

Les thermodynamiques du développement.

René Passet

La thermodynamique, dans son sens étymologique initial, se définit comme la science de la transformation de la chaleur en mouvement ; par extension, elle deviendra l'étude des systèmes dans lesquels interviennent des échanges thermiques.

On date généralement sa naissance de Sadi Carnot, (1796-1832) dont un petit opuscule *les Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* (1824) constituait, selon le grand physicien Thomson (Lord Kelvin, une des œuvres majeures de l'humanité . Cet ouvrage exprime déjà les deux principes fondamentaux que les travaux de ce même Thomson, Von Mayer, Clausius, Boltzmann permettront d'affiner.

L'exemple du charbon qui fait marcher la machine à vapeur permet de les illustrer simplement :

- principe de conservation : la combustion ne détruit pas les éléments constitutifs du charbon ; ils se retrouvent dans l'univers à l'état de cendres et de fumées ;
- principe de dégradation (entropie) : ces éléments sont dispersés et déstructurés et ne pourront pas, un fois de plus, alimenter le mouvement de la machine.

Il ne s'agit pas seulement d'une science de plus, à côté des autres, mais aussi d'un nouveau regard porté sur le monde : les astres tournent dans le ciel selon les lois de Newton qui ne sont pas remises en cause, mais ils ont également une température qu'ils dissipent selon les lois de la thermodynamique.

Nous distinguerons le *Développement*, d'une simple croissance quantitative mesurée par l'augmentation du produit national. Une croissance ne peut être assimilée à un développement que dans la mesure où elle contribue au mieux-être humain sans détruire les mécanismes assurant la reproduction de la biosphère qui la porte. Le développement n'est donc pas un concept uniquement quantitatif, mais également qualitatif. C'est un objectif. Par définition il est durable, ce qui ne veut pas dire qu'il en va de même de ce que l'on appelle « développement » - en le confondant souvent avec la croissance - dans la réalité de la vie économique.

La question du développement (durable) marque une transition de phase, à travers laquelle les données et les modes de régulation de l'économique se transforment. Par exemple : la nature devient un facteur limitant, à partir duquel sa substituabilité avec le capital technique n'est plus possible : plus de capital pour maintenir le flux de production ne peut qu'accélérer l'épuisement de la nature...et, à terme la disparition des flux qu'elle produit; plus largement, toute la théorie de l'optimisation de Pareto – qui repose sur la substituabilité des biens comme des facteurs - est remise en question.

I- Pourquoi évoquer une science physique à propos d'une question économique ?

A partir du moment où la croissance menace la reproduction de la nature, elle se trouve confrontée au caractère réel des flux (matériels et énergétiques) qu'elle transforme et au très long terme des phénomènes naturels.

Elle est condamnée à redécouvrir qu'elle n'a pas seulement une dimension monétaire, mais qu'elle prélève aussi, transforme et rejette des flux réels et qu'en cela elle interfère avec les cycles naturels assurant la reproduction de la biosphère.

Cette dimension est irréductible à une logique strictement économique :

- corriger les coûts marchands en intégrant les coûts environnementaux (internalisation des coûts externes) relève du plus pur réductionnisme : cela ne tient pas compte de l'essentiel qui est la fonction de chaque bien dans la reproduction du milieu naturel auquel il appartient ; or c'est la pérennité de ce milieu qu'il faut garantir pour assurer le caractère durable du développement ;
- la réduction du développement durable à celle du seul capital (version dite « faible » du DD) n'a pas de sens ; ce qu'il faut, c'est insérer les mécanismes de la l'optimisation économique dans les régulations naturelles (et sociales) dont la logique ne se réduit pas à celle de la sphère économique ; « développement durable » ne signifie pas durabilité de la croissance économique quel qu'en soit le coût hors de la sphère productive, mais respect des conditions naturelles et sociales préservant les milieux naturel et humain sans lesquels aucune croissance économique ne peut être durable et ne peut prétendre à être un développement.

Ceci nous permet de préciser la place- à la fois fondamentale et limitée – de la thermodynamique en économie.

