



**JEAN-CLAUDE DEBEIR
JEAN-PAUL DELÉAGE
DANIEL HÉMERY**

**UNE
HISTOIRE
DE
L'ÉNERGIE**

Flammarion | NBS

Extrait de la publication

UNE HISTOIRE DE L'ÉNERGIE

Jean-Claude Debeir
Jean-Paul Deléage
Daniel Hémery

UNE HISTOIRE DE L'ÉNERGIE

Les servitudes de la puissance

Édition revue et augmentée 2013

Flammarion

« Le ciel a ses raisons, la Terre a ses ressources, l'homme a son ordre politique, formant ainsi avec les deux premiers une triade. Mais il fait erreur s'il ne respecte pas les fondements de cette triade en empiétant sur les deux autres. »

Xunzi, 17 (III^e siècle avant notre ère)

© Flammarion, 1986.
© Flammarion, 2013, pour la présente édition.
ISBN : 978-2-0812-9361-8

Avant-propos

L'ÉNERGIE, LA CRISE

1973, 1979 : un, deux « chocs » pétroliers ; 1974 : la crise économique, relativement brève il est vrai ; 1986 : le troisième choc pétrolier, à l'envers cette fois... et Tchernobyl ; 2008 : à nouveau la crise économique mondiale, et 2011 : Fukushima. Une nouvelle situation de chaos s'est installée à l'échelle planétaire. Pour la première fois, une « grande crise » – du type de celles qui, dans le passé, ont bouleversé en profondeur le capitalisme, comme la Grande Dépression (1873-1895) et la crise de 1929 – s'est ouverte en synchronisme avec une brusque déstabilisation des structures énergétiques des sociétés industrialisées, à laquelle s'ajoutent les prémisses d'une crise climatique sans précédent par le réchauffement rapide de la planète. Cette conjonction est une donnée neuve. Au point que l'on a voulu voir dans la crise pétrolière, hier, l'origine de la dépression économique internationale qui a suivi. La réflexion sur les problèmes de l'énergie, amorcée entre 1973 et 1980, piétine et se répète. À aucun moment elle ne s'est vraiment affranchie de modes d'analyse réducteurs, qu'ils soient purement techniques, économiques ou écologiques.

Ce synchronisme doit être pensé non pas à la manière d'un schéma explicatif, mais comme un tournant historique de première importance. Il suggère que toutes les « sorties de crise » dont les milieux dirigeants des grands États s'efforcent de trouver les voies ne pourront échapper aux effets contraignants du facteur énergétique. C'est ainsi que, depuis les années 1980, les balances des paiements courants de la plupart des pays industriels, qui

étaient restées bénéficiaires depuis le milieu du XIX^e siècle, excepté pendant les périodes de guerre et de reconstruction, sont devenues déficitaires et sont entrées dans une ère d'endettement – les plus fragiles depuis 1973, d'autres lors du second choc pétrolier de 1979 et toutes depuis 2004 –, principalement sous l'effet de la hausse du coût de leurs importations d'énergie. Cela a eu pour effet d'imposer un rééquilibrage drastique de leurs balances commerciales, finalement au détriment des consommations intérieures ou, si celles-ci ont été maintenues, ce fut au prix d'une déséparagne ou d'un endettement croissant.

La crise énergétique n'a rien de passager. Même si, de 1981 à 1986, les prix du pétrole, après s'être stabilisés, se sont effondrés, la menace d'une rupture des approvisionnements en énergie du monde occidental reste présente, d'autant que depuis 2000 l'essor de la demande et la multiplication des conflits au Moyen-Orient sont de puissants facteurs de hausse. À vrai dire, plus que d'une crise il s'agit d'une détérioration à long terme des fondements énergétiques de l'économie mondiale, dont la crise pétrolière de la décennie 1970-1980 n'aura été que le prologue. Dans le long terme, la détermination énergétique ne cessera de peser, directement ou indirectement, sur le mouvement de la production et des échanges, d'orienter les grands choix technologiques, d'infléchir les options politiques. La somme des enjeux qu'elle représente pour les sociétés industrialisées est, de toute évidence, incalculable. Elle constitue nécessairement l'objet immédiat de toute réflexion sur l'énergie. Mais elle n'a guère de signification si on l'isole de la situation énergétique des pays émergents et des pays du Sud. Situation rien de moins qu'alarmante, qui apparaît, si l'on va au-delà de la foi naïve dans les miracles de la science, sans issue à court et même à moyen terme : c'est bien lorsqu'on l'envisage depuis son versant « sud » que la crise énergétique prend des allures de catastrophe.

