

PRO NATURA INTEGRA

« Nos soins se doivent étendre plus loin que le temps présent et il est bon d'omettre les choses qui apporteraient quelque profit à ceux qui vivent, lorsque c'est dessein d'en faire d'autres qui en apportent davantage à nos neveux ».

R. DESCARTES, Discours de la Méthode, 6^e partie.

Modèles écologiques et aménagement de l'espace

Le développement dans tous les domaines de la puissance d'intervention de l'humanité depuis la révolution industrielle, en fonction d'une gestion et d'une rentabilité fondées sur des objectifs sectoriels, a entraîné le pillage des richesses naturelles et la détérioration des écosystèmes. L'explosion impétueuse de cette puissance d'intervention, au fur et à mesure du déroulement de la révolution scientifique et technique, dramatise les conséquences d'activités toujours sectorialisées.

Au moment où l'impact de l'homme sur la nature étaie, dans le temps et dans l'espace, les effets de ses interventions, il n'est plus possible de concevoir une organisation des activités humaines en fonction d'une rentabilité sectorielle et à court terme. « Les critères économiques étroits, « conventionnels », sont au mieux inadéquats, et au pire désastreusement trompeurs, lorsqu'ils sont utilisés comme seule base de décision en matière de ressources naturelles. »¹

De fait, toute planification subjective des activités humaines est vaine. Notre planète constitue un système spatial fini, ayant ses lois et son histoire. La domination de l'homme sur la nature ne peut être que fictive et sans lendemain, si ses exigences ne s'insèrent pas dans la trame des nécessités des écosystèmes. Un changement radical, dans la politique et dans la stratégie de l'intervention, est nécessaire.

Malgré tous les discours sur l'accroissement de la puissance de l'humanité, peu de conclusions opérationnelles ont été tirées, et, comme le remarque A. J. COALE², la dégradation de l'environnement est « due à la combinaison d'un haut niveau d'activité économique et à l'utilisation de pratiques technologiques inadaptées à ce niveau élevé ». « Pour nous écarter de la voie du suicide, nous devons commencer par apprendre les réalités écologiques de la vie », s'écrit B. COMMONER³. ... Or, les concepts écologiques sont encore loin d'orienter les programmes d'aménagement et les principes de gestion des différents territoires de notre planète. Les grands choix économiques, lorsqu'ils ne sont pas laissés aux hasards des lois du marché et de la recherche profit maximum, sont orientés en fonction d'un déterminisme linéaire conçu à partir de réactions en chaîne⁴.

L'écologie elle-même n'apparaît pas toujours comme la science de l'économie des systèmes naturels.

Fier des remarquables résultats de la recherche spatiale, l'homme croit parfois qu'il est parvenu à se libérer de ses contingences animales, qu'il est maintenant susceptible de vivre et d'agir des contraintes écologiques. Mais, à chaque évasion hors de la biosphère, l'homme, pour survivre, est obligé de créer son propre microcosme, avec maintien de l'équilibre énergétique et recyclage des éléments.

Il serait inconcevable et dramatique que l'homme réserve le respect de ces lois écologiques à la création de microcosmes, et continue à les négliger lors de ses interventions dans la biosphère.

Je n'aborderai ici que deux aspects fondamentaux des activités humaines pour lesquelles la démarche écologique peut contribuer à définir de grands axes d'orientation économique.

La préservation de l'équilibre énergétique

S. F. SINGER⁵ souligne dans un éditorial de « Science » : « Rien n'est probablement plus important pour le futur de

l'homme sur cette planète qu'une compréhension des effets à long terme de ses activités. L'histoire de la terre donne des preuves abondantes de l'apparition de cataclysmes. La stabilité du climat, par exemple, n'est pas connue : il en est de même pour la distance qui nous sépare des limites à partir desquelles une nouvelle glaciation pourrait être déclenchée. Notre capacité de provoquer par inadvertance une réaction imprévisible doit être en permanence présente à l'esprit. »

Différents calculs ont tenté de préciser les conséquences des activités humaines sur le climat et en particulier sur l'équilibre thermique de la terre.

M. I. BUDYKO⁶ estime qu'une diminution de 1,6% des radiations incidentes à la surface de la terre, ou une augmentation de 6 à 10% de l'albédo planétaire, entraînerait une nouvelle période de glaciation. Selon E. AYNSLEY⁷ une augmentation de 5% de la couverture nuageuse aurait le même effet.

Les Organisations Mondiales de la Santé (O.M.S.) et de la Météorologie (O.M.M.) ont ainsi engagé des études programmées à l'échelle de la planète. L'importance de ces travaux ne saurait être surestimée. « Les potentialités pour des changements anthropogéniques du climat sur une échelle très large et même globale sont réelles. A ce stade, il est urgent de réaliser un système mondial permettant un contrôle précoce de ces modifications. »⁸

Une évaluation plus précise des réserves en oxygène et de la fraction immobilisée par les combustibles montre que la teneur en oxygène de l'atmosphère ne saurait être modifiée sérieusement par les activités humaines^{9, 10}. La limitation à environ 40 jours du séjour du monoxyde de carbone¹¹ ne peut altérer durablement le climat et le bilan énergétique de la planète. Il n'en est malheureusement pas de même pour de nombreux autres facteurs dont l'importance est modifiée par les activités humaines.

La fragilité de la stratosphère exige des précautions spéciales. Des altérations sont ainsi provoquées par l'introduction dans la stratosphère d'oxydes d'Azote¹², de vapeur d'eau, de CO₂, de SO₂ et de poussières¹³. H. E. LANDSBERG⁸ souligne l'importance de l'action des aérosols sur le bilan énergétique. La S.C.E.P.¹⁴ signale que la stratosphère contient déjà des particules de Brome et de Plomb provenant des gaz d'échappement. Et M. I. BUDYKO¹⁵

¹ A. W. EIPPER, Science 169, 3940 (1970).

² A. J. COALE, Science 170, 3954 (1970).

³ B. COMMONER, *No Deposit, No Return* (Addison-Wesley, Reading 1970).

⁴ P. WEISS, *Renewable Resources*, Natn. Acad. Sci. Natn. Res. Commun. publ. 1000 A Wash., 1962.

⁵ S. F. SINGER, Science 170, 3954 (1970).

⁶ M. I. BUDYKO, J. appl. Meteo. 9, 310 (1970).

