

LA PRODUCTION D'ÉNERGIE CONDITIONNE LA QUALITÉ DE LA VIE

par M. Jean LANGEVIN (1), Agrégé de l'Université

1. L'énergie, nécessaire à toute production.

L'industrie humaine consiste à produire des changements : de place, pour les transports, de forme, d'état physique ou chimique. Ces changements exigent la fourniture de travail ou de chaleur, c'est-à-dire d'énergie. Nous mesurons cette énergie soit en unités de travail (la plus connue est le kilowattheure, kwh), soit en unités de chaleur (nous prendrons la kilocalorie, kc, quantité de chaleur qui élève d'un degré la température d'un litre d'eau). Pour passer d'une de ces unités à l'autre, il suffit de savoir qu'un kwh équivaut à 835 kc.

Les prix des objets ou des services que nous achetons sont liés à l'énergie dépensée pour les obtenir. Ce n'est pas de l'électricité que nous vend l'E.D.F. L'électricité ne vaut rien, il y en a partout, en quantité énorme dans la moindre parcelle de matière. De plus, personne n'en consomme : elle est indestructible, c'est la loi la plus universelle de la physique. Il en sort de votre appartement exactement autant qu'il en est entré. La quantité d'électricité se mesure en coulombs, dont l'E.D.F. ne vous parle jamais. Ce que vous payez, ce qui figure sur vos factures, ce sont, vous le savez bien, des kilowattheures. C'est le travail, donc l'énergie, dépensée par la centrale pour faire circuler l'électricité chez vous.

De même, le Gaz de France ne vous compte plus son produit en mètres cubes, mais en thermies. Ces thermies, qui valent chacune 1000 kc, mesurent la quantité de chaleur — donc d'énergie — que le gaz consommé a dégagé chez vous en brûlant, si vos brûleurs sont bien réglés.

L'eau ne vaut rien : vous pouvez, sans payer, aller en puiser un seau dans la Seine. Ce qui justifie la note de la compagnie de distribution, c'est l'énergie nécessaire pour amener l'eau chez vous. Quoi que vous achetiez, métal, textile ou nourriture, vous payez d'abord l'énergie dépensée pour élaborer, façonner, transporter la marchandise : l'énergie peut donc être considérée comme une mesure de toute valeur.

(1) Conférence donnée au Cercle Parisien le 15 décembre 1976, sous la présidence de M. Ernest Kahane, remplaçant M. Alfred Sauvy, professeur honoraire au Collège de France.

(carniers laïques n° 160)

Ces remarques banales ont alimenté depuis longtemps des discussions parmi les philosophes, les sociologues et les financiers. Il y a déjà une quarantaine d'années, un industriel enrichi, qui se voulait économiste, a même proposé de prendre, au lieu de l'or, l'énergie pour étalon monétaire, et de libeller les billets de banque, comme les chèques et les factures, en kilowattheures, au lieu de francs, livres, marks ou dollars. Sa proposition n'a pas été suivie, peut-être parce que les physiciens ont parlé de dégradation de l'énergie — mais aurait-elle été la seule monnaie à se dégrader ?

2. Les sources d'énergie, actuelles et latentes.

Cette précieuse énergie, comment l'obtenons-nous ? Elle provient, sur notre planète, de deux sortes de sources, que nous pouvons appeler les unes *actuelles*, les autres *latentes*.

Les énergies actuelles nous sont fournies par les courants, les flux d'énergie qui alimentent naturellement et constamment notre biosphère.

La principale est le flux du rayonnement solaire, qui apporte à la terre une énergie énorme, 9×10^{20} , soit 900 milliards de milliards, de kilocalories par an. C'est ce flux qui entretient toute vie végétale ou animale, et aussi les mouvements des eaux et de l'atmosphère, d'où nous tirons les énergies hydraulique et éolienne, qui sont des énergies actuelles secondaires.

Une autre énergie actuelle nous vient de l'intérieur chaud de la terre : c'est le flux géothermique. Il ne nous apporte que moins de $1/4000$ du flux solaire. Ce que nous pouvons tirer des marées et ce qui nous arrive du rayonnement cosmique, de la lumière des autres astres ou des météorites est encore beaucoup moindre.