Comment la comprendre aussi si l'on ne la rapporte pas aux divers modes de fonctionnement énergétique des sociétés du passé, si l'on ne tente pas de repérer dans l'histoire les solutions logiques que les groupes humains ont sans cesse inventées ou réinventées pour assurer les conditions énergétiques de leur survie ou de leur croissance ? Ce n'est que par la connaissance et

la compréhension du processus historique de longue durée, qui a débouché sur la double crise de l'énergie aujourd'hui, celle des sociétés industrialisées, celle des sociétés du Sud, qu'il devient possible de cerner l'éventail des choix réels. Mais une telle démarche n'est elle-même envisageable que si l'on dispose d'un certain nombre d'hypothèses, d'instruments d'analyse. Pour le moment, ces instruments n'existent guère. L'énergie reste un impensé historique. Si la pléthore et le gaspillage structurel dans les sociétés des pays industrialisés et des pays émergents ont pour condition le dénuement énergétique généralisé dans les pays du Sud, la richesse pétrolière et électrique de nos sociétés a pour contrepartie la pauvreté des représentations de sa genèse et de son devenir.

*
* *

Depuis la formation de la pensée scientifique, en particulier depuis l'introduction de la notion d'énergie par le physicien anglais Young, au début du XIX^e siècle, et depuis l'avènement de la thermodynamique, une image s'est peu à peu imposée : l'énergie n'est qu'une réalité physique maîtrisable par des procédés techniques selon une logique purement économique. C'est l'étude de plus en plus spécialisée de ces procédés et de cette logique – machines, capitaux, organisation du travail, réseaux de l'échange – qui a pris le dessus dans la réflexion sur l'énergie. Celle-ci a été pensée comme un donné brut, implicitement considéré comme neutre, illimité, inépuisable comme l'air que nous respirons, dépourvu d'incidence particulière sur le devenir social, subordonné au contraire à ce dernier, dominable à volonté. Pour les sciences humaines, l'énergie n'existe pas comme objet spécifique de connaissance, elle n'est abordée que dans la perspective de la croissance économique.

Le rétrécissement de l'optique des marxistes depuis l'époque du *Capital* est, à cet égard, typique et contraste avec l'ampleur de la problématique initiale de Marx. Ce dernier pose, en effet, les prémisses d'une réflexion systématique sur les échanges entre l'homme et la nature, au centre desquels il y a l'énergie, et l'on

n'a toujours pas dépassé l'élaboration qu'il propose dès 1857 de la notion de production : « Toute production est appropriation de la nature par l'individu au sein d'une forme sociale déterminée par le truchement de celle-ci ¹. » Pour lui, la production se situe à la jointure d'un double faisceau de relations : le système des rapports entre la société et la nature, le système des rapports internes à la société, dont les plus déterminants sont les rapports de production qui régissent l'organisation sociale des rapports société/nature. Marx conçoit également dans *Le Capital* la logique de la destruction tendancielle de l'environnement par le mode de production capitaliste, lequel lui apparaît tout autant mode de destruction que mode de production, idée que développera Schumpeter vers 1940. Avec Engels, il s'interroge sur l'incidence des déterminations physiques dans la production du surproduit. Tous deux affirment à maintes reprises, sous l'influence des conceptions de la thermodynamique, la nature énergétique de tout acte productif. Ils développent une conception complexe de la révolution industrielle, dans laquelle s'entrecroisent, outre ses dimensions sociales, à la fois l'invention de la machine-outil et celle d'un nouveau type de moteurs. Pour eux, société et nature forment une totalité indissociable, la nature étant l'objet des processus de travail.