⁷ E. AYNSLEY, Nat. Scientist 44, 670 (1969).

⁸ H. E. LANDSBERG, Science 170, 3964 (1970).

⁹ W. S. BROECKER, Science 168, 3939 (1970).

¹⁰ L. VAN VALEN, Science 171, 3970 (1971).

¹¹ B. WEINSTOCK, Science 166, 3902 (1969).

¹² H. JOHNSTON, Science 173, 3996 (1971).

¹³ S. F. SINGER, Scient. Am. 223, 3 (1970).

¹⁴ S. C. E. P., *Man's Impact on the Global Environment* (The MIT Press, Cambridge, Mass. 1970).

¹⁵ M. I. BUDYKO, Tellus 21, (1969).

estime que l'abaissement de 4% du taux de radiations solaires sur l'Amérique du Nord et l'Europe entre 1938 et 1960 est dû aux aérosols atmosphériques provenant de l'activité humaine. LANDSBERG⁸ signale que F. F. DAVITAYA¹⁶ a noté entre 1920 et 1950 une multiplication par 20 de la teneur en poussières des glaciers du Caucase, ce qui peut modifier considérablement la valeur de l'albédo.

C'est en tenant compte des influences de toutes les retombées des activités économiques sur l'équilibre énergétique de la planète que l'aménagement de l'espace et des activités économiques doit être organisé.

a) L'accélération de l'activité humaine et l'augmentation de la fréquence des confrontations entre économistes, scientifiques, hommes politiques, ingénieurs, ... conduit à rechercher, d'une part l'abaissement du temps consacré aux déplacements, d'autre part l'amélioration de la transmission de l'information. Malheureusement ces deux objectifs donnent lieu à des travaux indépendants.

Pour répondre au premier objectif, l'altitude des transports aériens s'est constamment élevée. Les vols supersoniques sont prévus entre 16 000 et 20 000 mètres. V. D. NUSSLER et R. W. HOLCOMB¹⁷ signalent que chaque heure de vol stratosphérique de SST brûlera 66 tonnes de carburants, ce qui produira 83 tonnes de H_2O , 72 tonnes de CO_2 , 4 tonnes de CO et 4 tonnes d'oxydes d'Azote. Selon L. MACHTA¹⁴, le vol quotidien de 500 SST introduira autant de vapeur d'eau dans la stratosphère que les mouvements de l'atmosphère. Comme la densité de vol sera particulièrement importante entre 45 et 60° de latitude N., le modèle utilisé par MACHTA prévoit, dans cette zone, que le taux de vapeur d'eau de la stratosphère passera de 3 à 5 ppm. Pour H. JOHNSTON¹⁸, les taux d'accroissement d'oxydes d'Azote dans la stratosphère, tolérés par le gouvernement américain, provoqueraient une réduction très importante du taux d'ozone. E. AYNSLEY⁷, citant BRYSON, estime que la couverture en cirrus pourrait atteindre 100% d'ici la fin du siècle dans les latitudes utilisées pour les vols subsoniques dans la tropopause. La connaissance exacte de la sensibilité aux éléments introduits par les activités humaines de la tropopause et de la stratosphère est donc un besoin urgent.

Mais le débat sur le SST montre à quel point l'extrapolation dans le domaine de l'accélération des transports pose des problèmes aigus. Il doit nous obliger à l'examen de l'objectif même de cette accélération, d'autant plus qu'elle provoque des traumatismes, passagers sur les usagers et durables sur le personnel, dus aux changements brutaux de fuseaux horaires. Le bénéfice acquis par le raccourcissement du temps de transport est partiellement perdu par les effets du déphasage horaire sur le rythme d'activité.

A mon avis le problème ne peut être résolu que si l'on étudie ensemble les problèmes des transports des hommes et de l'information. N'y aurait-il pas intérêt à développer les techniques d'échanges d'information, pour remplacer l'unité de lieu des participants à un débat, par des liaisons télévisions multiples permettant la confrontation sans déplacement des personnes ?

Il me semble impossible de continuer à examiner les questions technologiques par simple extrapolation, sans tenir compte de l'effet seuil, sur lequel P. R. EHRLICH et J. P. HOLDREN¹⁸ insistent avec raison. A partir de seuils déterminés, les effets négatifs exigent, dans de nombreux cas, la modification des solutions techniques proposées et précédemment valables. Cette remise en cause ne saurait alors être limitée à un aspect du problème et il devrait uniquement être tenu compte dans le choix des nouvelles solutions de l'objectif fondamental.

b) Une attitude de même type doit être adoptée pour la politique énergétique. Le développement des activités

humaines est conditionné par l'accroissement des disponibilités en énergie commercialisable.

L. HOWLES¹⁹, analysant les données du Congrès International de la Production d'Energie, évalue, en se basant sur la constance du taux d'accroissement annuel de 4,5%, la consommation d'énergie commercialisée en l'an 2000 aux environs de $22,6 \times 10^{13}$ KWh. Ceci implique, entre 1970 et 2000, l'utilisation de $4,2 \times 10^{15}$ KWh.

Si tous les pays du monde avaient consommé comme les USA, $8,1 \times 10^4$ KWh par habitant en 1966, la consommation mondiale aurait déjà été en 1966 de $26,8 \times 10^{13}$ KWh. Or, de 1965 à 1969, la consommation d'énergie a crû aux USA de 5% par an, contre 2,8 de 1947 à 1965. Malgré cela, l'insuffisance de la production d'énergie électrique a été telle aux USA en 1969 qu'elle a provoqué des perturbations dans de nombreuses régions, limitant l'activité industrielle et réduisant l'utilisation domestique²⁰.

Il est donc difficile de considérer que même les USA soient parvenus à un seuil de consommation au-delà duquel le taux annuel d'accroissement de l'énergie utilisée diminuerait. Et même si, pour un certain degré de développement économique, une fraction de plus en plus importante de la population exige plus une amélioration des conditions de vie qu'une augmentation des biens matériels, cela ne se traduit pas par un ralentissement des besoins en énergie. On peut donc estimer que, même si le monde entier avait atteint une consommation annuelle de l'ordre de 8×10^4 KWh par habitant, la consommation continuerait à s'élever.