Les énergies latentes n'apparaissent à la surface de notre globe que si l'industrie humaine les mobilise. Ce sont : a) l'énergie fossile, que nous tirons du charbon, du pétrole ou du gaz. Elle provient aussi, en majeure partie, du flux solaire, qui y est mis en réserve depuis des centaines de millions d'années ; b) l'énergie nucléaire qui se présente sous deux formes : 1°) L'énergie de fission qui sert dans les centrales à uranium — et aussi pour la bombe A ; 2°) L'énergie de fusion, qui alimente le rayonnement du soleil et des autres étoiles, mais que nous n'avons su, jusqu'à présent, utiliser sur terre que pour la bombe H.

3. Production d'énergie et civilisation.

La civilisation et la production d'énergie se sont développées parallèlement. Il y a un million d'années, notre très lointain ancêtre ne disposait que de l'énergie produite, comme l'a montré Lavoisier, par l'oxydation dans son organisme de sa ration alimentaire, soit environ 2000 kc par jour. L'homme a pu en utiliser au moins 10 fois plus quand il a appris, il y a

quelque 100 000 ans, à allumer un feu de bois mort. Cette première production d'énergie artificielle a déjà beaucoup amélioré ses conditions d'existence en lui procurant chaleur et lumière. L'apparition du foyer a donné l'essor à la vie sociale. Comme ses habitants vivaient alors de chasse et de cueillette, techniques peu productives, la terre entière ne devait guère en nourrir plus d'une dizaine de millions. Puis, il y a environ dix mille ans, nos ancêtres sont devenus cultivateurs et bergers. L'énergie disponible sous forme de nourriture, puis, aussi, de travail animal, a considérablement augmenté. Les famines sont devenues plus rares. La population du globe a dépassé la centaine de millions.

Pendant la période historique — quelques milliers d'années — de grands progrès ont été faits pour mieux utiliser le travail des animaux, et pour construire des machines, moulins et bateaux à voiles, mues par les énergies hydraulique et éolienne. Ces progrès ont conduit à la suppression de l'esclavage.

4. La mobilisation des énergies latentes.

Jusqu'au début du 18^e siècle, on ne faisait guère appel qu'aux sources d'énergie actuelles. C'est seulement après 1700 qu'on a commencé à puiser dans l'immense réservoir des énergies latentes, d'abord en mettant en exploitation les mines de houille. L'extraction massive du charbon de terre a commencé quand il a pu remplacer le charbon de bois pour la métallurgie, grâce à l'invention du coke. Elle monte en flèche, au cours du 18^e siècle, avec l'invention de la machine à vapeur. Elle augmente plus vite encore, au 19^e, lors du développement des chemins de fer, puis, au début du 20^e avec l'électrification. Il y a cinquante ans, le flot du pétrole commence à couler. Enfin, depuis trente ans, nous avons appris à libérer l'énergie nucléaire, et les gigantesques centrales à uranium poussent le long de nos fleuves et, bientôt, le long de nos côtes.

Cet accroissement de plus en plus rapide de notre production d'énergie a permis l'accès à notre civilisation actuelle. Les méthodes agricoles évoluées, avec tracteurs et engrais chimiques, seules capables de fournir les rendements nécessaires pour nourrir 4 milliards d'hommes, sont grandes consommatrices d'énergie, comme le sont aussi notre métallurgie et notre confort moderne : chauffage, éclairage, transports, mécanisation, industrielle et ménagère.

5. Les nuisances.

Les avantages de notre « société de consommation » ne sont malheureusement pas sans contrepartie. Les nuisances de notre industrie, celles en particulier de notre énorme production d'énergie, deviennent inquiétantes. Elles restaient faibles et localisées tant que l'on a fait usage des seules énergies actuelles. Elles s'aggravent et s'étendent depuis la mobilisation des énergies latentes.

Les premiers, et les plus exposés aux dangers sont les travailleurs qui nous fournissent ces énergies. Dans les houillères les mineurs subissent des accidents fréquents : éboulements, coups de poussière, grisou. Plus grave encore est leur terrible maladie professionnelle, la silicose. Leur espérance de vie est inférieure de près de dix ans à la moyenne française. Il faut aussi des mineurs pour extraire l'uranium, et leur travail n'est pas (non plus sans risque. Quoique le danger soit d'une autre nature, le radon qui se dégage du minerai ne vaut guère mieux que le grisou. Même en appliquant toutes les règles de sécurité, le personnel des centrales nucléaires reçoit tout de même une dose de radiation plus forte que les gens des autres métiers.