La prise en compte des réalités physiques de la biosphère est fondamentale dès lors que l'économie met en cause les mécanismes régulateurs de la biosphère. Mais elle n'exprime pas tout, et de très loin:

- parce qu'elle est incluse dans les sphères naturelle et humaine, l'économie en contient toutes les dimensions et doit les prendre en compte : le travail n'est pas une simple force physique qui s'échange sur le marché, mais il est porté par une créature humaine qui est aussi une créature vivante soumise aux lois de la biologie; la forêt ne représente pas seulement une ressource économique et une réserve d'énergie, mais aussi un espace social et elle contribue à la reproduction du milieu naturel dans lequel elle se développe...
- parce que les sphères qui l'englobent sont régies par des lois propres (les cycles naturels, la biologie, l'écologie...) irréductibles à l'économie, celle-ci doit être nécessairement subordonnée au respect de ces lois qui sont autant de contraintes dans les limites desquelles doit se tenir le jeu de l'optimisation économique ; ces contraintes sont énergétiques mais elles ne sont pas que cela et elles ne sont pas seulement quantitatives (beauté des paysages, qualité de la vie...)
- parce qu'enfin l'espèce humaine, finalité de l'économie, transcende l'ensemble des sphères par la quête de sens et de valeurs qui la caractérise, le développement économique ne peut se concevoir qu'au-delà de lui-même, par référence à des valeurs humaines ; ceci est d'autant plus vrai aujourd'hui qu'à partir du moment où la question de la répartition supplante celle de la production, le plus cesse d'être le mieux et apparaît la question du « pourquoi » : la rationalité économique se déplace du champ instrumental à celui de finalités.

Il ne s'agit donc pas de substituer un réductionnisme (énergéticien) à un autre (mécaniste), mais - bien au-delà de la seule thermodynamique - de contribuer à définir les bases d'une véritable économie qui ne saurait être qu'une *bioéconomie*, c'est-à-dire une science transdisciplinaire.

II - Quelle thermodynamique ?

Un système peut être « ouvert » lorsqu'il échange avec son environnement ou, dans le cas contraire « fermé ». Encore faut-il dire sur quoi (la matière ? l'énergie ? l'information ?): la Terre est un système fermé sur la matière (échanges infimes avec l'univers : quelques météorites) et ouvert sur l'énergie solaire dont le rayonnement la traverse tous les jours.

En 1971, Nicholas Georgescu-Roegen, rattache explicitement sa conception du développement économique à la thermodynamique des systèmes clos de Carnot.

Son livre fondamental *The entropy law and the economic process* effectue la percée décisive consistant à insérer le développement économique dans le flux énergétique de la biosphère.

« *Le processus économique – dit-il - n'est qu'une extension de l'évolution biologique et, par conséquent, les problèmes les plus importants de l'économie doivent être envisagés sous cet angle* ». En conséquence, « *la thermodynamique et la biologie sont les flambeaux indispensables pour éclairer le processus économique (...) la thermodynamique parce qu'elle nous démontre que les ressources naturelles s'épuisent irrévocablement, la biologie parce qu'elle nous révèle la vraie nature du processus économique* ».

Il illustre sa conception thermodynamique par l'exemple du système clos que constitue un sablier : la quantité totale de matière-énergie à l'intérieur du sablier ne change pas, mais la quantité qui s'est écoulée mesure ce que l'on appelle « l'entropie du système » (« dégradation », car à mesure que le sable passe d'un compartiment à l'autre, ce système voit disparaître sa capacité à faire ce pour quoi il a été conçu ; mesurer le temps). Selon NGR, la Terre n'échangeant pas de matière avec le reste de l'univers est un système clos parce que, nous dit-il, la dégradation de l'énergie s'étend à la matière : quand le charbon brûle, l'énergie se dissipe et « *la matière se dissipe aussi, de sorte qu'elles (...) ne peuvent être utilisées qu'une seule fois* ». Aucun système humain ne pouvant avoir un rendement de 100%, toute transformation du milieu naturel s'accompagne d'une dégradation irréversible des ressources ; une activité industrielle sans pollution est une impossibilité absolue ; aucun recyclage intégral ne peut se concevoir ; il n'y a pas de ressource *renouvelable*.

La réflexion de NGR constitue une percée décisive appelée à faire date. Cependant, elle se heurte aux deux limites d'une thermodynamique de Carnot dont les lois ne concernent que les systèmes « clos » et d'une biologie dont elle indique les voies sans en franchir le seuil. Deux limites que je me suis efforcé de dépasser, notamment dans *L'Economique et le vivant*, (Payot 1979, 2^e ed. Economica 1996).

La Terre est un système ouvert sur l'énergie solaire qui la traverse.