Les gisements de charbon, de pétrole et de gaz naturel peuvent ainsi être épuisés au cours des tout prochains siècles. Des sources de remplacement sont développées utilisant la fission et la fusion nucléaires. L. HOWLES¹⁹ prône ainsi le développement rapide de la production d'énergie nucléaire, qui conditionne, selon M. K. HUBERT²¹ l'avenir économique du monde. C'est pourquoi les recommandations du Comité «Resources and Man» de la division des Sciences de la Terre de la «National Academy of Sciences» et du «National Research Council» des USA en 1968, tout en souhaitant que «les combustibles fossiles soient conservés pour les usages qui ne peuvent être assurés par d'autres ressources», demande «l'accélération du développement de réacteurs nucléaires».

Ce développement pose des problèmes techniques. Il exige une solution satisfaisante au problème des déchets radioactifs. A. WESLAKE²² souligne que, selon L. HERBER, lorsque l'énergie nucléaire fournira 10% du courant électrique aux USA, il y aura 150×10^9 curies d'isotopes radioactifs, dont $2,6 \times 10^9$ cu de Sr 90 et $2,3 \times 10^9$ de Cs 137, produits par les réacteurs dans le monde entier. De même, le contrôle intégral de tout danger de fusion de réacteurs doit être assuré.

De plus, et surtout, les combustibles nucléaires, comme les combustibles fossiles, correspondent à de l'énergie potentielle qui avait atteint la terre, il y a des millions d'années. S. F. SINGER¹³ rappelle que «les combustibles fossiles stockent l'énergie radiante produite à l'origine par les réactions nucléaires à l'intérieur du soleil. Les combus-

¹⁶ F. F. DAVITAYA, Trans. Soviet. Acad. Sci., Georg. Ser., 2, 000 (1965).

¹⁷ V. D. NUSSLER et R. W. HOLCOMB, Science 168, 3939 (1970).

¹⁸ P. R. EHRLICH et J. P. HOLDREN, Science 171, 3977 (1971).

¹⁹ L. HOWLES, Nat. Scientist 51, 763 (1971).

²⁰ P. M. BOFFEY, Science 168, 3939 (1970).

²¹ M. K. HUBERT, *Resources and Man* (Freeman Publisher, San Francisco 1969).

²² A. WESLAKE, *Life Threatened* (Stuart and Watkis Publishers, New York 1967).

tibles nucléaires stockent l'énergie produite par un autre groupe de réactions nucléaires à l'intérieur de certaines étoiles.

En utilisant massivement ces deux types de combustibles, l'homme libère de l'énergie potentielle et modifie ainsi la quantité d'énergie rayonnée par la terre. L'utilisation des combustibles fossiles élève, de plus, la teneur en CO_2 de l'atmosphère. Mais «l'énergie rejetée pendant les processus de production et de consommation contamine le climat bien plus que les gaz et les particules introduits dans l'atmosphère»¹⁴.

Si le taux d'énergie solaire, qui atteint chaque année la terre, est compris entre $1,49 \times 10^{18}$ et $1,55 \times 10^{18}$ KWh, l'équilibre énergétique de celle-ci sera modifié lorsque l'énergie libérée par l'action de l'homme dépassera un seuil, que P. F. CHAPMAN²³ fixe à 5% de l'énergie solaire reçue. Or, selon L. LESS¹⁴, sur 10^6 ha de la région de Los Angeles, ce pourcentage est atteint, et pour CHAPMAN²³, suivant le mode d'évaluation de l'évolution de la consommation mondiale d'énergie, cette limite pourrait être atteinte d'ici 60 ou 130 ans. Pour le S.C.E.P.¹⁴ la pollution thermique du monde s'élèvera de $5,5 \times 10^6$ MW en 1970 à $31,8 \times 10^6$ en 2000. Pour S. M. GREENFIELD¹⁴, dès 2000, 90×10^6 hectares de l'Est des USA dégageront l'équivalent de 5% de l'énergie solaire incidente.

Aussi, pour éviter un tel cataclysme, certains économistes fixent, dès maintenant, une limite à la consommation de l'énergie, c'est-à-dire au développement économique. Ainsi, suivant leurs options politiques, ils veulent, soit interdire aux pays en voie de développement d'élèver leur économie au niveau des grandes puissances, soit stopper l'industrialisation de ces dernières pour permettre aux premiers de s'industrialiser. De toutes façons, comme la science est un facteur fondamental du développement de l'économie, cette alternative sert de motif à une pause dans l'expansion scientifique.

P. F. CHAPMAN²³ montre qu'il s'agit là d'un faux dilemme. La seule limitation nécessaire est dans l'utilisation de l'énergie potentielle (énergie normalement non inclue dans l'équilibre thermique de la terre). Or l'humanité dispose d'autres sources d'énergie utilisables; celles qui interviennent dans l'équilibre énergétique de la terre.

Environ 54% de l'énergie solaire incidente atteint les océans, où elle provoque l'évaporation de l'eau. Une très faible partie de cette énergie est utilisée, sous forme d'énergie cinétique des rivières, dans les centrales hydrauliques et les moulins. P. F. CHAPMAN²³ rappelle, qu'en 1960, la limite supérieure d'utilisation de l'énergie des barrages hydrauliques a été évaluée à 3×10^{14} KWh par an, ce qui correspond à 0,05% de l'énergie solaire incidente sur les océans. La production en 1967 était d'environ de 1×10^{12} KWh, et le maximum à espérer²¹ ne serait que 1×10^{14} KWh. P. F. CHAPMAN²³ estime qu'une meilleure utilisation ne pourrait que doubler cette source et correspondre à 1% de l'énergie incidente sur les océans. Mais M. K. HUBBERT²¹ fait remarquer que la sédimentation dans les réservoirs ne rend ces derniers utilisables que pour un siècle ou deux aux maximum.

Par contre, l'énergie éolienne, elle aussi en équilibre, est pratiquement négligée. Son utilisation n'est même pas envisagée par M. K. HUBBERT²¹ dans son rapport de «Resources and Man». Elle est même en régression et dans des régions entières, par exemple à Majorque, les éoliennes sont abandonnées et remplacées par des moteurs à explosion. Pourtant les ingénieurs soviétiques estiment que l'utilisation des courants de la haute troposphère permettrait d'alimenter des éoliennes sur dirigeables, susceptibles de couvrir les besoins actuels de l'humanité en énergie électrique, tout en permettant une meilleure distribution à la surface du globe.