6. Les pollutions.

Pour l'ensemble de la population, les principales nuisances industrielles sont les pollutions : chimique, radioactive et thermique.

a) *Pollution chimique.* — En 1975, on a brûlé dans le monde environ 2 500 millions de tonnes de houille, ce qui a envoyé dans notre atmosphère :

9 000 millions de tonnes d'anhydride carbonique (CO_2) (la seule modification mesurée de la composition moyenne de l'atmosphère par l'industrie humaine a été l'augmentation du taux de CO_2 , passé en un demi-siècle de 2,8 à 3,3 dix-millièmes, soit un accroissement de 15 % de sa valeur. Actuellement, cette teneur en CO_2 augmenterait, par an, de plus de 1 % de sa valeur). La combustion du charbon produit aussi : 75 millions de tonnes de soufre, à l'état d'anhydride sulfureux, 25 millions de tonnes d'azote, à l'état d'oxydes, 25 millions de tonnes de poussières, 5 de monoxyde de carbone, 2 de carbures d'hydrogène, certains cancérogènes (benzopyrène).

En décembre 1952, à Londres, ces produits de combustion du charbon ont asphyxié 4 000 personnes, et des accidents analogues ont eu lieu en Belgique et dans la Ruhr.

Le pétrole est-il plus ou moins polluant pour l'atmosphère que la houille ? Les avis sont partagés, et cela dépend sans doute des variétés de charbon et de pétrole comparées. En outre, le transport du pétrole et les forages sous-marins sont responsables de la grave pollution des mers par les marées noires.

b) *Pollution radioactive.* — Avec l'énergie nucléaire, le problème se complique. La pollution chimique par les centrales elles-mêmes est négligeable, mais le danger vient de la dispersion, dans l'air ou dans l'eau, de substances radioactives.

Discuter sérieusement ici les inconvénients et les avantages des centrales nucléaires est impossible : nous n'avons ni la place, ni les compétences nécessaires. Malgré de très sérieuses

études, les opinions des spécialistes présentent encore des divergences. Dans le grand public, dès qu'on parle d'atome, chacun pense à la bombe A, à ses terribles effets sur les populations d'Hiroshima et Nagasaki. C'est un catastrophisme absurde. La pile d'une centrale, fût-ce Superphénix, ne peut en aucun cas donner lieu à une explosion de cette sorte. Tous les spécialistes, même les plus pessimistes, sont d'accord sur ce point. Le danger n'est pas là : il vient de la dispersion des éléments radioactifs dans notre milieu, soit au cours du fonctionnement normal des centrales ou des usines annexes, soit, plus massivement, à l'occasion d'accidents.

La radioactivité, toutefois, n'est pas, fort heureusement, incompatible avec la vie. Si Becquerel ne l'a découverte qu'en 1896, elle n'en existe pas moins depuis toujours. Notre espèce s'est développée en respirant de l'air radioactif, en buvant de l'eau radioactive, en mangeant des aliments radioactifs. Notre corps lui-même est normalement radioactif. Certes, la radioactivité de notre environnement est à surveiller attentivement, car son accroissement présente des dangers. Les centrales nucléaires doivent faire l'objet d'un contrôle sévère, ce qui est, heureusement facile : les appareils pour détecter les rayonnements sont sensibles et précis. Actuellement, ces centrales font, à production égale, moins de dégâts que d'autres engins générateurs d'énergie mécanique ou thermique. L'automobile cause chez nous plus de 15 000 morts inutiles chaque année, le gaz ou les poêles à charbon asphyxient trois personnes par jour, et nul ne parle d'y renoncer.

On n'a rien sans risque. Refuser a priori une source d'énergie utile serait déraisonnable. N'oublions pourtant pas que la première centrale nucléaire n'a guère que 25 ans — c'est bien jeune ! Malgré de grands progrès, cette technique reste encore au stade expérimental, et en pleine évolution. Il convient de rester modestes, d'avancer à pas comptés et, surtout, de ne jamais sacrifier la sécurité à la rentabilité, à l'avidité de puissantes sociétés multinationales.