Pourtant, dans *Le Capital*, Marx abandonne très vite cette approche si stimulante pour privilégier l'analyse des deux autres éléments du processus, le capital et le travail. Dans cette optique plus limitée, l'énergie n'est rien d'autre qu'un condensé de ces deux éléments.

Quant à la réflexion de ses continuateurs, elle s'est développée historiquement selon la même pente, dans le sens d'une élucidation des mécanismes sociaux de la reproduction du capital et de ses mécanismes politiques, notamment de l'impérialisme, ce qui, d'ailleurs, représente un apport certain pour l'analyse des phénomènes énergétiques. On a perdu la piste qu'ouvrait le concept de totalité société/nature, celle d'une réflexion féconde sur

1. MARX K., *Fondements de la critique de l'économie politique (Grundrisse der Kritik der Politischen Ökonomie, 1857-1858)*, trad. R. Dangeville, Paris, Anthropos, 1967, t. I, p. 16.

l'emboîtement des rapports sociaux de production et de la biosphère, sur le jeu réciproque des déterminants naturels et des déterminants sociaux. Cette virtualité du marxisme de Marx est restée inexplorée. Marx lui-même, d'ailleurs, a largement contribué à orienter dans cette voie les prolongements de son œuvre théorique en affirmant – dès les *Grundrisse* de 1857-1858 – que le capitalisme n'a que des limites internes et qu'il est en mesure de s'affranchir des déterminations naturelles.

Dès lors, le rapport société/nature n'a plus été envisagé que dans le cadre d'une théorie purement économique, celle de la rente foncière. Pour la plupart des marxistes, les problèmes énergétiques ne seront désormais conçus que comme des processus de production et d'échange qui, dans un contexte d'abondance des ressources, relèvent de la notion de force productive, laquelle n'a été utilisée le plus souvent que de manière rhétorique et constitue aujourd'hui l'un des principaux points aveugles de la pensée marxiste. Cette longue dérive a conduit à la conviction irraisonnée de l'abolition prochaine des contraintes naturelles, principale caractéristique idéologique du mouvement scientifique aux XIX^e et XX^e siècles, dont les divers marxismes ont été de par le monde les principaux vecteurs. Le scientisme aura été – mais pouvait-il en être autrement dans le contexte idéologique de l'époque ? – leur commune maladie infantile. Certes, il n'est pas question dans ce livre de sacrifier à l'antimarxisme, lieu commun, aujourd'hui répandu sous l'influence d'un néo-libéralisme dominant qui, bien que sinistré par ses nombreux échecs, exerce encore par effet d'inertie un magistère sur de nombreux intellectuels. Car, sans l'apport théorique de Marx et de quelques-uns de ses continuateurs, on ne peut pas penser le fonctionnement énergétique des différentes formations économiques-sociales. Mais, à cette fin, on ne peut pas non plus se satisfaire de l'état de non-développement actuel de la réflexion marxiste. D'autant que ce non-développement a ouvert la voie aux théories qui, à l'inverse, font de l'énergie l'*ultima ratio* de l'histoire humaine et de l'écologie le critère unique d'une critique radicale des sociétés industrialisées, la clé du passage à une hypothétique société postindustrielle, fondée sur les industries de l'information, ce nouveau mythe d'un temps de crise. Le concept d'éner-

gie est, en effet, le concept central de l'analyse de nombreux écologistes, de Howard T. Odum par exemple¹, qui conçoivent les mécanismes sociaux en termes de flux énergétiques.

