

# Économie et thermodynamique

**L**es modèles économiques ont construit un modèle clos, séparé de la planète et des ressources naturelles. Si l'on réintègre l'énergie parmi les composantes de la valeur, avec le travail et le capital, on peut mieux comprendre les dynamiques contemporaines de substitution entre ces facteurs et notamment l'extorsion de plus-value thermodynamique qui lèse les pays du Sud. Voici posées les bases d'une véritable économie politique écologiste.

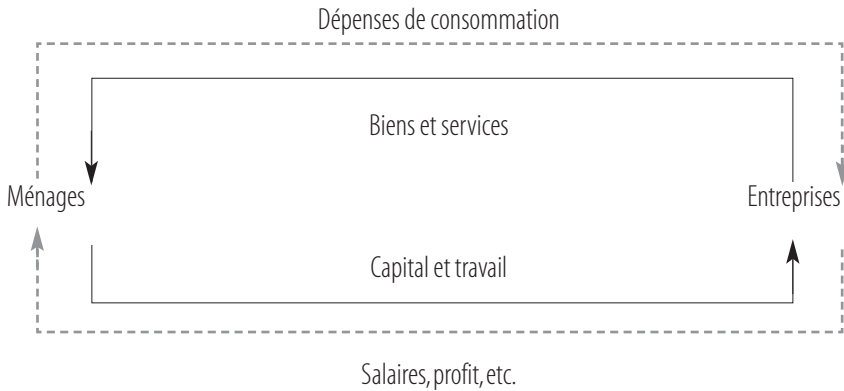
Faut-il revenir à l'inspiration des physiocrates français du XVIII<sup>e</sup> siècle pour lesquels l'énergie solaire et la photosynthèse, la terre et l'agriculture étaient les bases de toute richesse ? Oui. La théorie économique néoclassique contemporaine masque sous une élégance mathématique son indifférence aux lois fondamentales de la biologie, de la chimie et de la physique, notamment celles de la thermodynamique. Bien que cette théorie soit hégémonique dans les enseignements scolaires et universitaires, il est stupéfiant de constater qu'elle ignore pratiquement les processus qui gouvernent la biosphère, les matières et l'énergie que nous extrayons du sous-sol, les déchets que nous rejetons dans les milieux et l'environnement dans son ensemble. En outre, elle ne justifie pas ses propres fondements, qui sont présentés dogmatiquement sous forme axiomatique, plus à des fins idéologiques de promotion du libéralisme et de sélection sociale des plus aptes à manipuler les abstractions qu'à celles de refléter une quelconque réalité.

## **Le modèle économique néoclassique**

La fable de l'économie telle que l'expose la quasi-totalité des manuels de sciences économiques se présente comme un système circulaire d'échanges de valeur entre la sphère des entreprises et la sphère des ménages. D'un côté, les entreprises fabriquent des biens et des services

achetés par les ménages pour leurs dépenses domestiques et par d'autres entreprises ou par l'État pour leur fonctionnement ou leur investissement. D'un autre côté, les ménages (ou d'autres entreprises ou l'État) vendent ou louent leur travail ou leur capital aux entreprises en échange de salaires ou de loyers. Les flux monétaires parcourent le cercle des échanges économiques dans un sens, tandis que les flux réels de biens et de services le parcourent dans l'autre sens. C'est un système conceptuellement clos, une sorte de machine intellectuelle réalisant le mouvement perpétuel à l'intérieur d'un grand parc dressé pour le bonheur des humains. « Le capital libéral incarne la volonté d'exclure le monde extérieur, de se retirer dans un intérieur absolu, assez grand pour que nous ne y sentions pas enfermés »<sup>1</sup>.

Figure 1. Le mouvement perpétuel de l'économie néoclassique



Sous réserve de quelques hypothèses permettant de traiter mathématiquement la question, la production  $P$  (d'une entreprise, d'une région, d'un continent...) est représentée par une fonction  $P = f(K, T)$ , dans laquelle  $K$  représente le capital et  $T$  le travail, c'est-à-dire les facteurs de production. Dans le système capitaliste, le but d'une entreprise est de maximiser ses profits en jouant sur la combinaison des facteurs de production. Quelle part de la rémunération de la production faut-il destiner au capital ? Quelle part pour le travail ? Du côté des ménages (les « consommateurs ») l'enseignement basique de l'économie dans nos universités est celui de la concurrence walrasienne<sup>2</sup> qui postule des acteurs égoïstes, calculateurs et rationnels, des individus isolés, sans autre

<sup>1</sup> Peter Sloterdijk, interview, *Le Monde* 2, 12 mars 2005, p. 57.

<sup>2</sup> Du nom de l'économiste français Léon Walras (1834-1910).

relation que les prix, des monades sans porte ni fenêtre. Leur objectif est de maximiser leur satisfaction par la consommation de biens ou de services, compte tenu de leur budget. À partir de ces hypothèses, toute la quincaillerie conceptuelle du calcul différentiel peut se déployer en un ensemble impressionnant de propositions et de théorèmes dont l'interprétation littéraire justifie les plus fines subtilités d'un prétendu monde réel réduit à la seule valeur monétaire. Nulle trace de l'origine et de la destination biophysiques des énergies et des matières dans ce modèle économique. La domination mentale de celui-ci produit des effets très réels dans le contenu des politiques publiques mises en œuvre à l'échelon local (entreprises, collectivités territoriales...) comme à l'échelon global (G8, FMI, Banque mondiale...). L'aveuglement idéologique de ce modèle affecte tous les milieux naturels et conduit notre planète à la catastrophe. L'économie néoclassique est un non-sens écologique.