On donne, pour se moquer des prudents, l'exemple des chemins de fer, et de la crainte exagérée des tunnels. Il est pourtant exact que les tunnels présentent certains dangers, que des accidents, récemment encore, s'y sont produits. Nos arrière-grands-parents ont opéré sagement. Ils ont commencé par des tunnels courts, vers 1830, puis ont attendu que les techniques progressent, celle de la construction comme celle de la ventilation. C'est seulement en 1906, après plus de trois-quarts de siècle d'expérience, qu'ils ont percé le premier grand tunnel sous les Alpes, le Simplon.

c) *Pollution thermique.* — Les pollutions chimique et radioactive peuvent, en principe, être évitées, à condition d'y mettre le prix. La pollution thermique, elle, est inéluctable : toute énergie utilisée par nous apparaît, finalement, sous forme de

chaleur dans notre milieu. Elle en élève la température. Cette pollution thermique est locale si elle n'intéresse que le voisinage du point où l'énergie a servi, globale si la température de l'ensemble de la biosphère a varié.

a) *Pollution thermique locale.*

Les centrales qui mobilisent les énergies latentes, et qui sont toutes, jusqu'à présent, des centrales thermiques, dégagent dans le milieu ambiant d'énormes quantités de chaleur. Elles rejettent sous cette forme, dans l'air ou, plus souvent, dans l'eau du voisinage, 2 et souvent 3 fois plus d'énergie qu'elles n'en distribuent au réseau électrique qu'elles alimentent. La centrale nucléaire de St-Laurent-des-Eaux fournit 100 mégawatts électriques. Elle rejette à la Loire, sous forme de chaleur, l'énergie correspondant à une puissance triple, soit de quoi échauffer de 10° un débit de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. La Commission de l'Energie prévoit en France, pour 1985, cinquante centrales de ce type, et une puissance triple en centrales à combustibles fossiles. Pour refroidir les condenseurs de cet ensemble, on échaufferait de 10° un débit d'eau de $9000 \text{ m}^3/\text{s}$, à peu près le double du débit total à l'embouchure de nos cinq grands fleuves, Garonne, Loire, Rhin, Rhône et Seine. Il faut donc prévoir des centrales refroidies par l'eau de mer qui, autour de l'usine, s'échauffera en surface de plusieurs degrés sur des centaines de km^2 .

b) *Pollution thermique globale.*

L'utilisation des énergies actuelles ne produit pas de pollution thermique globale : on prélève en un endroit une part du flux naturel pour la restituer ailleurs : le bilan est nul. Dès qu'on fait appel aux énergies latentes, la chaleur dégagée s'ajoute à celle que reçoit normalement la biosphère, dont la température monte. On peut tenter de calculer cet échauffement : on le trouve proportionné à la quantité q de chaleur ajoutée. Actuellement, q est inférieur à un dix-millième du flux solaire Q , et l'échauffement moyen correspondant t reste très faible, moins de $0,05$ degrés. Mais si la mobilisation des énergies latentes continue à augmenter au rythme actuel (5% par an), q atteindra dans un siècle $1/100$ de Q , et t deviendra de l'ordre de grandeur du degré. L'influence sur les climats ne peut être prévue avec précision, mais elle serait sans doute importante puisque le spectaculaire recul des glaciers alpins pendant le dernier siècle correspond à une élévation de la température moyenne de notre région de $0,5^\circ$ environ.

7. Incertitudes.

Le calcul qui aboutit aux résultats précédents est très incertain. Il résulte d'hypothèses simplistes : température uniforme et constante sur toute la terre, dégagement de chaleur industrielle uniformément réparti. Ce ne sera évidemment pas le cas, et les échauffements pourront être beaucoup plus grands dans certaines zones. Il se peut même que la cause principale

des changements de climat ne soit pas le dégagement de chaleur, mais celui du gaz carbonique, dont nous avons déjà parlé. Un accroissement de l'« effet de serre » qui lui est dû pourrait produire un réchauffement bien supérieur à celui indiqué ci-dessus.

Au contraire, les poussières que rejettent les foyers (25 millions de tonnes par an) et certaines industries, restant en suspension dans l'atmosphère, peuvent produire un refroidissement et ramener une période glaciaire.

8. Prudence nécessaire.

On voit que la prévision de ce qui se passera dans un siècle — et que verront les petits-enfants des jeunes adultes actuels — n'est pas facile. Toutes ces incertitudes, y compris celles sur le danger de la radioactivité, commandent la prudence.