Elle dégrade son énergie selon les lois de Carnot, mais un apport extérieur permet de compenser partiellement, totalement, ou de surcompenser (entropie négative : néguentropie) l'entropie du système. Carnot n'est pas infirmé, mais au contraire vérifié comme un cas particulier dans un ensemble d'hypothèses : celui où la valeur des échanges avec l'extérieur est égale à zéro.

La thermodynamique des systèmes ouverts permet de comprendre les deux caractéristiques essentielles de la vie :

- *maintenir et reproduire sa structure dans le temps dans un monde porté par l'entropie* ; thermodynamique des « états stationnaires de non équilibre » de Shrödinger (*What is life ?* 1944) dans laquelle l'apport extérieur d'énergie compense exactement l'entropie interne du système ; on parle de « non équilibre », car les différences de potentiel internes qui permettent son fonctionnement, se conservent dans le temps ;

- *évoluer en se complexifiant*, la thermodynamique des *structures dissipatives* de Prigogine (La thermodynamique de la vie, *La Recherche* juin 1972 ; *La Nouvelle alliance*, Gallimard 1979, avec Isabelle Stengers) montre qu'un apport énergétique extérieur suffisant peut accroître la complexité d'un système : exemple des « tourbillons de Bénard » dans lequel le réchauffement d'un liquide huileux (dépendance énergétique : entropie) crée un phénomène de structuration en cellules hexagonales (complexification : néguentropie). Tout système vivant (organisme ou écosystème) est une structure dissipative éloignée de l'équilibre entropique, et capable – grâce à ses échanges avec l'extérieur – de croître et de se complexifier.

Le rayonnement solaire (dégradation pour celui-ci) représente, pour notre planète, un apport d'énergie qui anime les grands cycles naturels, fait pousser la plante et permet l'évolution complexifiante de la vie (création). Processus de « destruction créatrice ». G-R connaît bien les travaux de Prigogine, mais il leur oppose sa « loi de dégradation de la matière » indissociable de celle de l'énergie. C'est oublier que cette indissociabilité s'exerce aussi dans le sens de la reconstruction : l'entropie ne « détruit » pas la matière mais son organisation et c'est bien de l'organisation matérielle que reconstituent les cycles biogéochimiques. La plante qui pousse remplace la plante coupée.

Ce sont là des caractéristiques locales et temporaires, subordonnées à l'ouverture du système. Elles ne contredisent en rien le fait qu'au niveau du système solaire, l'entropie l'emporte à mesure que l'astre central s'éteint ; mais à cela l'humanité ne peut rien : la responsabilité de chaque génération se limite à la gestion du patrimoine terrestre pendant sa propre existence.

III - Conséquences pour le développement économique.

Notons tout d'abord, qu'il n'est pas de développement possible d'un système sans ouverture. Aussi longtemps que les économistes entendront traiter des questions de développement à partir des seules variables internes aux systèmes économiques, ils ne pourront que se heurter à des impossibilités. Tout développement passe par un apport énergétique extérieur permettant de surcompenser l'entropie interne d'un système.

La thermodynamique des systèmes clos implique l'impossibilité de tout développement (durable).

Toute transformation humaine ne peut qu'accélérer la dégradation des milieux naturels. Sur cette base – que l'on contestera - NGR propose un ensemble de mesures avec lesquelles on ne peut qu'être d'accord.

Au plan économique, « *les ressources in situ et la pollution irrémédiable n'ont pas de coût pour savoir ce qu'on doit payer. Des taxes (...) favorisent ceux qui peuvent les payer. L'ineptie d'une telle politique bioéconomique saute aux yeux.* » On n'échappera pas à des interventions directes. « *Dans toute situation où les ressources deviennent de plus en plus rares, une sage politique consiste à agir en premier lieu sur la demande* » et sur les gaspillages : « *aujourd'hui nous forgeons des socs de charrue qui appartiennent à des générations futures, en « épées » présentes capables d'anéantir toute vie sur cette planète* ». Les ressources doivent être mondialisées. Mais G-R souligne surtout la nécessité de privilégier *l'énergie solaire*. La seule quantité qui parvient sur le sol représente « *plus de dix mille fois l'énergie totale consommée dans le même temps dans le monde entier* » ; or le soleil brillera encore 5 milliards d'années et il ne pollue pas: « *l'énergie solaire reste le seul bien qui peut être considéré comme un bien libre* ». L'état d'extrême dispersion dans lequel elle atteint la planète, appelle un effort onéreux de concentration ne dépassant certainement pas les capacités humaines.