### **L'irréversible**

Cependant, depuis une quarantaine d'années, quelques économistes<sup>3</sup> précurseurs ont critiqué la déraison de ce modèle économique réduit aux échanges travail contre salaires et produits contre argent. L'économie repose, en réalité, sur un ensemble de flux physiques de matières et d'énergie qui ne suivent pas un chemin circulaire, mais des voies linéaires et unidirectionnelles. En amont, les énergies naturelles (solaire et géophysique) entretiennent les grands cycles géo-bio-chimiques qui fournissent les biens du service public de la nature. Puis, les activités humaines extractives convertissent les ressources naturelles en matières premières. Celles-ci sont alors manufacturées pour produire les biens et services intermédiaires et finals distribués par le secteur commercial aux consommateurs. Finalement, les matériaux non recyclés et l'énergie dissipée retournent à l'environnement en tant que déchets. Le terme « retournent » pourrait nous laisser croire que ces déchets matériels et énergétiques peuvent être repris dans les grands cycles naturels de maintien de la biosphère terrestre. Il n'en est rien. Le passage des flux physiques à travers l'économie humaine – comme à travers tout organisme ou écosystème – a profondément modifié la qualité de ces matières et de ces énergies.

Pour nous en tenir à l'énergie, les deux principales lois de la thermodynamique régissent

**3** Voir, par exemple, Nicholas Georgescu-Roegen, *The Entropy Law and the Economic Process*, Cambridge (Massachusetts), Harvard University Press, 1971, et *La décroissance*, Sang de la terre, Paris, 1995; René Passet, *L'économie et le vivant*, Payot, Paris, 1979; ainsi que, depuis 1989, la revue *Ecological Economics*, Elsevier.

inexorablement son utilisation. Elles disent que rien ne se passe dans le monde sans conversion d'énergie et sans production d'entropie. Autrement dit, tout processus – peu importe qu'il soit industriel ou biologique – nécessite un apport d'énergie d'une certaine qualité et rejette fatalement cette énergie de moindre qualité. Ce processus de conversion est irréversible, en opposition avec la pensée de la mécanique classique qui suppose que tous les processus sont en principe réversibles, comme la pensée économique dominante et son schéma circulaire.

La première loi de la thermodynamique s'énonce : dans tout processus physique, l'énergie est conservée. Il n'y a jamais création ou destruction d'énergie, seulement une transformation. C'est la loi de la « conservation de l'énergie », découverte par Rudolf Clausius et Lord Kelvin (né William Thomson) vers 1850 <sup>4</sup>. Nous adopterons l'idée que le concept d'énergie est intuitif et correspond simplement à la capacité de produire du travail mécanique. L'énergie demeure donc, « contrairement aux forces, humaines et éphémères, qui dansent sur la musique du temps et changent au gré des phénomènes transitoires du monde » <sup>5</sup>.

La deuxième loi de la thermodynamique, découverte par Sadi Carnot en 1824, peut s'énoncer : un processus naturel s'accompagne nécessairement d'une augmentation de l'entropie de l'univers. Si nous admettons l'idée que l'entropie d'un système isolé – tel l'univers entier ! ou bien un système n'ayant aucun échange avec son environnement – est une mesure de son désordre, de sa désorganisation, de son uniformisation, alors la seconde loi stipule que l'entropie augmente irréversiblement au sein de ce système.

L'énergie, comme la matière, ne peut être créée ou détruite. Bien que le langage économique nous incite à écrire le contraire, il n'y a pas de

**4** Une loi analogue de « conservation de la matière » avait été découverte auparavant par Antoine Laurent de Lavoisier : « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme ». En langage contemporain, elle s'appelle plutôt « bilan matières » et affirme que la quantité d'input matériel dans un processus est toujours égale à l'ensemble de l'output, plus les stocks éventuels.

**5** P.W. Atkins, *Chaleur et désordre*, Belin, Paris, 1987, p. 16.

« production » ou de « consommation » d'énergie, ni de « sources » ou de « puits » énergétiques (première loi). L'énergie ne peut qu'être transformée, transférée, convertie, et cette transformation altère fatalement une certaine qualité de l'énergie (deuxième loi). Bien sûr, localement, la qualité de l'énergie peut être améliorée, mais ceci ne peut advenir qu'au prix d'une dégradation plus grande encore ailleurs. Si bien que, globalement, la qualité se détériore continuellement et inexorablement. Dans une automobile par exemple, le carburant est muni de cette qualité qui permet au

moteur à explosion d'entraîner le vilebrequin pour faire avancer le véhicule (production de travail mécanique). Mais de la chaleur a aussi été rejetée à l'extérieur par la soupape d'échappement. Le travail mécanique et la chaleur ne sont que des moyens de transfert de l'énergie de haute qualité contenue dans les liaisons chimiques du carburant vers les produits de combustion dispersés en désordre dans l'atmosphère. Cette perte de qualité, c'est l'entropie. En rechargeant la batterie de mon téléphone mobile, les combinaisons chimiques brisées et converties en électricité lors de l'utilisation de l'engin se reforment en un système énergétique de haute qualité de basse entropie. Mais cette amélioration locale s'est effectuée au prix d'une dégradation supérieure, d'une plus haute entropie de l'ensemble du système biosphère + soleil qui contient mon téléphone mobile et sa batterie comme sous-système. Les organismes vivants ne procèdent pas autrement pour construire et maintenir leurs structures ordonnées à partir de constituants plus simples.