Le principal intérêt de cette approche est de permettre la comparaison entre plusieurs filières techniques du point de vue de leurs coûts énergétiques : elle a effectivement démontré que, dans les sociétés industrialisées, le rendement est pour l'instant délibérément sacrifié à la puissance. Mais, quelque novatrice que soit la méthode, elle ne suffit pas à rendre compte des conditions sociales des choix techniques effectués et, surtout, elle aboutit dans sa version dogmatique à réduire l'histoire humaine au simple jeu de lois énergétiques. Le concept d'énergie sert ici de substrat indifférencié, de notion universelle permettant une interprétation cosmique de la réalité sociale. La thermodynamique remplace la mécanique comme fondement d'une nouvelle vision du monde. Mais l'essence de la démarche demeure inchangée : il s'agit d'une tentative de mise en équation de l'univers, dont chaque élément est ramené à une commune unité énergétique. En établissant des bilans précis, on peut certes dégager quelques grandes caractéristiques des mécanismes d'utilisation de l'énergie dans les sociétés contemporaines : de ce point de vue, l'analyse énergétique est un outil irremplaçable pour une bonne gestion des ressources naturelles. Mais l'analyse des systèmes telle que l'ont pratiquée H.T. Odum et, à sa suite, de nombreux écologistes, biologistes et thermodynamiciens, tend à réduire la société à un ensemble de producteurs, transformateurs, conducteurs, réservoirs de calories : on revient à une conception du monde qui substitue au « matérialisme économiste », qui s'est lui-même construit au XIX^e siècle sur le modèle de la mécanique rationnelle, un « matérialisme énergétique ». À partir de tels modèles, la recherche d'alternatives sociales se résout en recherche d'alternatives énergétiques. Et, faute d'une vision critique de la société, faute d'une analyse des forces qui s'y affrontent, le grand projet d'une conception totale de la société fondée sur l'éco-énergétique devient une simple ingénierie de l'environnement².

1. ODUM H.T., *Environment, Power and Society*, New York, Wiley Interscience, 1971.

2. BOOKCHIN M., *Pour une société écologique*, trad. H. Arnold et D. Blanchard, Paris, C. Bourgeois, 1976.

Les écologistes ont raison lorsqu'ils dénoncent le caractère irréversible de la destruction de la biosphère. Ils ont tort, à coup sûr, de croire que la crise sera tranchée par un simple programme de survie écologique. C'est à ce niveau que se situe la limite véritable des modèles énergétiques de la société qu'ils défendent, qui se réduisent trop souvent à une simple gestion plus rationnelle des flux d'énergie. Une des rares exceptions à ce réductionnisme énergétique est constituée par les travaux de Barry Commoner¹. Ce dernier a su mettre en évidence, dès 1976, les relations entre différents niveaux de ce qu'il est convenu d'appeler la crise de l'énergie, sans négliger le moment socio-économique de l'analyse, confirmant l'approche de Marx selon laquelle la société capitaliste est incapable de réconcilier l'homme avec l'homme et l'homme avec la nature : « Un enchaînement aveugle et irraisonné [...] à concentrer la force physique de l'énergie et le pouvoir social découlant de la richesse qu'elle procure entre un petit nombre de sociétés [...], dont la puissance a alimenté chômage et pauvreté, voilà le vice foncier qui a engendré la crise de l'environnement et de l'énergie et qui menace de nous engloutir sous les débris d'un système économique chance-lant². »

L'acuité de la crise écologique rend urgent l'avènement d'une société où les choix productifs seraient fonction de la valeur d'usage réelle des produits et non plus déterminés par l'implacable logique du profit pour une accumulation matérielle de plus en plus gaspilleuse d'énergie. Les écologistes ont sans aucun doute raison de souligner la contradiction entre la destruction accélérée des stocks d'énergie engendrée par cette croissance et la finitude de la biosphère. Mais ils doivent aussi se rendre à cette évidence : pas plus qu'il n'y a de rêverie possible à l'encontre des lois de l'écologie et de la thermodynamique il n'y a de rêverie possible à rencontre des contraintes sociales et historiques.

*
* *

1. COMMONER B., *La Pauvreté du pouvoir* (1976), trad. J. Bernard, Paris, PUF, 1980.

2. *Ibid.*, p. 176.

Le succès de ces deux types de démarches, les versions économi-
nistes ou étroitement politiques du marxisme et les lectures éco-
logistes de la crise, s'explique au fond par leur complémentarité
et par l'identité profonde de la logique qui les sous-tend. Toutes
deux consistent à faire d'un facteur, le capital, la marchandise ou
l'énergie, la référence unique qui permet de rendre compte de la
dynamique des sociétés. Toutes deux s'interdisent de comprendre
cette dynamique complexe et contradictoire, et, en conséquence,
d'avoir prise sur elle.