Pour M. K. HUBBERT²¹, l'énergie marémotrice pouvant provenir des principaux sites recensés, correspondrait à 2% de l'énergie hydraulique potentielle, soit $5,6 \times 10^{11}$ KWh. Mais très peu de ces sites sont en voie d'équipement. Ainsi le programme français est interrompu après la mise en service de la centrale de la Rance qui produit 1×10^9 KWh. Pourtant, l'URSS après avoir construit une centrale expérimentale au Nord de Mourmansk (Kislaya Iulet), en met deux nouvelles en chantier sur la Mer Blanche, prévues pour produire 1×10^{10} KWh par an.

L'énergie géothermique, fournie par captage de l'eau souterraine dans les régions volcaniques, intervient seulement pour 5×10^9 KWh par an. Selon P. F. CHAPMAN²³ elle pourrait fourrir 3×10^{12} KWh, tandis que pour M. K. HUBBERT²¹, elle correspond aux possibilités d'utilisation de l'énergie marémotrice.

Enfin et surtout, l'énergie solaire, atteignant les terres émergées, correspond à $2,5 \times 10^{17}$ KWh par an. Le captage de l'énergie solaire pourrait fournir jusqu'à près de 1×10^{16} KWh par an. Bien que différentes civilisations de régions chaudes utilisent depuis longtemps l'énergie solaire pour les besoins domestiques, sa transformation en énergie électrique n'a fait l'objet d'aucune application importante.

Différentes techniques de captage ont été proposées. Ainsi, selon A. L. HAMMOND²⁴, l'utilisation de revêtements synthétiques «hautement sélectifs, noirs dans le visible et faibles émetteurs dans l'I.R., capables d'absorber l'essentiel des radiations solaires incidentes en ne renvoyant pratiquement rien» pourrait assurer un rendement élevé, permettant d'obtenir $3,6 \times 10^9$ KWh pour une surface de 8 km^2 . Ceci n'est qu'un exemple parmi les différentes solutions qui peuvent apparaître.

De toutes façons, le retard dans les recherches, destinées à l'utilisation des différentes formes d'énergie intervenant dans l'équilibre thermique de la terre, est énorme. Il ne peut s'expliquer que par la méconnaissance des lois fondamentales de l'économie de la biosphère; sinon la recherche de développement ne s'orienterait pas vers l'utilisation systématique de l'énergie nucléaire, dont le rôle ne sera important que pendant la période de transition entre sources potentielles et sources en équilibre. Par la suite, elle ne pourra assurer qu'un appont compatible avec l'équilibre énergétique de la planète.

Mais l'incompréhension du problème est telle que H. H. LANDSBERG²⁵, dans ses évaluations sur la consommation future d'énergie, ne fait intervenir que des sources modifiant l'équilibre thermique de la terre. De même, les recommandations concernant la politique énergétique du Comité «Resources and Man» de la division des Sciences de la Terre de la «National Academy of Sciences» et du «National Research Council» des USA²¹ ne font aucune allusion aux recherches pour améliorer les conditions d'utilisation des sources d'énergie en équilibre qui doivent nécessairement et dans les délais les plus brefs fournir l'essentiel de l'énergie électrique consommée par l'humanité. Pourtant la sauvegarde de l'équilibre ne saurait être négligée sous prétexte de rechercher à tous prix le KWh le meilleur marché.

Mais il est certain qu'envisager l'avenir de l'utilisation de l'énergie, impliquant un examen des conséquences à long terme des interventions humaines, exige l'abandon des notions de «coût immédiat», de «rentabilité à court terme». L'avenir des générations futures est lié au déve-

²³ P. F. CHAPMAN, Nat. Scientist 47, 720 (1970).

²⁴ A. L. HAMMOND, Science 172, 3984 (1971).

²⁵ H. H. LANDSBERG, *National Resources for U.S. Growth: a Look Ahead to the Year 2000* (Resources for the Future Inc., Princeton 1964).

loppement des techniques favorisant une utilisation massive des sources d'énergie en équilibre.

Le recyclage des matériaux

Bien que la biosphère soit un système évolutif ouvert, en dépendance cosmique, la vie sur notre planète est liée à une circulation des éléments à travers les cycles biogéographiques.

Mais chaque écosystème est lui-même un système évolutif ouvert. Ainsi le Strontium et le Césium radioactifs s'incorporent à des écosystèmes loin des zones de production; le DDT contamine des écosystèmes à des milliers de kilomètres de la zone traitée.

Parallèlement, l'eau entraîne hors des écosystèmes terrestres de nombreux éléments nutritifs. Le sol subit donc un épuisement progressif en éléments minéraux qui transitent faiblement par l'atmosphère. En effet, la concentration de l'eau de pluie en anions, en particulier Cl et en cations (Si, Mg, K, Ca, Na) introduits dans l'atmosphère sous forme d'aérosols par les embruns marins ne dépasse pas, sauf pour Na, une fraction de milligramme par litre.

Selon P. H. ABELSON²⁶, les océans reçoivent chaque année 10^{10} tonnes de matériaux (dont 10^6 tonnes de DDT). Toute pratique accroissant la vitesse de circulation de l'eau superficielle, accélère l'épuisement du sol. Les phosphates prélevés dans les écosystèmes terrestres s'accumulent sur les plateaux continentaux. Pour V. E. MCKELVEY²⁷, il est possible d'exploiter ces gisements sous-marins. L'homme a ainsi la possibilité de pallier l'une des principales déficiences dans les processus naturels de recyclage.

Ainsi la pérennité d'un écosystème est d'autant mieux assurée que les différents éléments sont mieux recyclés. Le recyclage est d'autant plus efficace que les éléments transitent par l'atmosphère.

L'agronomie moderne est théoriquement basée sur ce principe et tente de réintroduire, sous une forme biologiquement assimilable, les éléments exportés lors de la récolte. Mais, bien souvent une méconnaissance des exigences écologiques des microorganismes, agents de la minéralisation, compromet la pérennité des écosystèmes artificiels destinés à la production agricole. Dans certains cas, comme au Viet-Nam, une utilisation, systématique et délibérée, des défoliants et herbicides, provoque une dégradation des écosystèmes et correspond à un véritable biocide²⁸.