Un concept dérivé de l'entropie est celui d'exergie (ou énergie libre), qui représente la part utile de l'énergie d'un système dans son environnement. Autrement dit, la quantité maximale de travail que ce système peut actionner dans son environnement. L'eau d'un lac situé en haut d'une montagne possède beaucoup d'énergie potentielle. Le même volume d'eau contenu dans un étang de la vallée en possède moins. Une voiture d'une tonne roulant à 90 km/h sur une route a une grande énergie cinétique. La même voiture à l'arrêt sur la même route n'a plus aucune énergie cinétique. Les atomes de carbone et d'hydrogène liés dans les molécules de pétrole ont beaucoup d'énergie chimique. Après la combustion, ces mêmes atomes dispersés n'ont plus d'énergie. Dans ces exemples, l'énergie, sous l'une ou l'autre de ses formes, se confondait pratiquement avec l'exergie. La différence, cruciale, est que l'énergie était conservée (première loi de la thermodynamique) sous une forme inutilisable, tandis que l'exergie était diminuée, au fur et à mesure que l'entropie augmentait. Mais notre intuition peut être surprise : un cube de glace dans une pièce à 19 °C possède une certaine exergie (sa différence de température avec l'air ambiant) que l'on pourrait théoriquement utiliser pour actionner un moteur thermique susceptible de produire du travail mécanique <sup>6</sup>.

Ce concept s'élargit à la matière pour mesurer une certaine qualité de concentration et d'organisation des atomes qu'elle contient. Une pépite d'or pur contient plus d'exergie que le même nombre d'atomes d'or dilués un

<sup>6</sup> Göran Wall, *Exergy, a useful concept within resource accounting*, Report no. 77-42, Institute of Theoretical Physics, Chalmers University of Technology and University of Göteborg, Sweden, May 1977.

à un dans l'eau de mer. Lorsqu'un minerai d'uranium 235 est peu concentré, qu'il est mélangé avec d'autres matières dans un bloc géologique, il contient peu d'exergie. Si nous voulons le concentrer pour l'utiliser comme combustible dans un réacteur nucléaire (ce que je ne souhaite pas), nous devons l'enrichir par quelque procédé industriel très énergivore (telle l'usine du Tricastin) pour lui fournir l'exergie qui déclenche la réaction en chaîne. Nous avons transféré l'exergie fournie à l'usine vers l'exergie de la matière nucléaire combustible. L'utilisation de l'énergie libre apporte un « ordre ajouté » à la matière, du point de vue physique, et une « valeur ajoutée » à celle-ci, du point de vue économique <sup>7</sup>.

Les questions écologiques ont bouleversé notre vision de la nature depuis un demi-siècle. Alors que la science classique mettait en valeur les notions d'équilibre, de stabilité et de réversibilité, à l'image de la mécanique rationnelle, nous appréhendons aujourd'hui la nature au moyen de l'évolution, des instabilités et des fluctuations. La symétrie du temps a été brisée. Les processus sont irréversibles. L'entropie guide notre compréhension thermodynamique de l'évolution de la vie.

## La bioéconomie

Ce détour par quelques bribes de thermodynamique était indispensable pour comprendre pourquoi l'économie néoclassique a négligé l'énergie comme facteur pour ne considérer que le capital  $K$  et le travail  $T$  dans la fonction de production  $P = f(K, T)$ . Au début de l'édification de cette théorie économique, fétichiste de l'argent, les coûts de production les plus importants étaient celui du travail humain et celui des équipements, tandis que les matières premières et l'énergie ne coûtaient presque rien. L'attention des entrepreneurs et des économistes s'est donc focalisée sur les deux premiers en considérant les deux derniers comme négligeables. L'observation de l'évolution du coût de la production avec le temps se résumait à celle des revendications syndicales pour la hausse de salaires ou celle du coût des matériels et infrastructures. L'évolution de la production elle-même était analysée par le calcul de la dérivée de la fonction de production

$$dP/dt = P/K \cdot dK/dt + P/T \cdot dT/dt$$

**7** Charles Hall, Dietmar Lindenberger, Reiner Kümmel, Timm Kroeger and Wolfgang Eichhorn, «The need to Reintegrate the Natural Sciences with Economics», *Bioscience*, vol. 51, n° 8, August 2001, p.663-673.