L'ambition du présent travail est de dépasser les limites
actuelles des différentes approches de la crise de l'énergie. L'une
des moindres n'est pas la prolifération des recherches empiriques,
de plus en plus parcellaires, prisonnières de la tendance « lourde »
de la recherche actuelle, historique notamment – l'accumula-
tion indéfinie de résultats –, et qui se refusent à envisager la
totalité, à mettre la crise énergétique en perspective historique.
Celle-ci constitue pourtant le seul choix méthodologique qui
puisse fonder solidement l'analyse du rapport des sociétés à
l'énergie.

Ce choix conduit à tenter d'évaluer un certain nombre de
structures énergétiques, celles de l'Antiquité occidentale et de
l'Europe médiévale, de la Chine impériale, des sociétés industria-
lisées d'Europe et d'Amérique, avant d'aborder les aspects essen-
tiels de la crise actuelle de l'énergie : crise pétrolière, rupture des
systèmes énergétiques du Sud, contradictions de la filière
nucléaire. Quatre hypothèses ordonnent cette réflexion :

— médiation la plus contraignante, mais non la seule, du
rapport de l'homme à la nature, l'énergie est la condition fonda-
mentale de l'existence des groupes humains ;

— la mobilisation des énergies s'organise au sein de systèmes
dont les dimensions sont à la fois sociales, techniques, politiques,
mentales, etc. : les systèmes énergétiques ;

— l'ensemble des systèmes énergétiques est aujourd'hui en
voie de détérioration, l'un des enjeux cruciaux du futur est la
recherche des voies d'une transition, d'une substitution
énergétique ;

— cette transition ne peut se réduire à de simples développe-
ments techniques, à la mise au point de filières énergétiques nou-

velles. Elle implique nécessairement la mutation d'ensemble des sociétés à l'échelle du monde. Quels que puissent être sa durée et son rythme, cette mutation sera globale. Jusqu'à présent, aucune révolution n'a réellement ou durablement remis en question les fondements matériels de l'organisation sociale. Ceux-ci ne sauraient d'ailleurs être modifiés par décret. Pourtant, aucune alternative sociale n'est plus désormais concevable qui n'implique la mise en place d'un nouveau système énergétique.

Cet essai tente de répondre à la nécessité d'appréhender de façon systématique l'un des défis majeurs de notre temps. Il compte d'inévitables lacunes. Il faut souhaiter que les défauts de cet ouvrage seront relevés et réparés par les spécialistes, auxquels il doit beaucoup, des différents domaines concernés et, aussi, que ces derniers entreprendront enfin de s'attaquer à ce qu'ils négligent de plus en plus par ces temps d'émiettement des savoirs et d'éclatement des pratiques : l'inconfortable mais indispensable travail de synthèse, étape difficile, mais sans laquelle il n'est pas de connaissance ni d'innovation sociale. Aujourd'hui plus que jamais, le vrai est dans le tout...

ÉNERGIE ET SOCIÉTÉS

I. Régulations écologiques et régulations sociales

Les relations entre les sociétés humaines et la biosphère ne peuvent se réduire à leur dimension économique ni même à leur dimension sociale, car elles concernent aussi le mode de vie particulier de l'humanité en tant qu'espèce biologique. Cela signifie qu'aucune espèce, pas même l'espèce humaine, ne peut échapper aux lois des sciences de la nature. Les activités humaines telles qu'elles sont analysées par l'économie (production, échange, consommation...) ne constituent qu'une première sphère, qui obéit à ses propres régulations (dans la société capitaliste : le marché, les prix...), incluse elle-même dans une sphère sociale plus large (la société civile, l'État, les idéologies...). Mais cette première sphère s'ouvre à son tour sur l'univers plus large de la matière inanimée et vivante, qui l'englobe et la dépasse. Ces trois sphères, celle des modes de production, celle de la formation sociale et celle de la biosphère, rendent compte de l'ensemble des activités humaines.