Dans le doute, abstiens-toi, dit la sagesse des nations : *mais nous ne pouvons pas nous abstenir*. La population du globe est telle que l'agriculture moderne, gourmande en énergie, est indispensable pour la nourrir. Le « retour à la nature », le rejet de notre civilisation industrielle, condamnerait à mort un bon milliard d'individus, et les autres à une misère accrue, à perdre un bien-être auquel ils tiennent. Nous sommes prisonniers d'un pénible dilemme, et nous aurons besoin, pour en sortir, de toute notre intelligence et de toute notre volonté.

9. Le maintien des conditions naturelles.

Notre biosphère est un système compliqué et fragile, dont les réactions nous sont encore mal connues. La seule attitude raisonnable actuellement est de ne lui imposer que des changements chimiques, radioactifs ou thermiques infiniment petits par rapport aux valeurs naturelles des grandeurs modifiées. Si nous ne pouvons éviter de rejeter un métal lourd dans la mer ou de l'anhydride sulfureux dans l'atmosphère, veillons au moins à ne produire en tout endroit public, accessible à tous, dans les rivières, les lacs, la mer et l'air, qu'une variation de concentration infime par rapport à la concentration préexistante, dans le milieu, de la substance rejetée. La chaleur que dégagent au total toutes nos centrales doit rester *négligeable* par rapport à celle qui nous arrive du soleil. En tout lieu où vivent des êtres humains, l'augmentation de radioactivité que produisent les centrales nucléaires doit rester très faible devant la radioactivité naturelle du milieu ambiant.

Que faut-il entendre par « très petit », « négligeable » ? C'est difficile à préciser. Dans beaucoup de cas, une variation de un dix-millième (0,01 %) sera sans inconvénients. Celle de un millième ne sera pas toujours acceptable, celle de 1 % à peu près jamais. Seule l'expérience peut nous instruire. Nous devons rester à l'affût du moindre début d'effet néfaste, toujours prêts à réviser les normes, les méthodes, les comportements.

Notre règle salubre des faibles écarts à la nature serait vite transgressée si nous maintenions, pour n'importe quelle production industrielle, dont, nécessairement, celle de l'énergie, une progression quantitative à taux constant, même modeste. Les dirigeants de notre politique et de notre économie manquent dangereusement du plus élémentaire bon sens quand ils considèrent une telle expansion comme nécessaire au fonctionnement de notre société. Cette expansion est mathématiquement, physiquement, impossible. La résorption indispensable du chômage doit s'obtenir par d'autres moyens, même s'ils impliquent une révision fondamentale des structures de notre société.

10. *Préserver l'avenir.*

Le deuxième rapport du Club de Rome (Stratégie pour demain, édition du Seuil, p. 154) observe que :

« Pour assurer la survie de l'espèce humaine, nous devons apprendre à nous identifier aux générations futures, et à prendre en considération leurs intérêts au même titre que les nôtres. Si chaque génération ne pense qu'à son maximum de bien-être, c'en est fini de l'*homo sapiens* ».

Pour laisser un monde habitable à nos descendants, nous devons combattre le gaspillage et l'incohérence. Soyons plus sérieux que ce brave homme, rencontré à Beaugency. Il ne voulait à aucun prix de centrales nucléaires, mais il organisait un rallye automobile, gaspillant allègrement plusieurs milliers de litres d'un carburant qu'il conviendrait, si l'on refuse d'utiliser l'uranium, de réserver à l'indispensable production de courant électrique, au moins jusqu'à ce que nous sachions nous servir à cet effet de l'énergie solaire !

11. *Conclusion.*

Refuser la croissance quantitative inconsidérée de nos productions industrielles — dont celle de l'énergie — n'est nullement renoncer au progrès. Pour mieux vivre, mieux utiliser sans les dilapider les ressources de notre planète, nous n'aurons pas trop de tous les développements de nos connaissances que la recherche scientifique peut apporter. Elle seule permettra le vrai progrès, qui comporte une utilisation plus sage et une répartition plus juste de nos richesses.

C'était l'avis de Prosper Alfaric, qui disait : « Placé dans un monde où se combinent des forces prodigieuses, à l'égard desquelles il est dans une dépendance totale, l'homme ne peut y vivre qu'à condition de bien s'y adapter, et l'adaptation primordiale, celle qui domine toutes les autres, est celle de la pensée à la réalité ». Et Paul Langevin donnait pour objectif à la pensée scientifique « d'adapter notre raison au monde extérieur, d'établir progressivement une véritable communion entre l'esprit et la réalité », donc entre l'homme et la nature.

Jean LANGEVIN.