dans laquelle les dérivées partielles  $P/K$  et  $P/T$  représentent la productivité marginale du capital et celle du travail, respectivement. Les dérivées par rapport au temps,  $dK/dt$  et  $dT/dt$ , représentent les variations des quantités de chacun des facteurs dans la production. Le but

de la « croissance » est de maintenir  $dP/dt$  positif en jouant sur les facteurs de production considérés comme substituables l'un à l'autre : mes salariés me coûtent trop cher, je vais les remplacer par des machines ou bien je vais délocaliser dans un pays à bas salaires. Dans ce modèle économique, la productivité des facteurs est nécessairement égale aux coûts des facteurs, la part contributive de chaque facteur dans la production est déterminée par son coût. Autrement dit, la valeur de la production  $P$  est égale à la quantité de chaque facteur multipliée par sa productivité marginale. L'énergie ne valant presque rien (autour de 5 % dans l'ensemble des coûts des facteurs de production, pour l'économie de marché mondialisée) elle ne vaut pas la peine d'être considérée comme un facteur important. Du reste, s'il fallait néanmoins le faire, un changement de prix dans un input énergétique qui ne pèse que 5 % aurait peu de conséquence sur le changement de coût de l'output total. Nulle trace du coût des « externalités » environnementales ou sanitaires de l'utilisation de l'énergie. Ni du côté de l'extraction – les ressources énergétiques sont considérées comme abondantes et bon marché ou, au pire, substituables entre elles – ni du côté des rejets et de la pollution – le marché et la technologie se chargeront de remédier à d'éventuels dégâts. Aujourd'hui encore, malgré la popularité médiatique du changement climatique, la tonne de carbone ne vaut pas grand-chose sur le marché européen des permis d'émission de gaz à effet de serre et la séquestration du  $CO_2$  résoudra une bonne partie du problème, tel est le raisonnement aveugle. Cependant, un premier doute est apparu dans la pensée de nos économistes avec l'augmentation brutale des cours du brut au moment du premier choc pétrolier (1973-1974) et du deuxième (1979-1980), ces deux épisodes ayant eu un impact considérable sur la croissance économique.

Quelques économistes non orthodoxes ont décidé d'inclure le facteur « énergie »  $E$  dans la fonction de production  $P = f(K, T, E)$  et d'examiner son importance réelle dans la croissance économique de trois pays (États-Unis, Japon, Allemagne) pendant trois décennies <sup>8</sup>. La différence essentielle avec les hypothèses de l'équilibre général en économie néoclassique est que les productivités des facteurs ne sont plus égales à leurs coûts respectifs dans le coût total. En effet, l'analyse doit tenir compte du fait que les facteurs de production ne sont que partiellement substituables entre eux.

<sup>8</sup> Reiner Kümmel, Dietmar Lindenberger, Wolfgang Eichhorn, «The productive power of energy and economic evolution», *Indian Journal of Applied Economics*, vol. 8, September 2000, pp. 231-262. Pour un modèle plus sophistiqué, on consultera Robert U Ayres & Benjamin Warr, «Accounting for Growth: the Role of Physical Work», Center for the Management of Environmental Resources, INSEAD, Fontainebleau, France, 2004.

Selon les lois de la thermodynamique, il est, par exemple, inconcevable de remplacer complètement l'énergie par le capital. Les résultats des calculs qu'il est alors possible d'effectuer sont très différents de ceux que l'on obtient en économie traditionnelle. Ainsi, sur une trentaine d'années, les calculs des productivités des facteurs dans la production industrielle des trois pays cités montrent que la puissance productive de l'énergie (sa productivité) est plus importante que celle du capital ou du travail, qu'elle est même de l'ordre de dix fois plus grande que les 5 % de son coût dans le coût total. En moyenne, la contribution productive de l'énergie est de l'ordre de 50 %, celle du capital environ 35 % et celle du travail autour de 15 %.

Ces résultats bouleversent l'une des hypothèses fondamentales de l'économie néoclassique, l'égalité des productivités et des coûts dans le coût total. En fait, pour diminuer leurs coûts de production, les trois grandes économies capitalistes des États-Unis, du Japon et de l'Allemagne n'ont cessé de substituer de l'énergie puissante et bon marché – du pétrole ! – à du travail humain qui est plus cher et moins productif (sa productivité est plus faible que celle de l'énergie). En 1995, l'appareil industriel qui fournissait biens et services aux citoyens « consommait » de l'ordre de 133 kWh par personne et par jour en Allemagne, de l'ordre de 270 kWh aux États-Unis. En estimant que l'énergie quotidienne fournie par un travailleur humain moyen est d'environ 3 kWh, nous déduisons que chaque habitant de l'Allemagne disposait quotidiennement de 44 « esclaves énergétiques » pour son confort, tandis que l'Américain en avait 90. Ce mouvement de substitution de la puissance énergétique – essentiellement d'origine fossile – à la puissance musculaire humaine n'est pas encore achevé dans les pays industrialisés, bien que de nombreux responsables politiques et syndicaux se plaignent de la désindustrialisation, tel le président de la République française lors de ses vœux télévisuels 2005.