La politique économique, elle-même, néglige totalement les lois écologiques assurant la pérennité des écosystèmes. Les ressources naturelles, servant aux activités industrielles, sont utilisées de façon linéaire, comme si elles étaient inépuisables. Une telle attitude est apparue avec les civilisations basant leur économie sur une politique de conquêtes territoriales. Elle a rompu avec les politiques économiques traditionnelles autarciques, où l'obligation de survivre avec des ressources limitées impliquait l'utilisation maximale de chaque objet et le réemploi du maximum de matériaux possibles. Seules les populations les plus en marge des grands courants commerciaux continuent à pratiquer partiellement une telle politique.

Ainsi, à une extrémité de la chaîne, les ressources naturelles, particulièrement les ressources minérales, s'épuisent; et, à l'autre extrémité, les déchets, bien souvent sources de pollution, s'accumulent ou sont rejetés.

De 1905 à 1938, la consommation de métal a été supérieure à la consommation totale avant 1905. Pour H. BROWN²⁹, la satisfaction des besoins de l'économie américaine implique l'extraction de 25 tonnes de matériaux par habitant chaque année, sans que ce chiffre ne corresponde à un plafond. «L'extraction continue de miné-

raux conduit finalement à des coûts croissants, au fur et à mesure de l'approfondissement des mines et de la diminution de la concentration... (mais) parce que le nombre de gîtes minéraux est déterminé, le temps de latence pour de nouvelles découvertes croît parallèlement à la raréfaction des gisements superficiels non exploités.»³⁰ Les réserves mondiales en Plomb, Zinc, Etain, Or, Argent, Platine, Cuivre et Tungstène s'épuiseront d'ici le 21ème siècle, selon H. BROWN²⁹.

Cette situation entraîne un perfectionnement toujours plus poussé des méthodes d'extraction et un développement considérable des techniques de prospection et d'exploitation sous-marines, les fonds marins étant considérés comme une corne d'abondance minérale³¹. Mais en dehors de l'exploitation des dépôts de phosphates sur le plateau continental, on ne saurait en attendre un complément de ressources minérales très considérable.

La production de matériaux de remplacement par la synthèse de polymères, peut suppléier à l'épuisement de certains minéraux sans que l'on puisse évaluer encore actuellement leur apport total.

Cependant cet épuisement des ressources minérales ne représente absolument pas un avenir obligatoire.

Techniquement il est possible de réduire considérablement le taux de consommation et d'envisager, pour l'avenir, une conservation des ressources. Cela ne dépend que partiellement des difficultés techniques, le principal obstacle venant de la résistance des structures socio-économiques à l'utilisation écologique des ressources naturelles.

Deux principes de bases doivent être respectés. Le premier est le recyclage de tous les déchets; le second est l'allongement maximum de la chaîne d'utilisation de l'énergie incorporée dans les marchandises.

Or ces deux principes sont violés à chaque instant.

Une société anglaise a équipé le Hudson Stream pour décharger $3,5 \times 10^5$ tonnes de déchets dans la mer du Nord. Une compagnie de navigation belge a équipé un navire pour décharger 10^5 tonnes de déchets de Titane par an en pleine mer. La production des déchets est le secteur français qui a le taux d'expansion le plus élevé, selon Y. CHERET³²; elle augmente en moyenne de 17% par an. Mais cet auteur n'en tire pas de conclusions sérieuses. Ce problème n'est pas mieux abordé dans les recommandations pour le VIème Plan français. Heureusement quelques économistes commencent à découvrir l'importance de l'apport de l'écologie. Ainsi K. E. BOULDING³³ stigmatise cette politique: «Le processus économique habituel diffuse ce qui est concentré. Nous partons de minéraux et de combustibles et nous les dispersons sur la terre sous forme de déchets, ou dans les océans. Ceci est entropique dans le sens d'un retour au chaos... mais jusqu'à maintenant l'homme n'a pas encore commencé à résoudre le problème d'une économie cyclique de haut niveau.»

Par exemple, les gisements de Plomb s'épuisent, et chaque année, 180 000 tonnes de Plomb sont dégagées dans

²⁶ P. H. ABELSON, *Science* 171, 3966 (1971).

²⁷ V. E. MCKELVEY, *U.S. Geol. Survey Bull.* 1967, 1252-D.

²⁸ F. H. TSCHIRLEY, *Science* 163, 3869 (1969).

²⁹ H. BROWN, *Scient. Am.* 223, 3 (1970).

³⁰ T. S. LOVERING, *Resources and Man* (Freeman Publisher, San Francisco 1969).

³¹ P. CLOUD, *Resources and Man* (Freeman Publisher, San Francisco 1969).

³² Y. CHERET, *La défense de l'homme contre les pollutions* (Pedone, Paris 1970).

³³ K. E. BOULDING, *The Environmental Crisis* (Ed. H. N. HELFRICH; Yale University Press, New Haven 1970).

l'air aux USA par les tuyaux d'échappement des voitures. Le taux dans l'air des grandes villes y est 20 fois celui des campagnes, et 2000 fois celui du Pacifique Central. 25% des 80 000 enfants en âge préscolaire à New York présentent une concentration de 4×10^{-4} de Plomb dans le sang³⁴. Le Plomb atmosphérique tue déjà les léopards du zoo d'Etat de New York, où l'herbe, les feuilles et le sol contiennent la même concentration que sur le bord des autoroutes. Ce sont en fait les êtres vivants qui recyclent le Plomb et nos descendants (s'ils vivent) pourront venir l'exploiter dans les cimetières!

Les réserves de pétrole s'épuisent et cependant nous en introduisons par les lessivages, $1,5 \times 10^6$ tonnes dans les océans et $1,8 \times 10^6$ tonnes dans le sol. La Méditerranée reçoit à elle seule 10^5 tonnes de pétrole par an.

La dispersion du Phosphore est un problème angoissant, mais le S.C.E.P. constate, aux USA, que 70 à 90% du Phosphore rejeté par les villes dans le réseau hydraulique provient des détergents.

Un autre économiste, R.M. SOLOW³⁵, en déduit avec raison: «*Il n'y a pas de problème de pollution de l'air, ni de problème de pollution de l'eau: il y a un problème de dépôt des déchets... La seule (solution)... est le recyclage des matériaux (ou la plus grande durée des choses matérielles...).*

C'est ainsi que A.W. EIPPER¹ expose les graves problèmes posés par la consommation de l'eau qui double tous les 40 ans aux USA et par l'aggravation parallèle de la pollution. Or, en fait, pour les usages industriels, il n'y a généralement pas consommation d'eau. Il y a utilisation des pouvoirs de dissolution, d'entraînement et d'échauffement de l'eau. L'eau, après usage, est toujours chimiquement de l'eau, mais sa température est modifiée et surtout elle est chargée de substances. Il n'y a pas eu consommation, il y a eu altération.