Ce constat conduit aux remarques suivantes, triviales et néanmoins lourdes de conséquences¹ : les activités économiques n'ont de sens que dans la sphère sociale ; la reproduction et la régulation de chacune des trois sphères passent par celles des deux autres ; si les relations entre ces trois sphères sont d'inclu-

1. PASSET R., *L'Économique et le Vivant*, Paris, Payot, 1979.

sion, on peut affirmer que les éléments de la sphère économique appartiennent à la biosphère et obéissent à ses lois, mais que tous les éléments de la biosphère n'appartiennent pas à la sphère de l'économie et ne se plient pas à ses régulations. Pour cette dernière raison, conférer un caractère déterminant en dernière instance à l'économie a pour effet de soumettre la société, les hommes et la nature à un déterminisme qui ne saurait être leur loi commune : dans cette perspective, la biosphère, qui a ses propres régulations, se trouve de ce fait placée sous la dépendance de l'un de ses sous-systèmes.

Aussi longtemps que les activités économiques n'ont fait qu'égratigner la biosphère, le non-respect des relations d'inclusion n'a pas eu de conséquences trop graves, car le monde vivant « absorbait » sans difficulté les interventions humaines, encore que certains phénomènes historiques d'importance puissent sans aucun doute être reliés à une pression trop forte des activités humaines sur les écosystèmes. Ainsi, le surpâturage des steppes de l'Asie centrale n'a-t-il pas été l'un des facteurs d'un désastre écologique qui expliquerait au moins partiellement les phénomènes migratoires séculaires vers l'Europe ? Ou les vastes déboisements qui ont précédé la révolution industrielle – alors que le bois était un matériau essentiel exploité comme seule source d'énergie thermique – n'ont-ils pas conduit le monde occidental vers une crise qui a débouché sur le développement rapide de l'extraction du charbon et sur l'invention de la machine à vapeur ? Que dire d'aujourd'hui, où les répercussions des activités humaines mettent en jeu la reproduction même des écosystèmes qui les portent ? Cette situation d'interdépendance des trois sphères nécessite impérativement de prendre en compte simultanément des régulations économiques et sociales ainsi que des régulations écologiques. Ce qui ne signifie pas qu'il faille chausser des lunettes éclectiques pour voir apparaître le monde sous la forme d'une mosaïque sans structure. Au contraire, une réflexion approfondie sur le rôle de l'énergie dans l'histoire des sociétés humaines peut remettre de l'ordre dans notre vision de ces trois sphères et dans la compréhension de la place qu'occupe l'énergie face au défi majeur auquel est aujourd'hui confrontée l'humanité.

II. La place de l'énergie dans ces régulations

Les physiciens furent les premiers à avoir donné une définition scientifique au concept d'énergie. Cette notion a été élaborée au XVIII^e siècle à partir de celle de travail mécanique. Son extension à la chaleur date du XIX^e siècle. D'une façon très générale, on peut définir l'énergie comme « ce qu'il faut fournir ou enlever à un système matériel pour le transformer ou le déplacer ¹ ». Cette définition suppose dans son principe la possibilité de comparer entre elles toutes les transformations possibles de tous les systèmes possibles. On peut prendre l'une d'elles pour étalon et l'utiliser comme unité de mesure. Le mouvement mécanique, le rayonnement, la chaleur, entre autres, apparaissent bien comme des formes différentes d'un même phénomène, l'énergie, mesurée avec une unité commune (la calorie, le joule, la tep, etc.). Cette équivalence est exprimée au milieu du XIX^e siècle par le premier principe de la thermodynamique, selon lequel l'énergie ne peut être ni créée ni détruite. Lorsqu'on transforme de l'énergie en vue d'une utilisation précise, on utilise un *convertisseur* ; par exemple, une centrale thermique transforme en électricité l'énergie chimique stockée dans le charbon ou le fuel ; un moteur transforme cette électricité en énergie mécanique. La quantité d'énergie finale est toujours inférieure à la quantité d'énergie brute de départ. Ainsi, le rendement du convertisseur, rapport entre ces deux quantités, énergie finale et énergie initiale, est toujours un nombre inférieur à 1. Ce résultat a été formulé pour la première fois par Carnot dans son mémoire de 1824 ². Sa réflexion part de l'observation du très bas rendement des machines à vapeur construites à l'époque ³ pour démontrer que