Il est de bon ton, en Europe, de railler le gaspillage énergétique des États-Unis, illustré par les chiffres que nous venons de citer ainsi que, en aval, par les volumes des émissions annuelles de gaz à effet de serre d'un Étasunien moyen, doubles de celles d'un européen (UE-15). Cela n'est que partiellement juste. Il convient de regarder de plus près l'histoire et la géographie de chaque pays ou de chaque région. Dans les pays à vaste territoire (les États-Unis, le Canada, l'Australie, la Russie, la Chine, le Brésil et l'Inde) les distances intérieures induisent nécessairement des coûts de transports, d'organisation et d'administration plus élevés que ceux des petits pays. Lorsque les transports sont très développés et que les taxes sur les carburants ne sont pas trop élevées,



l'évolution du cours du baril de brut a des effets sensibles sur le coût de la mobilité mécanisée. Lors des chocs pétroliers de 1973 et de 1979, l'économie indienne, alors peu dépendante du pétrole, ne fut guère affectée, tandis que les économies européennes le furent plus <sup>9</sup>. Cependant, la récession des pays européens fut moins forte que celle des États-Unis, à la fois vastes et pétroaddictes. Ceci pourrait nous inciter à prédire que le pic de Hubbert aura des répercussions plus importantes dans les pays étendus et industrialisés que dans les pays plus petits ou moins dépendants du pétrole. Le pic de Hubbert ? Il s'agit du maximum atteint par la production de pétrole d'une région du monde. Ainsi, les États-Unis, premiers producteurs et premiers consommateurs de pétrole au monde, sont en fait importateurs pour plus de 55 % de leur consommation, alors qu'ils ne l'étaient pas en 1970, première année du déclin inexorable de leur production. King Hubbert avait prédit ce déclin, pour les États-Unis, dès 1956. Depuis 35 ans, les États-Unis (hors Alaska) ont franchi leur pic de Hubbert pétrolier. En généralisant la méthode de Hubbert à d'autres régions pétrolières, et en sommant les résultats, certains géologues indépendants ont estimé que la production pétrolière mondiale, en hausse depuis 150 ans, est aujourd'hui au bord du déclin inéluctable. Est-ce pour 2006 ? 2008 ? 2010 ? Nous ne sommes pas à quelques années près. C'est imminent. Vu l'énormité du capital fixe investi dans la chaîne pétrolière, depuis la prospection et l'extraction jusqu'à la distribution et l'utilisation finales, il est désormais trop tard pour espérer substituer rapidement un autre fluide énergétique au pétrole. Le choc est inévitable. Il sera, hélas, destructeur dans tous les domaines et sur tous les continents, au point de remettre en cause les fondements et les pratiques de la démocratie et de la solidarité.

Nous connaissons les désastreuses conséquences sociales du modèle économique dominant nommées au Nord exclusion, chômage, licenciements, délocalisations et au Sud ajustement structurel, déculturation, appauvrissement, misère. Nous savons aussi les conséquences écologiques funestes de l'extraction inconsidérée des ressources du sous-sol et les pollutions que leur utilisation productiviste occasionne. Notre analyse matérialiste nous conduit à penser que ces crises sociale et environnementale trouvent leur cause essentielle dans le bas prix de l'énergie depuis la révolution industrielle. Ces crises ne seront pas contrecarrées uniquement par des moyens financiers, mais par un changement profond du modèle économique dominant, établissant l'énergie comme le principal facteur de production.

<sup>9</sup> Omar Campos Ferreira, « The structure of the crisis », *Economy & Energy*, n° 13, March-April 1999.

## L'impérialisme thermodynamique

Dans l'économie néoclassique, tout est rapporté et réduit à la valeur monétaire de l'échange. C'est la « neutralité » des marchandises et « l'équité » du commerce selon l'OMC. Un million d'euros de 607 Peugeot contre un million d'euros de pétrole saoudien est, par définition, un échange parfaitement équitable. La seule valeur, c'est la valeur d'échange. La pensée même qui sous-tend le modèle néoclassique ne peut concevoir une autre mesure que la valeur monétaire comme support égalitaire de l'échange. Après l'édification de l'économie politique classique par Adam Smith et David Ricardo, Karl Marx a tenté, de son côté, de prolonger la théorie ricardienne de la valeur-travail. Il a longuement analysé l'extorsion par les propriétaires du capital de la plus-value créée par le travail salarié pour conclure que la seule valeur, la valeur « réelle », c'est la valeur du travail investi dans la production. Mais, selon nous, cette mesure est incomplète et même marginale par rapport à l'extorsion thermodynamique de l'entropie mesurée sur les flux de matières et d'énergie. En effet, nous avons vu précédemment que non seulement l'énergie participait à la moitié du potentiel productif, tandis que le capital n'y participait que pour un tiers et le travail humain pour un sixième, mais aussi qu'une qualité initiale des matières et de l'énergie était irrévocablement perdue dans les flux économiques par la loi de l'entropie.

Notre tâche aujourd'hui est donc d'analyser, dans l'ordre physique, les mécanismes d'extorsion de la plus-value thermodynamique par ces mêmes propriétaires du capital. C'est-à-dire d'observer comment les flux de matières et d'énergie provenant principalement du Sud sont indispensables à l'accumulation du Nord <sup>10</sup>. La valeur, c'est d'abord la valeur thermodynamique. Il ne s'agit pas de réduire l'économie à la thermodynamique, il s'agit de mesurer l'importance relative de chacun des facteurs dans le processus (la fonction) de production, de la façon la plus exacte. D'ailleurs, nous ne cherchons pas à établir une nouvelle mesure de la valeur, plus authentique ou plus scientifique que celle des économistes orthodoxes qui la situe dans les « préférences des consommateurs ».

