of degrowth : Towards a slowing down economic system*, GREThA, University of Bordeaux, France, International Society for Ecological Economics (ISEE), Reykjavik, 13 August.
- GEORGESCU-ROEGEN N. (2006), *La décroissance ; Entropie, écologie, économie*, Éditions Sang de la Terre.
- JACKSON T. (2010), *Prosperité sans croissance ; La transition vers une économie durable* - Éditions de boeck.
- JANCOVICI J.M (2012), *La transition énergétique, certes, mais quelle transition ?* Août.
- KEEN S. (2014), *L'imposture économique (Debunking Economics)*, Les Éditions de l'Atelier.
- MEADOWS D., MEDOWS D., RANDERS J. (2012), *Les limites à la croissance (Dans un monde fini)*, Éditions Rue de l'échiquier.
- RODDIER F. (2012), *Thermodynamique de l'évolution ; Un essai de thermo-bio-sociologie*, parole éditions.
- SOeS (Service de l'observation et des statistiques), Commissariat général du développement durable, *Repères ; Chiffres clés de l'énergie*, Édition 2014, février 2015
- VICTOR P. (2008), *Managing without Growth*, York University, Canada - 24 avril.