L'échec des techniques classiques d'élimination de la pollution de l'eau par le développement des stations d'épuration est patent. Ces stations sont conçues pour des unités urbaines importantes. Elles ont à traiter toute une gamme de substances sans en connaître le spectre exact. Chaque jour, de nouveaux produits de synthèse sont livrés sur le marché, après usage ils sont tous rejetés dans le système hydraulique. Les stations d'épuration doivent donc être les plus polyvalentes possibles et, de ce fait, travailler en fonction des possibilités d'élimination des éléments polluants les plus fréquents et les plus abondants. En France, le coût moyen de ces installations est actuellement de 130 F par habitant³⁶. Une telle méthode ne peut jamais être parfaite. Ainsi, par exemple, le nitro-chlorobenzène charrié par le Mississippi, non éliminé par les techniques ordinaires d'épuration, contamine l'eau potable 1500 km en aval.

Par contre, plus le traitement des eaux est proche de la source de pollution, plus l'élément à éliminer peut être connu et quantifié avec précision. A la limite, le traitement le plus efficace est à la source même.

Dans ces conditions, l'extraction du polluant des eaux usées sera le mieux effectuée par le pollueur qui connaît et la composition, et la dose, et le rythme d'introduction. Ayant à extraire des substances de l'eau, il est directement intéressé par le destin de ces substances. Elles deviennent des sous-produits du processus de production, impliquant soit une réintroduction dans le circuit de production, soit une recherche d'utilisations spécifiques.

Dans ces conditions, l'eau à usage industriel peut retrouver les propriétés exigées et le recyclage des effluents peut permettre l'utilisation de l'eau en circuit fermé. De grands progrès ont déjà été réalisés dans ce domaine dans l'industrie papetière en Suède. Contrairement à ce que prétendent de nombreux industriels et économistes, non seulement un tel recyclage conserve les ressources naturelles, mais

ceci se traduit déjà bien souvent, à terme, par une amélioration de la rentabilité. Ainsi, après recyclage, l'eau utilisée dans les entreprises lainières permet des récupérations entraînant des économies, il en est de même dans les papeteries...

Des mesures juridiques doivent contribuer à l'effort nécessaire; A. J. COALE² suggère ainsi: «*d'obliger les utilisateurs d'eau courante à prélever l'eau en aval de leur installation et à la rejeter en amont.*»

Le problème des déchets plastiques est souvent évoqué. Si les molécules organiques complexes naturelles sont normalement recyclées, c'est parce que l'évolution, qui aboutit à ces synthèses, s'est effectuée avec une lenteur telle que l'apparition parallèle de réactions enzymatiques assurant la dégradation a pu s'opérer. La fabrication de milliers de nouvelles molécules organiques complexes en quelques décades a introduit, dans la nature, des composés qu'aucun système enzymatique ne peut dégrader. Mais beaucoup de ces polymères sont thermoplastiques, leur réutilisation ne pose donc pas de problèmes théoriques. Quant aux autres, il est toujours des solvants qui permettent leur récupération. L'augmentation croissante de la quantité produite, leur rôle toujours plus important dans la vie moderne, exige que, eux aussi, soient recyclés.

Des solutions techniques peuvent être apportées, permettant, par le recyclage, la réduction considérable du volume des déchets et de l'importance des pollutions, ainsi qu'une conservation des ressources. D. CLUTTERBUCK³⁷, après avoir énuméré une liste importante de récupérations immédiatement possibles, signale que, selon A. W. V. HOLDEN, 90% des déchets industriels pourraient être récupérés. L'initiative de l'Université de Rhode Island, qui a organisé en 1970 un symposium sur la récupération et la réutilisation des déchets, est à généraliser. E.S. SAVAS³⁸ souligne ainsi, avec raison, l'intérêt de mesures, comme celle de la municipalité de New York, qui vient de prendre la décision de détaxer les entreprises utilisant le vieux papier comme matière première.

Il est dès maintenant indispensable que seule soit autorisée l'implantation d'entreprises procédant au recyclage. Des facilités doivent être accordées aux anciennes entreprises pour réaliser les dispositifs nécessaires en quelques années.

Or, actuellement devant les protestations des municipalités qui s'élèvent contre les pollutions, les industriels peuvent menacer la population de fermer leur usine. Le spectre du chômage est agité comme argument par les pollueurs pour s'opposer à toute amélioration de la situation. De plus, certaines entreprises, au fur et à mesure de l'adoption de mesures antipollution dans leurs propres pays, exportent les produits prohibés. Ainsi s'instaure une exportation de la pollution vers les pays les moins développés. Le DDT est interdit aux USA, mais 70% de la production a été exporté en 1970³⁹.

La seconde cause de l'épuisement des ressources et de l'accumulation des déchets est le raccourcissement des chaînes trophiques, le gaspillage de l'énergie et des matériaux incorporés dans les marchandises.

K. E. BOULDING³⁸ souligne à cet égard la nocivité et la stupidité du concept de Produit National Brut. Tout est

³⁴ R. J. BAZELL, *Science* 174, 4009 (1971).

³⁵ R. M. SOLOW, *Science* 173, 3996 (1971).

³⁶ S. ANTOINE, *Nelle. Rev.* 43, 121 (1971).

³⁷ D. CLUTTERBUCK, *Nat. Scientist* 49, 734 (1971).

³⁸ E. S. SAVAS, *Science* 174, 4007 (1971).