Mais sa conclusion relève d'un fatalisme dont les fondements peuvent être contestés. Au total l'entropie, selon NGR l'emporte toujours. ne croit pas en la possibilité de surmonter les problèmes qui en découlent. La défense de l'environnement relève d'un combat en retraite perdu d'avance dont on ne peut que différer les échéances.

La thermodynamique des systèmes ouverts laisse entrevoir la perspective d'un développement qui n'accélère pas l'entropie sur notre planète.

A condition évidemment que soient respectées des contraintes strictes :

- les unes relatives aux ressources renouvelables qui ne s'épuisent pas aussi longtemps que les prélèvements dont elles font l'objet se tiennent dans les limites de leurs flux naturels de reconstitution ;
- les autres relatives aux ressources épuisables qui ne se reconstituent pas dans les temps de la gestion humaine et que les prélèvements font donc disparaître. Mais toute l'histoire économique est faite de la relève des ressources qui s'épuisent, par d'autres qui les remplacent : ainsi, la grave crise du bois au XVIII^e siècle a été dépassée par l'adoption du charbon comme force motrice principale ; la question de la durabilité est donc ici celle d'une substitution, en temps utile, des ressources qui s'épuisent par de nouvelles ressources.

La partie n'est ni gagnée ni perdue d'avance

- Parmi les facteurs défavorables, la croissance démographique mondiale qui, en dépit de la « transition » n'a pas fini de faire sentir ses effets, et le démarrage actuel de grandes nations à bas niveau de revenu (l'Inde, la Chine, le Brésil...) – plus tard, celui des zones du monde les plus attardées - dont le développement devra nécessairement passer par une phase initiale à forte composante matérielle et énergétique ;

- Parmi les facteurs favorables le fait qu'avec l'expérience les économies apprennent à produire chaque unité des mêmes biens (l'automobile, le logement etc...) avec moins de matière et d'énergie.

Le fait que les nations à démarrage tardif bénéficient des effets d'apprentissage de celles qui les ont précédées et que le profil leurs courbes d'intensité énergétique dans le temps, se situe à un niveau inférieur à celles-ci.

Le fait que les grands scénarios énergétiques (« end use technologies » de Goldenberg ou « Noé » de Benjamin Dessus et Pharabod) laissent entrevoir la possibilité d'un développement mondial incluant la disparition progressive des écarts entre nations, qui serait compatible avec une stabilisation des consommations énergétiques dans le monde.

Le fait que la mutation technique contemporaine déplace les productions et les forces motrices du développement vers l'immatériel.

Tout cela repose sur la mise en œuvre de nouveaux moyens et de nouvelles énergies : autrement dit, sur le progrès des connaissances plus que sur une évolution régressive des économies.

Les adeptes de *la décroissance* s'inscrivent à contre-courant de ce dépassement. Leur message n'est pas clair, car ils parlent de concepts non définis : par « décroissance », tantôt ils signifient « économie de moyens » - notamment énergétiques et matériels - élimination des gaspillages, diminution des consommations en biens intermédiaires, accompagnée de « *décroissances sélectives* » de certaines productions et ils ne font alors que détourner les mots de leur sens (car, si la « croissance » est l'augmentation du produit national, la « décroissance » ne saurait être que sa régression), pour s'approprier une remise en cause de « la croissance pour la croissance » qui ne les a pas attendus ; tantôt ils visent une véritable décroissance des productions finales : alors ils oublient les nations les moins développées dont le développement passe encore par la voie matérielle et, les plus modérés d'entre eux, qui nous proposent un taux de *décroissance soutenable* de l'ordre de 2% par an pendant 40 ans, semblent ignorer que cela représente une baisse totale de 55,5% des consommations finales sur la période ; peuvent-ils y croire vraiment ? C'est, en fait, le dépassement qui s'inscrit dans la logique de la vie : dépassement à la fois par l'intensification de la recherche publique et par la mise en place d'un autre modèle de développement.

Un seul mot pour dire que la logique de tout système étant le résultat d'un arbitrage entre les forces qui la dominent, ce n'est pas dans le cadre actuel d'une économie dominée par les puissances financières que la question pourra être résolue.