<sup>10</sup> Alf Hornborg, «The Unequal Exchange of Time and Space: Toward a Non-Normative Ecological Theory of Exploitation», *Journal of Ecological Anthropology*, vol. 7, 2003. Voir aussi son livre: *The Power of the Machine*, AltaMira Press, Walnut Creek, California, 2001.

L'appropriation d'énergie libre, d'exergie fossile, par les centres du système-monde, par tous les moyens, notamment militaires, est une condition nécessaire pour l'accumulation productiviste et sa perpétuation, de même que « un objet ne peut avoir de prix que s'il a une valeur économique et il ne peut avoir une

valeur économique que si son entropie est basse. Mais la réciproque n'est pas vraie » <sup>11</sup>.

Du côté Nord, les productivistes des centres du système-monde <sup>12</sup>, condamnés à la recherche d'un pouvoir et d'un profit croissants nécessaires à leur survie dans la compétition mondiale, ne peuvent intensifier la production industrielle qu'en s'appropriant des parts croissantes d'énergie libre et de ressources minérales en provenance des zones périphériques. Du côté du Sud, celui des dominés, cette intensification conduira à la déplétion des ressources naturelles locales et à la dégradation environnementale. Ces transferts d'énergie libre et de minéraux sont effectués sous contrainte entropique, ce qui est une première forme d'échange inégal entre les centres et les périphéries du monde. Mais il est une seconde forme de cette inégalité qui concerne le temps et l'espace, ou plutôt les échanges inégaux de temps et d'espace entre les dominants et les dominés. En effet, de nombreuses technologies peuvent être considérées comme des instruments économiseurs de temps et d'espace. En principe, la vitesse accrue par l'utilisation des trains, des automobiles ou des avions, ainsi que par l'emploi de téléphones mobiles ou des réseaux internet, permet d'économiser le temps des usagers. Parallèlement, l'intensification des usages du sol par la construction de gratte-ciels ou par les méthodes de l'agriculture productiviste permet d'économiser de l'espace. Mais ces économies locales de temps ou d'espace ne sont possibles que par des dépenses supérieures de temps et d'espace ailleurs dans le monde.

L'avion A380, triomphalement célébré à Toulouse au début de l'année 2005 par quatre chefs d'état ou de gouvernement et plus de cinq mille invités permettra peut-être de faire gagner du temps et d'accéder à plus d'espace à ceux qui auront les moyens de l'utiliser, mais cela se fera au prix du temps de travail d'une multitude de mineurs, de sidérurgistes et de travailleurs d'Airbus, ainsi que d'espaces naturels creusés de mines ou forés de derricks, sacrifiés sur l'autel du progrès technologique.

L'échange inégal de temps a déjà été exposé, il y a plus de trente ans par des penseurs marxistes <sup>13</sup> qui ont montré que les pays à bas salaires doivent exporter de plus grands volumes en échange d'un volume donné d'importations en provenance de pays à hauts salaires. Autrement dit, la quantité de travail incorporée dans les exportations des pays

<sup>11</sup> Nicholas Georgescu-Roegen, *La décroissance*, opus cité, note 14, p.71.

<sup>12</sup> Dans ce paragraphe et les suivants, nous empruntons quelques notions à l'école de l'économie-monde, fondée par Fernand Braudel et Immanuel Wallerstein.

<sup>13</sup> Arghiri Emmanuel, *L'échange inégal, essai sur les antagonismes dans les rapports économiques internationaux*, Éditions François Maspéro, Paris, 1969.

dominés est considérée comme inférieure à celle que renferment les exportations des pays dominants. Plus récemment, les écologistes ont étendu l'échange inégal à l'espace, mesuré par la notion d'empreinte écologique <sup>14</sup>. La révolution industrielle fut moins un arrachement prométhéen aux contraintes naturelles qu'une accumulation locale d'une capacité d'exporter ces contraintes dans les périphéries de la planète. Le « progrès technologique » ou la « croissance » ne sont pas les clés du paradis dont Ricardo et Marx rêvaient, mais les expressions locales d'un jeu global à somme négative pour la majorité des habitants de la Terre, de ses espaces naturels et de son sous-sol. Dans le commerce mondial selon l'OMC, la somme algébrique des échanges est financièrement nulle, par définition. En revanche, du point de vue biophysique et thermodynamique, l'échange est doublement inégal en ce que d'une part la quantité de « progrès » gagnée par le Nord dans cet échange est inférieure à la quantité d'entropie gagnée par le Sud, d'autre part les quantités de travail et d'espace économisées par le Nord sont inférieures aux temps de travail et aux espaces sacrifiés par le Sud. Les marxistes eux-mêmes n'ont pas complètement saisi les implications de cette analyse de la technologie moderne. Si les machines, depuis le début de la révolution industrielle, peuvent être considérées comme des instruments d'économie de temps et d'espace pour certains au prix de la perte de temps et d'espace pour un plus grand nombre d'autres, il n'y a aucun sens de voir le « développement des forces productives » comme la promesse de l'émancipation du prolétariat mondial. La promotion sociale contemporaine de la compression du temps et de l'espace due aux technologies, sur lesquelles s'extasient les philosophes cornucopiens <sup>15</sup> médiatiques, repose sur un processus planétaire d'appropriation de temps et d'espace. Les secteurs high-tech de la société mondialisée qui glorifient leur utilisation efficace du temps et de l'espace (l'A380!) oublient complètement à quel prix thermodynamique, humain et écologique, cette prétendue efficacité a été possible.