³⁹ C. M. WOODWELL, P. P. CRAIG, H. A. JOHNSON, *Science* 174, 4014 (1971).

fait dans le système capitaliste pour obtenir le renouvellement le plus rapide possible des marchandises, sans que cela soit inhérent à la société industrielle comme le craint J. K. GALBRAITH⁴⁰. En effet, M. I. GOLDMAN⁴¹ souligne qu'en URSS: «*Une plus grande importance est attachée à la prolongation de la vie des différents produits. En d'autres termes, le travail dépensé pour récupérer les bouteilles et ramasser les ficelles est considéré comme utile. Personne n'abandonnerait sa voiture dans une rue de Moscou, comme 500 000 habitants de New York en 1969. Même si une voiture russe a 20 ans, elle est encore utilisable.*» Dans une étude sur les problèmes de l'environnement en Chine, L. A. ORLEANS et R. P. SUTTMEIER⁴² soulignent «*l'injonction faite aux ouvriers et paysans de récupérer et réutiliser les déchets industriels et agricoles.*»

Au contraire, prenant exemple sur l'industrie du vêtement qui, par l'utilisation du concept de mode, a réussi l'exploit, monstrueux pour un écologiste, d'inciter l'utilisateur à changer de vêtements alors que ceux-ci sont encore utilisables, diverses industries (automobiles, appareils ménagers, ameublement...) ont réussi à accélérer la fréquence du renouvellement des marchandises par les utilisateurs. Pour obliger le consommateur à renouveler ces marchandises, les pièces de rechange ne sont plus fabriquées et des appareils importants deviennent artificiellement inutilisables parce que l'un de ses éléments, souvent secondaire, ne peut être remplacé.

Le niveau de vie devient ainsi assimilé au rythme de remplacement des biens d'équipement domestique et collectif. La production d'armements qui, par l'aberration soulignée par K. E. BOULDING³³, intervient dans le calcul du Produit National Brut, correspond à une consommation de plus de 10% des ressources en énergie et en matériaux. Un extraordinaire gaspillage d'énergie et de matière vient donc s'ajouter, dans un processus économique linéaire, sans recyclage, à la perte déjà constatée de matières premières.

La combustion du charbon et des hydrocarbures constitue un exemple particulièrement scandaleux du gaspillage d'énergie et de matière. Au lieu d'utiliser ces molécules complexes, comme matériaux de base pour la carbochimie et la pétrochimie, l'énergie chimique latente contenue est libérée par la combustion. Ainsi, au lieu d'économiser des étapes dans la synthèse de molécules complexes, l'homme commence par détruire ces molécules et, bien souvent, emploie l'énergie ainsi libérée pour synthétiser de nouvelles molécules. Combien de temps faudra-t-il encore attendre l'adoption d'une législation qui interdise la combustion du pétrole et du charbon!

On ne peut en finir avec une telle attitude que si on abandonne, comme le souligne A. J. COALE², le concept d'«externalité», «facteur économique de base ayant un effet destructeur sur notre environnement». Non seulement le recyclage des matériaux et la prolongation de la chaîne d'utilisation et de la durée des marchandises doivent contribuer à une saine politique d'utilisation des ressources matérielles et de la protection de l'environnement, mais aussi, il faut cesser de considérer comme déchet ce qui dans les matériaux utilisés est exclu du processus de production de l'installation industrielle. Ainsi Y. CHERET³² considère comme déchets: «ce qui est inutile (gangue du minerai, suint de la laine)». C'est pourquoi 16 à 18×10^3 tonnes de sels sont rejetés chaque jour par les usines de Potasse dans le Rhin en Alsace et que 4000 tonnes contiennent la nappe du Rhin, alors que ce sel pourrait être utilisé. C'est pourquoi la pollution thermique par les centrales asphyxie de nombreuses rivières et lacs, sans que les thermies produites ne soient utilisées quand bien souvent, à proximité, des installations industrielles ou urbaines dépensent de l'énergie pour chauffer de l'eau. Le

couplage du chauffage urbain et industriel est assuré en URSS, en Suède, au Canada, dans de très nombreux cas, par des centrales thermiques.

Seule une conception économique étroite, erronée peut conduire aux multiples faits de pollution par des activités industrielles, alors que, parallèlement d'autres activités sont et surtout risquent d'être, limitées par la pénurie de matériaux considérés ailleurs comme des déchets.

Conclusion. L'avenir de l'humanité peut être compromis par le décalage entre la puissance d'intervention de l'homme et une organisation des activités économiques héritée d'une époque où il était incapable de connaître les ressources de notre planète et de saisir les relations capables d'assurer la pérennité de la biosphère et des écosystèmes.

Il s'avère indispensable de connaître au mieux les lois qui président à l'économie des systèmes naturels. Les problèmes posés ne sauraient se limiter aux deux questions abordées. L'appauvrissement qualitatif des espèces composant les écosystèmes, les perturbations apportées dans le fonctionnement des chaînes trophiques, l'homogénéisation artificielle des espèces domestiques animales et végétales, et enfin les conséquences de la domination par l'homme des pressions extérieures qui réduisaient sa démographie sont autant d'autres questions à résoudre.

Leur solution exige, non seulement une connaissance toujours plus précise des phénomènes eux-mêmes, mais aussi une analyse des conséquences économiques, sociales, culturelles et politiques impliquées.

Par suite du développement sectoriel de l'économie depuis deux siècles, l'humanité a développé sectoriellement sa connaissance. L'organisation des techniques a été opérée professionnellement. Ainsi ceux qui, par leur niveau de connaissance, auraient dû réparer les effets négatifs d'interventions sectorielles, n'ont absolument pas été préparés à le faire. Au contraire, l'orientation très affirmée de leur champ de connaissance leur a fait aggraver la situation. Depuis plus d'un siècle, ils sont imprégnés d'une idéologie selon laquelle le développement technique et économique entraîne obligatoirement un mieux être.

Devant les conséquences, hier insoupçonnées, des activités humaines, l'humanité non seulement s'interroge et s'inquiète, mais elle remet en cause la valeur de la science. H. BROOKS⁴³ signale que l'investissement aux USA en astrologie est 10 à 20 fois supérieur à celui de l'astronomie. Même «parmi les intellectuels, il y a une attaque contre la culture poussée, y compris la science». Il est certain que les déclarations de N. E. BORLAUG en faveur du DDT peuvent introduire un doute sur l'objectivité des scientifiques. Le dogmatisme qui couvre les concepts abusifs de corrélation obligatoire entre développement technique et économique et progrès, conduit à une réévaluation des possibilités du savoir.

A l'heure où une nouvelle frontière réside dans l'exploration et l'analyse de systèmes complexes, par exemple, les écosystèmes ou les systèmes sociaux ou les facteurs intégrateurs de systèmes biologiques hautement organisés¹³, certains parlent de pause dans le développement scientifique.

Or, ce n'est pas l'effort scientifique qu'il faut diminuer, c'est l'orientation des axes de recherches qu'il faut modifier.