1. BIENVENU C., *Vous avez dit énergie ?*, Paris, Sofedir, 1981.

2. CARNOT S., *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* (1824), Paris, A. Blanchard, 1953.

3. « La puissance motrice de la chaleur est indépendante des agents mis en œuvre pour la réaliser ; sa quantité est fixée uniquement par les températures des corps entre lesquels se fait en dernier le transport du calorique » (*ibid.*, p. 38). Précisément, selon le principe de Carnot, le rendement théorique maximal d'une machine thermique est donné par $r = 1 - T_1/T_2$, où T_1 est la température absolue de la source froide, T_2 celle de la source chaude.

ce rendement a une limite théorique indépassable. La portée théorique et pratique de ce principe, le second principe de la thermodynamique, dépasse très largement le domaine des machines à vapeur. Il introduit un concept de *qualité* de l'énergie, une mesure de la capacité d'un système à transformer de la chaleur, considérée comme une forme dégradée de l'énergie en énergie mécanique.

Finalement, la science de l'énergie peut être condensée en ces deux principes : l'énergie d'un système isolé est constante ; en même temps que l'énergie d'un système isolé se dégrade constamment, son entropie augmente. L'énoncé de ces deux principes montre que le problème auquel est confrontée l'humanité n'est pas celui de la conservation de l'énergie, mais celui de la conservation d'une certaine qualité de sa dot énergétique, sa capacité à fournir du travail utile. De ce point de vue, le second principe donne les fondements rationnels d'une « bonne politique » de l'énergie : comment tirer de notre dot énergétique le maximum d'énergie utile, sous forme de travail, de lumière, de nourriture, etc. ? La Terre est un système énergétiquement ouvert. Toute vie procède du Soleil : le rayonnement solaire est capté par les plantes, qui le transforment, par le mécanisme de la photosynthèse, en forêts, prairies, plancton marin, etc. Cette végétation est consommée par les animaux et l'homme, incapables de consommer l'énergie solaire comme le font les plantes. Les concepts énergétiques permettent ainsi de représenter assez simplement le fonctionnement pyramidal d'un écosystème : à la base, les plantes vertes, qui se partagent l'espace disponible pour capter l'énergie solaire et fabriquent leur propre combustible. Elles en consomment une partie ; une autre est prélevée par les animaux (herbivores, insectes) ou les hommes ; le reste se dégrade (poussissement, puis minéralisation par les micro-organismes du sol). La fraction de ce combustible prélevée par les herbivores est ensuite utilisée d'une façon analogue – leurs prédateurs (carnivores) prélevant à leur tour leur propre nourriture – jusqu'au sommet de la chaîne écologique, qui peut être occupé par de grands carnivores ou par l'homme. On trouve donc, à chaque étage de la pyramide, bien des espèces, dont le nombre est réglé par la « niche » propre à chacune d'elles, la niche écolo-

TABLE

<i>Avant-propos. L'énergie, la crise</i>	7
1. Énergie et sociétés	17
2. De la préhistoire aux mondes antiques	41
3. Le modèle énergétique chinois	91
4. Contrainte écologique et innovations mécaniques dans l'Occident médiéval.....	143
5. Révolution de l'énergie et industrialisation européenne	175
6. L'expansion du système énergétique capitaliste : l'âge des réseaux.....	215
7. La fracture énergétique (1973-1985).....	267
8. À la recherche d'une issue : genèse et contraintes du nucléaire	325
9. Un nucléaire très cartésien	367
10. Insoutenabilité et résilience du système énergétique contemporain	419
11. Énergie, écologie, socialisme : une problématique mondiale.....	505
<i>Crédit des illustrations</i>	547
<i>Bibliographie</i>	549
<i>Index des noms propres</i>	567
<i>Index des thèmes</i>	577

Mise en page par Meta-systems
59100 Roubaix

N° d'édition : L.01EHBN000588.N001
Dépôt légal : mars 2013