<sup>14</sup> Mathis Wackernagel et William Rees, *Notre empreinte écologique*, Éditions Ecosociété, Saint-André Montréal, Québec, 1999.

<sup>15</sup> Croyants en une corne d'abondance éternelle.

<sup>16</sup> Rosa Luxemburg, *L'accumulation du capital*, Éditions François Maspéro, Paris, 1969.

Les secteurs développés de nos sociétés industrielles le sont moins par le génie technologique et l'esprit d'entreprise que par l'esclavage et la dévastation environnementale. Une partie de ce constat n'est pas nouvelle. Elle avait déjà été dressée par Rosa Luxemburg il y a un siècle, dans son analyse de l'expansion du capitalisme <sup>16</sup>, la dimension thermodynamique en moins. Aujourd'hui, contrairement aux marxistes, nous ne croyons

pas que la technologie industrielle puisse être placée sous le contrôle des masses pour devenir une force d'égalisation des conditions et de prospérité pour le plus grand nombre. La technologie n'est pas culturellement neutre. Comme toutes les institutions qui émergent de l'interaction spéculaire <sup>17</sup>, elle représente une forme socialement construite de l'inégalité, elle est inséparable de cette dernière. Le formidable multiplicateur de force que représente le pétrole est la base vitale des centres du système-monde qui aspirent son énergie libre pour se reproduire et s'étendre en le dissipant sous forme de chaleur. La « croissance » ainsi entretenue n'accélère pas seulement la déplétion des hydrocarbures, elle accroît aussi les inégalités entre les forces sociales et politiques qui dominent les centres et les multitudes des périphéries. Le modèle productiviste contemporain, intrinsèquement lié à l'échange inégal d'énergie par l'extraction des hydrocarbures, ne pourra pas survivre sans pétrole. La dépendance des centres vis-à-vis de celui-ci le constitue comme la matière irremplaçable de la survie du système. C'est pourquoi l'éventuel remplacement des hydrocarbures par des énergies renouvelables ne serait pas une simple substitution technique, toutes choses étant égales par ailleurs. Ce serait d'abord un flux solaire inépuisable qui prendrait la place d'un stock « emmagasiné dans les entrailles de la terre » <sup>18</sup>, donc une authentique solidarité avec les générations futures dans la mesure où notre génération n'empiéterait ainsi en rien sur les capacités des futures à bénéficier du rayonnement solaire, alors que les générations qui nous ont précédés ont dissipé en un siècle et demi la moitié du volume de pétrole de la dotation terrestre initiale, irrévocablement. Ce serait aussi le remplacement d'une énergie cumulativement polluante par une énergie exempte de toute pollution. Ce serait enfin un bouleversement dans l'organisation de notre planète, par la fin de l'échange inégal d'énergie entre le Nord et le Sud.

### **La contraction économique due à la cherté du pétrole**

La disponibilité croissante d'énergie bon marché à partir des combustibles fossiles a été le principal « moteur de croissance » depuis le début de la révolution industrielle. Les machines mues par les énergies fossiles ont progressivement remplacé la force animale, la puissance du vent et de l'eau, et les muscles humains et, par conséquent, ont énormément augmenté la productivité des travailleurs.

Du point de vue économique, la boucle énergétique de rétroaction positive fonctionne comme suit: l'énergie abondante et bon

<sup>17</sup> Jean-Louis Vullierme, *Le concept de système politique*, Presses universitaires de France, Paris, 1989.

<sup>18</sup> Nicholas Georgescu-Roegen, *La décroissance*, opus cité, p. 116.

marché, due aux découvertes, les économies d'échelle et le progrès dans l'efficacité énergétique permettent la production et la distribution de biens et de services à bas coûts. Ce qui se traduit, dans une économie concurrentielle, par une offre de biens et de services à bas prix. Le phénomène de l'élasticité des prix implique que des prix bas encouragent la croissance de la demande. Comme la demande de biens et de services aux consommateurs correspond nécessairement à la somme des paiements des facteurs (capital + travail), dont une partie revient aux travailleurs sous forme de salaires, il s'ensuit que les revenus du travail tendent à s'accroître lorsque la production augmente. Ceci stimule alors une plus grande substitution des énergies fossiles et des machines à la puissance animale et humaine, d'où il résulte de nouveaux accroissements d'échelle et des coûts plus bas <sup>19</sup>.

Ainsi décrit, on voit que la nature de cette rétroaction positive implique que les flux d'énergie ont été et demeurent un facteur de production majeur. Et pourtant, la théorie néoclassique néglige ce facteur en ne l'incluant pas dans la fonction de production ou dans le produit intérieur brut. En fait, l'économie néoclassique considère la hausse de la consommation d'énergie comme une conséquence de la croissance et non l'inverse. La boucle sus-décrite laisse plutôt entendre que la causalité est mutuelle, bi-directionnelle.