L'accroissement de la connaissance a conduit à sa sectorialisation, à sa fragmentation. Mais aujourd'hui, où

⁴⁰ J. K. GALBRAITH, *Le nouvel état industriel* (Gallimard, Paris 1969).

⁴¹ M. I. GOLDMAN, *Science* 170, 3953 (1970).

⁴² L. A. ORLEANS et R. P. SUTTMEIER, *Science* 170, 3963 (1970).

⁴³ H. BROOKS, *Science* 174, 4004 (1971).

la connaissance des systèmes complexes revêt une importance capitale, l'introduction de concepts élaborés dans un secteur peut, plus qu'hier, éclairer la progression du savoir. La constitution d'équipes de chercheurs aux fonctions diverses, s'enrichissant les uns et les autres des fruits de démarches différentes, est une nécessité. Mais la solidité de telles équipes est compromise par leur spécialisation bien trop précoce dans les cursus de formation, généralement basés sur une pulvérisation de la connaissance, liée à une exacerbation de la méthode analytique.

Enfin, au stade de l'application, la gestion et l'aménagement de l'espace sont assurés par des personnes à qui leur formation permet d'avoir seulement une vision partielle du problème, généralement limitée aux aspects économiques ou technologiques.

Si l'accroissement continu des connaissances exige toujours la formation de spécialistes, il faut parallèlement former des généralistes, ayant une formation totale tout aussi importante, mais dont la connaissance au lieu de se limiter à un secteur particulier, s'étend à l'ensemble du domaine concerné.

L'accroissement du savoir humain réhabilite la notion de généraliste comme complément indispensable des spécialistes. Un nouvel humaniste du XXème siècle associant sciences de la nature et sciences humaines doit être développé d'extrême urgence.

La révolution scientifique et technique entraîne une révolution dans l'approche des problèmes, l'introduction d'une conception écologique. Cette introduction n'aura que des effets limités, insuffisants, sans rapport avec l'importance et l'urgence des problèmes, si elle n'est pas accompagnée d'une refonte totale dans les processus de formation hérités du XIXème siècle.

Summary. With the increased impact of man's activities resulting from the industrial revolution, the fall-out of his actions widens in both space and time. It is impossible to proceed any further in the exploitation of Nature on the basis of economic concepts founded on the pursuit of sectorial short-term profit. We must on the contrary observe the rules governing the biosphere and the ecosystems.

Economic development must not upset the energetic equilibrium of the biosphere. This is possible on condition that we use essentially balanced energy sources, instead of the energy released by potential sources.

The whole organization of economy is based on a linear principle, resulting in the exhaustion of basic materials and overload by often polluting waste. The acceleration of the circuit is artificially induced by publicity factors which, pretexting fashion, regards as garbage still usable goods. The perennity of ecosystems is ensured by the recycling of materials, an economy founded on the same principle can alone ensure the future of mankind.

The sectorial development of economy and of professional training contributes to make it more difficult to organize the healthy management of natural resources.

The obstacles to the achievement of a healthy policy of resource management are not technical, but pedagogic, economic and political.

VINCENT LABEYRIE

*Directeur du Laboratoire de l'Ecologie expérimentale,
Université Rabelais, F-37 TOURS (France)*

VPRO EXPERIMENTIS

Radioimmunoassay of Free Aldosterone and its 18-Oxo-Glucuronide in Human Urine

So far, only a few reports have been published on the estimation of free aldosterone in urine, because various methodological difficulties have prevented its measurement. For this reason, the following questions cannot be answered satisfactorily: 1. Is the amount of free aldosterone in urine of diagnostic usefulness? 2. Is the excretion of aldosterone influenced by alterations of renal function? and 3. What is the relationship between free aldosterone in urine and aldosterone plasma levels, aldosterone secretion rate, or the excretion of the acid labile metabolite, 18-oxo-glucuronide? Recently, radioimmunoassays for the determination of aldosterone in plasma and of the acid labile metabolite in the urine have been published¹⁻³. The present report describes a radioimmunochemical method for the determination of free aldosterone and of the acid labile metabolite in urine.

Method. New Zealand white rabbits were immunized with a complex of D-aldosterone-21-hemisuccinate and bovine serum albumin, prepared according to the procedure described by ERLANGER et al.⁴. 1 mg of the antigen was suspended in 0.5 ml 0.9% saline solution and 0.5 ml of complete Freund's adjuvant (DIFCO) immediately before the intramuscular injection. Similar injections were given every 2 to 4 weeks. After 6 months, 5 of the 6 immunized rabbits had antibody titers of 1:8000 to 1:12000 (Table I and Figure 1).

Cross reactions of the antiserum with several steroids are given in Table II. The degree of cross reactions was calculated according to the method of ABRAHAM⁵. The

results obtained are apparently more specific than those described by KELLY⁶, who also used as antigen an aldosterone-21-hemisuccinate-bovine albumin complex. However, the cross reactions observed with our antiserum were similar to those reported by MAYES et al.¹, who used as antigen an aldosterone-3-oxime-bovine serum albumin complex.

The free aldosterone and the acid labile metabolite were extracted from urine and separated by a modification of the method described by MAYES et al.¹ (Table III). The most important difference between the methods was the use of 2 different paper chromatography systems for the separation of aldosterone: Bush B 5 and isoamylacetate/water⁷. Since the Rf-value of D-aldosterone as compared with that to other steroids of similar polarity in the iso-

¹ D. MAYES, S. FURUYAMA, D. C. KEM and C. A. NUGENT, *J. clin. Endocrin.* 30, 682 (1970).

² F. BAYARD, I. Z. BEITINS, A. KOWARSKI and C. J. MIGEON, *J. clin. Endocrin.* 31, 1 (1970).

³ F. BAYARD, I. Z. BEITINS, A. KOWARSKI and C. J. MIGEON, *J. clin. Endocrin.* 31, 507 (1970).

⁴ B. ERLANGER, F. BOREK, S. M. BEISER and S. J. LIEBERMAN, *Biol. Chem.* 228, 713 (1957).

⁵ G. E. ABRAHAM, *J. clin. Endocrin.* 29, 866 (1969).

⁶ W. KELLY, in *Immunologic Methods in Steroid Determination* (Eds. F. G. PERON, B. V. CALDWELL; Meredith, N.Y. 1970), p. 54.

⁷ P. VECSEI and H. KESSLER, *Experientia* 26, 1015 (1970).