Si nous sommes désormais convaincus que le facteur énergétique est le plus important des facteurs de production et que, par conséquent, c'est surtout lui qui a permis la croissance économique depuis plus d'un siècle par l'abondance énergétique et le faible coût de son accessibilité, que se passe-t-il dans la boucle de rétroaction lorsque l'énergie devient beaucoup plus chère ? Les coûts de production et de distribution des biens et services augmentent en proportion de la productivité marginale de l'énergie, soit ~50 %. Autrement dit, si les prix de l'énergie doublent, les prix des biens et services augmentent de 50 %. L'hypothèse de l'élasticité voudrait qu'alors la demande décroisse, ainsi que la production et les salaires versés. Des tentatives de substitution d'autres énergies au pétrole peuvent être réalisées, cependant nos hypothèses de non substituabilité massive et rapide du pétrole par un autre fluide et de l'addiction au pétrole de nos sociétés impliquent le retournement de la rétroaction positive de croissance en son contraire : une rétroaction positive de décroissance. La succession des phases de l'économie mondiale pourrait être alors : inflation → récession → dépression → effondrement. Cette succession, cependant, pourra présenter différentes formes selon la vitesse à laquelle les cours du baril augmentent.

<sup>19</sup> Robert U Ayres & Benjamin Warr, *op. cit.*

## Effondrement ou simplification ?

La « complexité » de la société est souvent évoquée pour cacher notre incompréhension de ses mécanismes ou notre impuissance à en influencer le cours. Une partie de l'abstention électorale repose sans doute sur ce sentiment. Admettons provisoirement que la notion de complexité est intuitive et qu'elle correspond simplement au sentiment individuel de notre incapacité de comprendre ou d'agir sur la société mais aussi, paradoxalement et positivement, à une stratégie collective pour résoudre certains problèmes que rencontre la société. Personne, en France, ne maîtrise complètement la « complexité » réglementaire de la Sécurité sociale, mais celle-ci s'est formée depuis cinquante ans comme réponse adaptative aux différences de situation des groupes de bénéficiaires. En tant que stratégie de résolution de problèmes, la complexité d'une institution ou d'une société peut être considérée comme une fonction économique dont les facteurs se mesurent matériellement en capital, en travail et en énergie, tout comme la production. Il existe aussi des coûts de transactions, d'organisation et de coordination, plus difficilement évaluables, et que nous incluons dans les coûts matériels. Les premières solutions mises en œuvre pour résoudre un problème sont souvent les plus simples et les moins chères, elles sont efficaces à moindre coût. Cependant, la complexité croissante est aussi soumise aux rendements décroissants : plus les problèmes se multiplient, moins les investissements supplémentaires y apportent de solutions efficaces. Les exemples et les contre-exemples issus de l'agriculture ne manquent pas <sup>20</sup>. Les papous Kapauku de Nouvelle-Guinée ne consacrent pas plus de deux heures quotidiennes au travail d'une agriculture de subsistance. De même les indiens Kuikuru du bassin de l'Amazone, ou les paysans russes avant la révolution d'octobre. Les administrateurs coloniaux ont pu s'étonner d'une telle sous-production instituée, comme si les groupes qui vivaient ainsi préféraient l'art, la bagarre et le repos à l'intensification de la production. Ou bien ces groupes n'avaient-ils pas l'intuition qu'un accroissement du temps de travail agricole n'aurait apporté qu'une production supplémentaire marginale ? Autrement dit, n'avaient-ils pas la connaissance acquise que l'intensification agricole aurait certes augmenté le rendement des récoltes par hectare, mais au prix d'une productivité horaire du travail décroissante ? À l'inverse, d'autres sociétés, sous l'effet de la croissance démographique notamment, se résolurent à l'intensification agricole, au prix d'une complexité croissante (sarcler, retourner,

<sup>20</sup> Joseph A. Tainter, "Problem Solving: Complexity, History, Sustainability", *Population and Environment*, Volume 22, Number 1, September 2000, pp.3-41.

amender, irriguer, semer, récolter, commercialiser, transformer, distribuer, détailler...) et d'un énorme déficit énergétique.

L'Europe ne s'est pas distinguée que par l'avènement de l'agriculture productiviste. Elle a aussi dépensé beaucoup de temps de travail, de capital et d'énergie à (se) faire la guerre depuis le XV<sup>e</sup> siècle. La course aux armements, exemple paradigmatique de rendements décroissants, n'est pas simplement ruineuse par les destructions physiques réalisées en temps de guerre, elle l'est aussi par la captation d'une partie importante du PIB en temps de paix, pour préparer la prochaine guerre ou maintenir la sécurité du pays. Il n'est que d'observer les budgets des ministères de la défense, notamment américain, pour s'en convaincre. Pendant cinq siècles, les pays européens ont cependant réussi, pour l'instant, à éviter le collapsus grâce à trois facteurs complémentaires : l'exploitation de leurs paysans et de leurs ressources naturelles (bois, charbon, fer), l'expansion coloniale et la spoliation des peuples indigènes, enfin l'accès aux hydrocarbures bon marché. Ce dernier facteur est aujourd'hui le plus déterminant dans la puissance générale – non exclusivement guerrière – de l'Europe et des pays de l'OCDE. Maintenir la complexité des sociétés occidentales ou développer celle des pays mimétiques (Chine, Inde, Brésil...) réclamerait l'accroissement de l'accès à des ressources énergétiques bon marché, notamment les hydrocarbures. Ceci est impossible. Le monde va se simplifier dramatiquement.